

STUDI

Dalla neuroeconomia alla neuroetica: verso una neuroscienza delle decisioni individuali e socio-morali

Maria Arioli^(α) & Nicola Canessa^{(α),(β)}

Ricevuto: 9 settembre 2016; accettato: 16 maggio 2017

Riassunto Neuroeconomia e neuroetica sono settori delle neuroscienze cognitive che studiano i correlati neurali di aspetti distinti, sebbene strettamente interconnessi, del processo decisionale. Mentre la neuroeconomia studia i meccanismi cerebrali che guidano verso la massimizzazione dell'utilità economica personale, la neuroetica integra tali conoscenze con quelle fornite dalle neuroscienze sociali per affrontare domande tipiche dell'etica e della filosofia morale. Gli studi oggi disponibili in questo ambito vengono qui discussi al fine di mettere a confronto l'ipotesi secondo cui le scelte economiche individuali e socio-morali sono supportate da un unico circuito cerebrale con differenti input specifici per dominio (*Extended Common Currency Schema*) rispetto a quella che prevede basi cerebrali specifiche per la scelta in ambito socio-morale (*Social-Valutation-Specific Schema*). In linea con il primo dei due modelli, i dati presenti in letteratura sembrano confermare l'esistenza di un singolo sistema cerebrale associato ai diversi tipi di scelta, indipendentemente dal contesto decisionale individuale vs. socio-morale.

PAROLE CHIAVE: Decision-making; Neuroeconomia; Neuroetica; Extended Common Currency Schema; Social Valutation Specific Schema

Abstract *From Neuroeconomy to Neuroethics: Towards a Neuroscience of Individual and Socio-Moral Decisions* – Neuroeconomics and neuroethics are subfields of cognitive neuroscience that address the neural correlates of distinct, although strongly intertwined, facets of decision-making. While neuroeconomics investigates the neural mechanisms underlying the maximization of personal economic utility, neuroethics integrates such knowledge with that provided by social neurosciences, in order to address typical questions in ethics and moral philosophy. We review the available research to contrast the hypothesis that both individual economic and socio-moral choices rely on a common brain network receiving domain-specific inputs (*Extended Common Currency Schema*) and the claim that a specific brain network underpins choices in a socio-moral context (*Social-Valutation-Specific Schema*). In line with the former model, currently available evidence supports the existence of a single brain network associated with both choice types, regardless of the economic individual vs. socio-moral decisional context.

KEYWORDS: Decision-making; Neuroeconomics; Neuroethics; Extended Common Currency Schema; Social Valutation Specific Schema

^(α)Scuola Universitaria Superiore IUSS, Palazzo del Broletto, Piazza della Vittoria, 15 - 27100 Pavia (I)

^(β)Laboratorio di Neuroscienze Cognitive, Istituti Clinici Maugeri, via S. Maugeri, 10 - 27100, Pavia (I)

E-mail: maria.arioli@iusspavia.it (✉); nicola.canessa@iusspavia.it



■ La neuroeconomia

LA NOSTRA VITA È SCANDITA dalle innumerevoli decisioni che prendiamo, da quelle che coordinano il flusso delle nostre azioni più automatiche a quelle che si basano su un'accurata ponderazione dei loro probabili esiti. È evidente quanto sia complesso e ricco di insidie il compito che la nostra mente si trova a gestire nel selezionare uno specifico corso d'azione, tra quelli disponibili, dovendo valutare per esempio la diversa natura dei loro esiti e il loro impatto non solo per noi stessi, ma anche per gli altri e, più in generale, per l'ambiente circostante.

Ciò che accomuna ogni nostra decisione, indipendentemente da questi e da altri – non meno importanti – fattori, è la necessità di selezionare un'opzione tra quelle disponibili. La scelta dipenderà dall'interazione tra variabili contestuali e disposizionali, cosicché individui differenti, posti nella medesima situazione, potranno persino giungere a decisioni diametralmente opposte. L'origine delle differenze individuali in numerose dimensioni che sottendono il processo di scelta, dalla propensione al rischio fino alla tendenza a preferire “l'uovo oggi alla gallina domani”, è il principale oggetto di studio della cosiddetta neuroeconomia, che indaga le basi neurobiologiche dei processi decisionali integrando i contributi di discipline apparentemente slegate quali (tra le altre) neurofisiologia, economia e genetica del comportamento. Il successo di questo campo di studi è testimoniato dal rapido incremento, sia in quantità che in qualità, dei dati relativi ai diversi meccanismi cerebrali associati alle differenze individuali nella scelta, in condizioni di normalità come in diverse patologie neuro-psichiatriche.¹

Solo in tempi più recenti nuove linee di ricerca in questo settore hanno preso in esame il ruolo del contesto sociale, indagando cioè la complessa interazione tra la presa di decisione e quei processi, genericamente definiti di *cognizione sociale*, che ci consentono di stringere relazioni con gli altri individui, di comprendere le loro intenzioni ed emozioni,

e, quindi, di pianificare comportamenti che siano socialmente e moralmente, oltre che “economicamente”, appropriati. Questi sviluppi stanno contribuendo a ridisegnare i confini tra neuroeconomia e neuroscienze sociali, oggi sempre più unite nello studio delle basi neurofisiologiche delle decisioni caratterizzate da forte valenza morale in una nuova disciplina tradizionalmente conosciuta come neuroetica.

■ Dalle scelte individuali alle decisioni morali

Dal punto di vista della teoria della decisione, il tema di fondo della neuroetica è costituito dal rapporto che intercorre tra decisioni prese in ambito individuale o sociale, e quindi più strettamente caratterizzate da considerazioni di natura, rispettivamente, economica o morale.

L'ambito interpersonale si caratterizza, infatti, per la presenza di più di una singola persona, e prevede quindi l'utilizzo dei processi che abbiamo già definito di *cognizione sociale*. In virtù di tali processi il contesto sociale influenza la scelta, stimolando nel decisore la valutazione della prospettiva e degli esiti per altre persone coinvolte, oltre che per sé stesso. È facile individuare esempi di questo tipo di decisione, da quelle riguardanti il proprio rapporto con l'altro (per esempio, scegliere se sposare il proprio partner) a quelle che il soggetto prende *per* una terza persona (per esempio, in quale scuola iscrivere il proprio figlio) o *con* un'altra persona (per esempio decidere se comprare una casa con la propria famiglia).²

Decisioni come queste nascono in un contesto sociale dal quale derivano due essenziali elementi caratterizzanti. Innanzitutto, nel prendere una scelta il decisore non può prescindere dalla prospettiva altrui, dato che persino il decidere di ignorarla completamente richiede di confrontarsi con essa. Secondo, e non meno importante, le conseguenze della scelta ricadranno anche sull'altro. Questi due aspetti sono all'origine dello stretto legame tra decisioni di tipo sociale e di tipo morale,

perché anche nell'ambito morale è determinante la presenza di almeno una diade di persone (tradizionalmente definite "attore morale" e "paziente morale").³ È evidente che il concetto stesso di *moralità* è assai complesso e ricco di significati che, come le norme e punizioni che ne derivano, variano tra le culture e nel tempo. Tuttavia, un tratto comune alle diverse culture è il considerare immorale il fatto di nuocere a qualcuno (*harm*).⁴ Sebbene culture, o persino persone, diverse giungeranno a includere nel novero degli atti immorali comportamenti assai differenti quali omicidio, furto, prostituzione o blasfemia, quelli che più sono considerati immorali prevedono l'esistenza di un attore morale che intenzionalmente nuoce a un paziente morale mettendolo in una condizione di sofferenza. A riprova dell'universalità di questa percezione di (im)moralità, dovendo produrre liberamente una lista di atti immorali, soggetti appartenenti a diverse culture riportano prevalentemente azioni che prevedono la presenza della diade attore morale/paziente morale.⁵ Inoltre, se interrogati su quali atti vengono considerati maggiormente immorali, i soggetti indicano proprio quelli di natura diadica, e quindi di tipo sociale.⁶

Questi dati sono in linea con l'approccio dominante nella neuroetica, che tende a mettere in relazione gli ambiti morale e sociale in virtù del comune coinvolgimento di più di una persona. Partendo da questo presupposto, il tipo di decisione a valenza morale usato nei tipici paradigmi sperimentali della neuroetica è quello in cui il soggetto deve decidere che azione intraprendere al fine di ottenere un beneficio (personale o collettivo) che tuttavia potrebbe implicare un danno a terzi (e quindi, potenzialmente, un atto immorale). Compiti come questi assumono quindi le sembianze di veri e propri "dilemmi morali", in cui, per esempio, il soggetto deve immaginare se sarebbe disposto a sacrificare la vita di un singolo individuo per salvarne altri diciannove, o se invece preferirebbe non intervenire lasciandoli così morire tutti (si veda, per esempio, il caso di Jim descritto dal

filosofo Bernard Williams).⁷ Ciò che caratterizza la valenza morale di una tale decisione, rispetto a una che si svolge in un contesto individuale, è proprio la necessità di considerare, oltre a elementi relativi alle preferenze del singolo soggetto relativamente a esiti personali,⁸ anche l'impatto sul benessere di altri soggetti coinvolti e le norme etiche rilevanti.

Neuroeconomia e neuroetica sono quindi tipicamente considerati settori distinti delle neuroscienze cognitive, incentrati sui correlati neurali di aspetti differenti del processo decisionale. In quest'ottica, mentre la neuroeconomia studia i meccanismi cerebrali che guidano verso la massimizzazione dell'utilità economica personale, la neuroetica integra tali conoscenze con quelle fornite dalle neuroscienze sociali per affrontare domande tipiche dell'etica e della filosofia morale. Lo studio delle decisioni prese in ambito sociale e morale, e in particolare del modo in cui considerazioni relative al benessere altrui modulano la scelta individuale, costituiscono il tema d'elezione della neuroetica.

Il tipico scenario sperimentale è costituito da situazioni di scelta caratterizzate da una tensione tra utilità individuale e collettiva, o tra benefici individuali e costi altrui, tipici dei classici dilemmi dell'etica e della filosofia morale. Pur consentendo di portare alla luce i meccanismi cerebrali che sottendono le basi cerebrali di aspetti particolarmente complessi del comportamento umano, gli studi condotti nell'ambito della neuroetica non sono tuttavia esenti da limiti. In particolare è la ridotta validità ecologica di questi studi, vincolata da contesti decisionali spesso poco realistici, a costituire una limitazione intrinseca ma da non sottovalutare nel momento in cui i risultati degli studi condotti vengono diffusi oltre il confine strettamente neuroscientifico.

Una recente rassegna della letteratura neuroscientifica discute due possibili modelli sottostanti la presa di decisioni in un contesto sociale come quello appena delineato.⁹ Il modello cosiddetto della "valuta comune estesa" (*Extended Common Currency Schema*) prevede che decisioni sociali, non sociali e

individuali coinvolgono gli *stessi sistemi neurali*, che tuttavia riceverebbero *input da strutture cerebrali distinte*. In quest'ottica, un unico sistema cerebrale sottende un complesso processo valutativo nel quale vengono integrate tutte quelle informazioni percettive e cognitive rilevanti per la scelta, che tuttavia, nel caso di decisioni a valenza socio-morale, coinvolgerebbero input specifici da altri sistemi cerebrali associati alla cognizione sociale. All'opposto, il modello della "valutazione sociale specifica" (*Social-Valuation-Specific Schema*) prevede che le decisioni di tipo sociale coinvolgono un circuito neurale specifico e distinto da quello preposto a decisioni non sociali. In altre parole, pur in presenza di analoghi processi computazionali, i due tipi di scelta coinvolgerebbero meccanismi cerebrali distinti e separati.

Alla luce del fatto che lo *Extended Common Currency Schema* e il *Social-Valuation-Specific Schema* prevedono, rispettivamente, meccanismi cerebrali comuni e differenti per i due tipi di decisioni, possiamo quindi analizzare quale modello trovi maggior sostegno nei dati oggi disponibili in merito alle basi neurofisiologiche delle decisioni morali e sociali e di quelle economiche e non sociali. Questa valutazione è quindi necessariamente preceduta da una preliminare rassegna delle conoscenze a oggi disponibili circa le strutture cerebrali coinvolte nelle valutazioni di natura economica e morale.

■ Il cervello economico

Nell'ultimo decennio, la rapida crescita della neuroeconomia ha consentito di identificare le strutture cerebrali coinvolte nel processo decisionale e di sviluppare modelli sempre più precisi delle computazioni che esse svolgono. In questo senso, i modelli disponibili concordano sul fatto che la scelta tra due o più opzioni sia guidata dal valore, appetitivo o avversativo, che il cervello attribuisce a esse su una "valuta" comune, tale cioè da consentire di soppesare costi e benefici relativi a esiti qualitativamente differenti,

come per esempio esiti concreti e astratti.¹⁰ Muovendo da questo assunto, gli studi sin qui condotti hanno individuato tre differenti meccanismi di rappresentazione cerebrale del valore delle opzioni, che sembrano coinvolgere strutture cerebrali specifiche.¹¹

Un primo aspetto è l'*esperienza diretta del valore* dell'esito di una scelta, nel momento in cui esso viene sperimentato, che sembra attivare le porzioni mediali e laterali della corteccia orbitofrontale per esiti, rispettivamente, positivi e negativi.¹² Questa fase, cruciale per i successivi processi di apprendimento dall'esperienza, coinvolge anche altre strutture cerebrali sensibili all'esperienza di gratificazioni (in particolare lo striato ventrale)¹³ e punizioni (in particolare amigdala,¹⁴ insula anteriore e corteccia del cingolo anteriore).¹⁵

L'esperienza di gratificazioni e punizioni consente, in seguito, di anticipare nuovamente i rispettivi stati psico-fisiologici positivi e negativi a esse associate, generando così le motivazioni a comportamenti cosiddetti "appetitivi" e "avversativi" (volti cioè a ottenere una gratificazione, o a evitare una punizione). Questa è l'essenza dei processi di apprendimento adattivo dall'esperienza (*adaptive behavioral learning*) che sono al cuore del sistema cerebrale della scelta, in un circuito solo parzialmente sovrapposto a quello dell'esperienza diretta degli esiti. In questo caso, infatti, i segnali cerebrali associati all'apprendimento del valore e all'anticipazione di gratificazioni o punizioni sono stati identificati nelle strutture centrali della via dopaminergica meso-cortico- limbica, e in particolare striato, area tegmentale ventrale (VTA) e sostanza nigra (SN).¹⁶

A generare tale apprendimento è la codifica, da parte di questi neuroni, di un segnale che riflette la differenza tra il valore sperimentato e il valore atteso, noto come *Reward-Prediction Error*.¹⁷ Sebbene questo tipo di segnale sia stato inizialmente registrato nello striato ventrale,¹⁸ studi successivi nell'essere umano hanno mostrato che l'anticipazione degli esiti – positivi o negativi – di una scelta coinvolge ulteriori strutture cere-

brali, tra le quali amigdala, insula e corteccia orbitofrontale.

Inoltre, l'anticipazione delle conseguenze positive e negative di una scelta sembra coinvolgere un delicato bilancio tra attivazioni e deattivazioni di diverse strutture all'interno di uno stesso circuito: lo striato ventrale è attivato o deattivato, rispettivamente, dall'anticipazione di conseguenze positive o negative, mentre l'insula mostra una risposta contraria. Inoltre, a parità di esito numerico (per esempio un guadagno o una perdita di 10 Euro) la componente "avversativa" di questa risposta, cioè la deattivazione dello striato e l'attivazione dell'insula, è tipicamente più intensa di quella opposta, "appetitiva".¹⁹

Questa asimmetria è in linea con la tipica tendenza a sovrastimare le conseguenze negative delle decisioni rispetto a quelle positive, un fenomeno che il Premio Nobel per l'Economia Daniel Kahneman ha definito "avversione alle perdite" e che si osserva in misura variabile tra gli individui.²⁰ Questa variabilità correla con l'asimmetria tra le attivazioni e deattivazioni dello striato e dell'insula,²¹ che quindi costituiscono un plausibile correlato neurale della nostra tendenza "pessimistica" a sovrastimare le conseguenze negative delle decisioni.

I segnali anticipatori generati da queste strutture vengono inviati alla corteccia prefrontale mediale, e da questa integrati in un segnale di ordine superiore analogo al cosiddetto "valore atteso" dei modelli economici della scelta, ossia il valore netto degli esiti positivi e negativi una volta pesati per le rispettive probabilità.²² Come anticipato, un prerequisito essenziale per i processi decisionali è la possibilità di mettere a confronto esiti relativi a dimensioni diverse, da quelle più concrete come cibo o liquidi a quelle più astratte e impalpabili come il prestigio o la giustizia sociale. La conversione di segnali relativi a esiti così differenti in una "valuta comune" (*common currency*) sembra essere uno dei compiti principali della corteccia orbitofrontale.²³

In questa regione, infatti, vari studi hanno localizzato un segnale neurale con le caratte-

ristiche del valore atteso, che entra in gioco, guidando la scelta verso comportamenti appetitivi o avversativi, nel momento in cui una decisione viene effettivamente presa.²⁴

■ Il cervello morale

Come anticipato, tra gli sviluppi più recenti delle neuroscienze cognitive figura sicuramente il crescente interesse verso tematiche tradizionalmente di pertinenza dell'etica, che nell'ultimo decennio ha consentito di individuare le strutture cerebrali associate a processi cognitivi ed emotivi coinvolti nelle scelte a carattere morale. Sebbene i primi studi in questo ambito si siano concentrati sui processi di giudizio morale in individui sani, questo settore ha tratto grande beneficio dalla sua valenza traslazionale, e in particolare dalle possibili implicazioni della neuroetica rispetto ai deficit affettivi e comportamentali che caratterizzano diverse condizioni neuro-psichiatriche, dalla demenza fronto-temporale²⁵ sino a specifici disturbi di personalità.²⁶

Gli studi condotti sulle basi cerebrali del giudizio morale hanno portato alla luce un circuito costituito da numerose strutture corticali e sottocorticali, alcune delle quali sono coinvolte in processi "accessori" quali per esempio mentalizzazione o elaborazioni di natura affettiva.²⁷ Un'ampia letteratura neuropsicologica, relativa cioè agli effetti di un danno cerebrale sulla cognizione, mostra che le regioni prefrontali sono quelle più frequentemente associate ai processi di funzionamento cognitivo superiore e al controllo del comportamento. Sono assai numerosi, infatti, gli studi che mostrano una vasta gamma di anomalie comportamentali e affettive in associazione ad alterazioni a carico di queste regioni. Per esempio, Braun e collaboratori²⁸ hanno mostrato che alterazioni strutturali a carico della corteccia prefrontale ventromediale sono quelle che più frequentemente si associano al disturbo antisociale di personalità.

A conferma di questo dato, una significativa riduzione del volume di materia grigia in questa regione è stata descritta in pazienti

psicopatici e antisociali,²⁹ ma anche in pazienti con epilessia temporale caratterizzati da comportamento aggressivo.³⁰

Conferme indirette provengono anche dalla variante comportamentale della demenza frontotemporale, caratterizzata da livelli di empatia patologicamente bassi, in cui si osserva una relazione tra riduzione delle abilità di giudizio morale e alterazioni strutturali a carico della corteccia prefrontale mediale. È quindi essenziale comprendere l'origine di tali anomalie, analizzando nel dettaglio i processi – cognitivi e affettivi – a esse associati. È nota, infatti, la variabilità delle conseguenze di una lesione prefrontale, da euforia, irritabilità, aggressività, apatia, deficit di attenzione fino ad alterazioni nell'ambito del giudizio morale.³¹

Questa eterogeneità ha stimolato diverse interpretazioni dell'impatto, sul piano comportamentale e cognitivo-morale, di alterazioni strutturali nella corteccia prefrontale. Per esempio, alcuni studi mostrano che le anomalie del giudizio morale che ne derivano siano riconducibili a un'elevata frequenza di scelte utilitaristiche.³² Altri, invece, sottolineano il fatto che le giustificazioni addotte da questi pazienti siano caratterizzate da una prospettiva egocentrica tipica degli stadi di sviluppo morale del bambino.³³ Nel complesso, gli studi condotti concordano nell'includere tra i principali effetti di una lesione prefrontale un ridotto livello di espressione affettiva, che tuttavia si associa a incapacità nel regolare le emozioni in condizioni di stress.³⁴ È importante sottolineare che, al netto delle differenze tra specie, queste osservazioni sono in linea con gli studi condotti su animali, nei quali lesioni della corteccia orbitofrontale sono tipicamente associate ad aggressività incontrollata.³⁵

Se l'indagine sui pazienti mostra quali aree cerebrali sono necessarie per un dato compito, le neuroimmagini su soggetti sani consentono di ampliare il campo d'indagine, e di individuare interi circuiti coinvolti nel suo svolgimento. Una letteratura in rapida crescita, basata soprattutto su studi con risonanza

magnetica funzionale, mostra chiaramente il ruolo della corteccia prefrontale in compiti che coinvolgono la sfera morale.³⁶ Per esempio, la corteccia prefrontale mediale è attivata durante la lettura di frasi riguardanti la dimensione morale rispetto a frasi prive di tale connotazione,³⁷ ma soprattutto nella *presa di decisioni* a valenza morale, come nei classici dilemmi³⁸ e nella formulazione di *giudizi* relativi a questioni morali emotivamente salienti.³⁹

A conferma di questi dati, altri studi suggeriscono un ruolo *specifico* della corteccia prefrontale nella formulazione di giudizi a carattere morale, che infatti non si osserva nel caso di giudizi semantici⁴⁰ o di natura affettiva: in particolare, a parità di salienza emotiva si osserva una maggior attivazione della corteccia prefrontale mediale durante l'osservazione di immagini a valenza morale rispetto a immagini prive di tale connotazione.⁴¹ Il ruolo della corteccia prefrontale ventromediale nel giudizio morale non sembra quindi poter essere ridotto a processi accessori quali l'elaborazione del valore affettivo degli stimoli o la generica formulazione di giudizi in sé.

Al contrario, questa regione sembra giocare un ruolo cruciale nell'integrazione di segnali provenienti da altre strutture cerebrali tradizionalmente associate a processi di cognizione sociale. Tra queste, la giunzione temporo-parietale (*Temporo-Parietal Junction* – TPJ) costituisce un nodo cruciale di un circuito cerebrale coinvolto nella capacità di attribuire agli altri individui stati mentali quali desideri, credenze e intenzioni, e di inferirli sulla base di informazioni di varia natura (da indici contestuali a conoscenze pre-esistenti su tratti e disposizioni altrui).⁴² È oggetto di un acceso dibattito lo specifico ruolo giocato da questa regione nella mentalizzazione, che alcuni studi sembrerebbero ricondurre a processi di "sganciamento" del focus attentivo dalla prospettiva in prima persona, un prerequisito per poter abbracciare la prospettiva dell'altro e quindi poter accedere ai suoi contenuti mentali.⁴³

A prescindere dall'interpretazione più ap-

propriata del ruolo di quest'area nella mentalizzazione, numerosi studi mostrano che essa è coinvolta in differenti aspetti del giudizio morale, sia impliciti, come intuizioni morali spontanee,⁴⁴ che espliciti, come l'attribuzione di stati mentali relativi a situazioni a valenza morale⁴⁵ o la valutazione dell'appropriatezza di diverse soluzioni di un dilemma morale⁴⁶ e delle responsabilità a esse associate.⁴⁷

Come discusso in precedenza, valutazioni di questo tipo sono strettamente associate a elaborazioni di natura affettiva che plausibilmente coinvolgono altre strutture cerebrali tipicamente associate al giudizio morale. In particolare, gli studi disponibili mostrano il ruolo del solco temporale superiore,⁴⁸ un nodo cruciale dei processi di percezione sociale,⁴⁹ e delle porzioni più anteriori e mediali del lobo temporale, inclusa l'amigdala. Quest'ultima è nota per essere un centro neurale essenziale per l'espressione emotiva, e in particolare per emozioni negative associate alla percezione di potenziali pericoli, quali paura e rabbia.⁵⁰ Non stupisce, quindi, il suo coinvolgimento sia in associazione con emozioni a valenza morale⁵¹ che durante la produzione di giudizi morali,⁵² e proporzionalmente al livello di attivazione fisiologica auto-riferita dal soggetto durante l'osservazione passiva di immagini morali e non morali.⁵³

Il ruolo della corteccia temporale in valutazioni di natura morale trova conferma negli studi condotti in ambito clinico, che mostrano ridotta attivazione del lobo temporale in associazione a psicopatia,⁵⁴ aggressività⁵⁵ e comportamento antisociale.⁵⁶ E, a conferma di quanto appena visto, in queste diverse manifestazioni psico-patologiche l'amigdala sembra giocare un ruolo chiave, che alcuni autori interpretano come un'interfaccia tra una valutazione di natura morale e la sua successiva traduzione in un piano comportamentale. Sia la disinibizione che il comportamento violento, infatti, sono associati ad atrofia e alterazioni strutturali a carico dell'amigdala in soggetti aggressivi⁵⁷ e psicopatici.⁵⁸ Anche la porzione anteriore dell'insula sembra essere coinvolta nella produzione di giudizi morali,⁵⁹ oltre che

nella percezione di iniquità,⁶⁰ di ingiustizia⁶¹ e di violazione di norme deontologiche.⁶² Questa struttura costituisce un importante centro di integrazione visceromotoria che sottende la consapevolezza "enterocettiva" dello stato del corpo.⁶³ Essa sembra quindi essenziale nella capacità di percepire stati affettivi coscienti,⁶⁴ soprattutto quelli a valenza negativa come il disgusto.⁶⁵

In particolare, la porzione anteriore dell'insula è oggi considerata un nodo cruciale di un circuito cerebrale associato all'abilità empatica, mediante un meccanismo simulativo automatico attivato dall'osservazione,⁶⁶ o anche solo dalla consapevolezza,⁶⁷ dell'esperienza affettiva altrui.⁶⁸ L'altro nodo del circuito neurale dell'empatia è costituito dalla porzione dorsale della corteccia del cingolo.⁶⁹ Questa regione è tradizionalmente associata ai processi cosiddetti di "controllo cognitivo", ossia quelli che consentono di inibire risposte automatiche a favore di comportamenti deliberati, anche mediante la percezione e gestione di conflitti tra istanze differenti. Per questo motivo essa sembra essere coinvolta nella componente motivazionale della reazione empatica,⁷⁰ e in particolare nella spinta verso comportamenti conformi allo stato affettivo percepito nell'altro.⁷¹

Non stupisce quindi che anch'essa sia attivata in compiti connessi alla sfera morale,⁷² nei quali sembra mediare il "conflitto" che caratterizza ogni dilemma morale. Per esempio, nel caso citato in precedenza, il conflitto tra valutazioni affettive (come quelle che, sempre e comunque, ci impedirebbero di sacrificare la vita di una persona) e razionali (come quelle che, al contrario, ci spingerebbero a considerare accettabile sacrificare una persona, che comunque morirebbe, per salvarne altre diciannove).

Il quadro che emerge da questa revisione della letteratura mostra quindi che il "cervello morale" comprende un ampio circuito composto da strutture frontali, temporali e sottocorticali. Alcune di esse sembrano essere associate a specifici processi "accessori" alla presa di decisioni a valenza morale, quali per

esempio elaborazioni di natura affettiva e mentalizzazione. I prodotti della loro attività sono plausibilmente integrati in aree associative come la corteccia prefrontale, coinvolta nella componente più strettamente esecutiva del processo di scelta in ambito morale.

■ Modelli dominio-generalisti e dominio-specifici in neuroeconomia e neuroetica

Le conoscenze riassunte nelle pagine precedenti consentono ora di mettere a confronto i due modelli *Extended Common Currency Schema* e *Social-Valuation-Specific Schema* in almeno due differenti contesti sperimentali: situazioni in cui il soggetto prende una decisione dovendosi confrontare con *norme e principi sociali*, oppure situazioni più prettamente morali che implicano il confrontarsi con *principi etici*. È opportuno analizzare distintamente questi due tipi di situazione perché esse differiscono per un aspetto cruciale. Mentre le decisioni basate su norme sociali implicano un'interazione diretta tra due soggetti, le decisioni a valenza etica prevedono che il soggetto prenda decisioni i cui esiti riguarderanno altri individui, con i quali, tuttavia, non entrerà in relazione. Quest'ultimo caso implica quindi principi di tipo etico dai quali promana il comportamento morale, piuttosto che principi sociali che vincolano le interazioni e relazioni tra persone.

L'obiettivo è esaminare le attivazioni cerebrali associate alla presa di decisione in queste diverse condizioni, per valutare se esse si sovrappongono a quelle caratteristiche dei compiti decisionali economici (come previsto dal modello *Extended Common Currency Schema*), o se al contrario coinvolgono strutture cerebrali specifiche (come previsto dal modello *Social-Valuation-Specific Schema*).

■ Decisioni economico-razionali vs. prosociali

Nel corso degli ultimi decenni, un'ampia letteratura al crocevia tra scienze psicologiche ed economico-sociali ha messo in luce numerose situazioni nelle quali individui

esibiscono comportamenti che appaiono più attenti al benessere altrui rispetto a quanto previsto da una teoria della scelta razionale, ispirata a un criterio di massimizzazione dell'utilità economica individuale.⁷³ Questi studi hanno portato alla luce diverse norme che, contrariamente a tale principio, sembrano guidare in maniera implicita il comportamento dell'individuo nella direzione di maggiore equità e cooperazione. Non stupirà, a questo punto, scoprire che questo atteggiamento prosociale riflette l'attivazione di strutture cerebrali associate a processi di cognizione sociale e a elaborazioni di natura affettiva. Un primo esempio di grande rilevanza è costituito dalla *propensione all'equità* e, parallelamente, dall'*avversione verso la disuguaglianza* tra individui che appaiono egualmente meritevoli.

Il primo aspetto è stato tipicamente studiato con un compito noto come *Ultimatum Game*, nel quale un giocatore deve decidere come dividere, con un altro individuo a lui sconosciuto, una somma di denaro fornita dallo sperimentatore. Il soggetto sa, però, che se questi rifiuta la divisione da lui proposta lo sperimentatore si riprenderà la somma. In questo semplice compito gli individui si mostrano più prosociali rispetto alle prescrizioni della teoria economica, che suggerirebbe di accettare qualunque proposta nel ruolo di ricevente e, quindi, di offrire il minimo possibile in quello di proponente. Invece, numerosi studi mostrano che quest'ultimo offre in media il 40% della somma iniziale, mentre il primo rifiuta offerte inferiori al 20%.⁷⁴

È significativo il fatto che, a fronte di offerte inique, i soggetti riferiscano di provare intense emozioni negative di rabbia associate a desiderio di vendetta. E, infatti, la registrazione dell'attività cerebrale con risonanza magnetica funzionale mostra che ricevere una proposta iniqua attiva l'insula anteriore, una struttura che abbiamo già visto essere associata a emozioni viscerali negative. Soprattutto, a conferma del ruolo delle emozioni sulla scelta, l'intensità dell'attivazione dell'insula correla con la probabilità che l'offerta venga effettivamente rifiutata. Al contrario, accettare

un'offerta generosa porta all'attivazione dello striato ventrale, dell'amigdala e della corteccia prefrontale ventromediale.⁷⁵ Il piacere per l'equità, messo in luce dall'*Ultimatum Game*, va di pari passo con l'avversione per le disuguaglianze, tipicamente studiata in contesti sperimentali nei quali un soggetto valuta contemporaneamente il proprio guadagno finanziario e quello di altre persone che si trovano nella medesima situazione. Nella situazione più frequente due partecipanti giocano simultaneamente ma, a parità di prestazione, ottengono incentivi economici differenti.⁷⁶

La registrazione dell'attività cerebrale con risonanza magnetica funzionale mostra che, quando l'altro giocatore non riceve alcun compenso, l'attivazione dello striato ventrale è proporzionale al patrimonio finale del soggetto. Quando invece entrambi i giocatori ricevono denaro, l'attività dello striato correla con la differenza tra il proprio e l'altrui esito: in parole più semplici, il nostro sistema cerebrale della decisione è sensibile a esiti *relativi*, basati su un confronto tra guadagni personali e guadagni altrui, più che a esiti assoluti. A conferma di questo dato, altri studi mostrano che l'attività dello striato ventrale del soggetto riflette la differenza tra il proprio patrimonio finale e quello dell'altro giocatore.⁷⁷ Inoltre, questo effetto è ulteriormente rafforzato da un'iniziale disuguaglianza nel patrimonio posseduto dai due giocatori, che si riflette in una più intensa attività dello striato ventrale e della corteccia orbitofrontale nei soggetti dotati di un patrimonio iniziale più basso, e di un andamento opposto nei soggetti inizialmente più "ricchi".⁷⁸

Il segnale dello striato ventrale e della corteccia orbitofrontale sembra quindi essere guidato dalle *differenze* nel patrimonio tra due partecipanti, piuttosto che dai cambiamenti del patrimonio personale dei singoli giocatori. In linea con l'avversione verso la disuguaglianza,⁷⁹ queste attivazioni cerebrali mostrano chiaramente quanto i nodi cruciali del sistema cerebrale della decisione siano sensibili agli esiti altrui oltre che ai propri.

Se questi risultati mostrano che la rappre-

sentazione cerebrale di un medesimo guadagno è modulata dal *confronto sociale*, una nozione proposta da Leon Festinger nel 1954, essi sembrano anche suggerire che nel confrontarsi con le fortune e sfortune altrui le persone aspirino a un'astratta norma di uguaglianza tra individui egualmente meritevoli. Nel complesso, questi dati mostrano che principi sociali radicati nel confronto tra il proprio e l'altrui benessere influenzano l'attività delle medesime strutture che, nella presa di decisione individuale, riflettono l'analisi di variabili economiche. In linea con il modello definito *Extended Common Currency*,⁸⁰ essi supportano quindi l'esistenza di un unico circuito in cui entrambi i tipi di informazione modulano l'attività dei nodi centrali del sistema.

Un altro ambito intensamente studiato, ricco di implicazioni pratiche oltre che strettamente scientifiche, è quello della scelta tra cooperare o competere con altri individui. In questo caso un tipico compito sperimentale è costituito dal celebre *dilemma del prigioniero*, in cui, a causa dell'incertezza sulla scelta altrui, la situazione sperimentale rende razionale non cooperare, quando invece la cooperazione porterebbe entrambi i giocatori a un esito migliore. Si crea quindi un conflitto tra razionalità individuale e razionalità collettiva, nel quale tuttavia, e a dispetto dalla teoria economica, le persone mostrano di preferire comunque scelte cooperative.

La strategia spontanea è, infatti, la cosiddetta *tit-for-tat* ("occhio per occhio, dente per dente"), ossia iniziare cooperando e poi replicare le mosse dell'altro. La *reciprocità* sembra quindi costituire un basilare principio ispiratore del comportamento sociale. E, in linea con la percezione di piacere per la mutua cooperazione riferita dal soggetto al termine dell'esperimento, l'attivazione della corteccia orbitofrontale e dello striato ventrale è massima nelle prove in cui entrambi decidono di cooperare,⁸¹ persino rispetto a una condizione "non sociale" in cui lo stesso guadagno è determinato da un computer. Quest'ultimo dato mostra chiaramente che sono aspettative im-

plicite nel contesto interpersonale a modulare l'attività del circuito cerebrale della valutazione e, quindi, il comportamento.

Nell'ambito degli studi che hanno indagato le basi cerebrali del comportamento prosociale, alcuni autori hanno preso in esame la tendenza a comportamenti onesti, in situazioni in cui essere disonesti porta a guadagni economici maggiori.⁸² In questo caso il compito più noto è il *truth-telling tasks*, nel quale al soggetto, nel ruolo di amministrato delegato di un'azienda, viene chiesto di comunicarne gli utili agli altri membri. Egli sa che comunicare un guadagno maggiore di quello reale gli consentirà di aumentare il proprio guadagno, ma non quello dei colleghi. Questo compito porta quindi il soggetto a scegliere tra un guadagno personale maggiore e il rispetto di un principio di onestà. I risultati mostrano che, al crescere dei costi economici della scelta morale, nei soggetti più onesti le porzioni dorsolaterali e dorsomediali della corteccia prefrontale sono strettamente connesse alla corteccia frontale inferiore. Una tale interazione tra disposizione individuale e variabili contestuali non è specifica per decisioni che implicano un principio di onestà, poiché si osserva anche in compiti di controllo che implicano un conflitto di natura differente relativo allo sforzo necessario per raggiungere un obiettivo. In linea con il modello *Extended Common Currency*, gli autori dello studio concludono quindi che l'adesione a principi ispirati all'onestà riflette una modulazione da parte dei sistemi neurali della cognizione sociale su quelli coinvolti nel controllo cognitivo. Se il nostro comportamento è guidato da norme pro-sociali più di quanto una fredda razionalità suggerirebbe, non stupisce che la violazione di tali norme spinga le persone a punire i trasgressori. Più sorprendente è osservare che, a questo scopo, si è disposti a rimetterci del proprio pur sapendo che non si incontreranno più queste persone, e che quindi da tale punizione non deriverà alcun beneficio diretto oltre al piacere della vendetta. Da cui la nozione di "punizione altruistica", che simulazioni in laboratorio

condotte nell'ambito dell'economia sperimentale mostrano essere un prerequisito essenziale per la diffusione della cooperazione in un società.⁸³ È quindi plausibile che proprio il piacere a essa associato costituisca la principale motivazione a un comportamento altrimenti inspiegabile da un punto di vista logico-razionale. Un piacere che, ancora una volta, gli studi di neuroeconomia ci dicono essere associato all'attivazione della corteccia orbitofrontale e dello striato ventrale).⁸⁴ Anche in questo caso specifiche variabili sociali modulano l'attività delle strutture cerebrali associate all'esperienza di guadagno economico, al punto che la gratificazione associata al comportamento prosociale ne costituisce una plausibile giustificazione in termini evolutivi.

Decisioni utilitaristiche vs. etico-morali

Un secondo ambito di grande interesse per la neuroetica è costituito da situazioni prive di immediate conseguenze dirette per il decisore, e in cui una valutazione su ciò che è giusto o sbagliato dipenderà da principi morali di comportamento più che da norme relative a dinamiche interpersonali. Un esempio di una tale situazione, utilizzata in uno studio con risonanza magnetica funzionale, richiedeva ai soggetti di decidere come dividere una somma di denaro tra diversi gruppi di bambini africani al fine di realizzare specifici progetti umanitari.⁸⁵ Essi dovevano quindi prendere in considerazione sia un principio di equità (rispetto alle somme attribuite ai diversi gruppi) che la massimizzazione del risultato (in termini di efficienza dell'intervento). In estrema sintesi, i risultati hanno mostrato che, mentre l'iniquità nella divisione correla con il livello di attivazione dell'insula, l'efficienza dell'intervento correla con l'attivazione dello striato. In altre parole, le stesse regioni cerebrali descritte in precedenza in associazione a precise variazioni in termini di reali guadagni o perdite⁸⁶ entrano in gioco anche per decisioni prive di conseguenze economiche effettive per il soggetto.

Alla stessa conclusione sono giunti gli autori di un più recente studio con risonanza magnetica funzionale che ha adattato un classico paradigma neuroeconomico a un contesto morale.⁸⁷ In questo studio, infatti, i soggetti dovevano decidere quale tra due azioni intraprendere, sapendo che ciascuna avrebbe determinato un preciso numero di vite salvate o perse, con specifiche probabilità. In sostanza, le classiche dimensioni di *magnitude* e *probability* associate agli esiti degli studi di neuroeconomia venivano caratterizzate in termini morali, oltre che strettamente finanziari. E, anche in questo caso, le regioni cerebrali associate alla variazione di questi parametri sono le stesse descritte in precedenza. In particolare, in linea con precedenti osservazioni relative al valore atteso economico,⁸⁸ l'attività della corteccia prefrontale ventromediale correla con una misura di valore atteso "morale" che in questo caso deriva dall'integrazione tra numero di vite salvate e probabilità di salvarle.

Nel complesso, questi dati sono in linea con quelli ottenuti in una serie di studi basati su dilemmi etici ben noti ai filosofi morali contemporanei, e analoghi al classico *trolley problem*. Il grande interesse per questo problema deriva dal fatto che esso viene presentato in due varianti, accomunate dalla presenza di un carrello ferroviario che, muovendosi fuori controllo su un binario, sta per travolgere e uccidere cinque operai intenti a lavorare sulle rotaie. Nel dilemma originale l'eventuale attivazione di una leva farebbe deviare il carrello su un secondo binario, sul quale ucciderebbe un singolo individuo. Nella variante nota come *footbridge problem*, l'unico modo per salvare i cinque operai è spingere da un ponte un uomo molto grasso, che bloccherebbe così il carrello.

L'interesse verso questo problema deriva dal fatto che, a parità di vite salvate e vite perse, le persone considerano questa seconda opzione molto meno accettabile dell'attivare la leva nella prima versione del dilemma. Questa differenza sembra dipendere dal diverso grado di coinvolgimento personale nell'azione che

deve essere svolta, che potrebbe a sua volta generare emozioni differenti. A conferma di questa ipotesi, alcuni celebri studi di neuroimmagine hanno mostrato che la differente reazione soggettiva a dilemmi morali "personali" e "impersonali" (come, rispettivamente, il *footbridge* e il *trolley problem*), si riflette in un differente coinvolgimento di strutture cerebrali associate a elaborazioni di natura affettiva.⁸⁹ Ulteriori indicazioni sui processi neurocognitivi coinvolti in questo tipo di dilemma morale provengono da più recenti studi basati su differenti varianti dello stesso problema.⁹⁰ Dopo la presentazione dello scenario, al soggetto viene chiesto di indicare quale scelta, secondo lui, produca i risultati migliori (variante utilitaristica), quale sia peggiore da attuare (variante emotiva) e quale sembri più moralmente accettabile (variante morale). A livello comportamentale, i risultati mostrano che la sintesi delle risposte alle varianti utilitaristiche ed emotive consente di prevedere la risposta alla domanda morale. Inoltre, la corteccia prefrontale ventromediale è più attiva durante la risposta alla variante morale che durante le altre due varianti.

Nel complesso, e in linea con il modello *Extended Common Currency*, questi dati supportano l'ipotesi secondo cui questa regione integra diverse informazioni in una più astratta rappresentazione sintetica dei diversi tipi di "valore" in gioco, nel dominio delle scelte economiche individuali come in quello dei giudizi morali. Il coinvolgimento degli stessi sistemi cerebrali in decisioni morali, oltre che economiche, si osserva anche nel caso dell'amigdala, coinvolta nell'analisi delle caratteristiche emotivamente salienti degli stimoli a prescindere dal fatto che si tratti di cifre relative a guadagni e perdite o scenari complessi relativi a vite salvate o perse.

Conclusioni

Nel complesso, i dati sin qui raccolti dalle neuroscienze cognitive non sembrano confermare l'esistenza di circuiti cerebrali specificamente dedicati alla presa di decisione in

ambito sociale o morale. All'opposto, quanto riassunto nelle pagine precedenti suggerisce che l'influenza esercitata sulle nostre decisioni da norme sociali condivise quali equità e reciprocità, e da principi di natura morale che sembrano prevalere su considerazioni utilitaristiche, rifletta il coinvolgimento degli stessi sistemi cerebrali associati alle scelte economiche individuali.

Come previsto dal modello della "valuta comune estesa", il ruolo giocato dal contesto sociale e morale si esplica plausibilmente mediante specifici input a un generale sistema cerebrale della scelta, il cui compito principale è quello di convertire in una scala comune il valore di esiti qualitativamente, oltre che quantitativamente differenti, quali, per esempio, numero di vite salvate, quantità di denaro spesa e aumento di prestigio sociale. Fattori economici e principi socio-morali sembrano quindi essere integrati in un'unica rappresentazione cerebrale del valore, che guiderà la scelta indipendentemente dallo specifico contesto contingente.

È importante sottolineare anche i limiti di questa preliminare rassegna dei dati oggi disponibili sulle basi neurologiche della scelta nell'ambito dell'etica. In particolare, il focus su decisioni guidate da principi sociali e norme morali non consente di generalizzare tali conclusioni ai sistemi cerebrali che sottendono altri aspetti della decisione nel contesto interpersonale, come per esempio quelli associati all'influenza sociale. Questo tema, e più in generale quelli non direttamente affrontati in questa sede, necessitano di ulteriori approfondimenti, auspicabilmente in continuità con l'approccio interdisciplinare che ormai caratterizza le neuroscienze cognitive. Inoltre, le decisioni morali tipicamente considerate negli studi di neuroetica implicano la distinzione netta tra una scelta utilitaristica (che porterebbe a massimizzare l'utilità – personale o sociale – mediante comportamenti aberranti) e una più deontologica (che considera come possibili solo quelle scelte che – a prescindere dalle conseguenze effettive – non prevedono la violazione di alcuni

principi fondamentali). Il tipico approccio della neuroetica si fonda quindi sulla dicotomia tra il maggior peso attribuito alle conseguenze dell'azione (utilitarismo) rispetto alla considerazione di principi che i più giudicherebbero inviolabili (deontologia).

Seppur preferibile sul piano sperimentale, tale approccio pone tuttavia rilevanti limiti esplicativi impliciti nella necessità di scegliere tra due estremi di una situazione decisionale che, nella realtà quotidiana, è plausibilmente assai più ricca di considerazioni, implicazioni e conseguenze. Esso, inoltre, conduce inevitabilmente a enfatizzare la decisione effettiva del soggetto, a scapito di variabili non facilmente osservabili quali credenze, intenzioni e atteggiamenti impliciti. Nonostante i suoi rapidi progressi nella comprensione delle basi neurobiologiche del comportamento umano, la neuroetica appare ancora lontana dal poter svelare le radici profonde della moralità.

Note

¹ Cfr. C. SHARP, J. MONTEROSSO, P.R. MONTAGUE, *Neuroeconomics: A Bridge for Translational Research*, in: «Biological Psychiatry», vol. LXXII, n. 2, 2012, pp. 87-92.

² Cfr. C.C. RUFF, E. FEHR, *The Neurobiology of Rewards and Values in Social Decision Making*, in: «Nature Reviews Neuroscience», vol. XV, n. 8, 2014, pp. 549-562.

³ Cfr. K. GRAY, A. WAYTZ, L. YOUNG, *The Moral Dyad: A Fundamental Template Unifying Moral Judgment*, in: «Psychological Inquiry», vol. XXIII, n. 2, 2012, pp. 206-215.

⁴ Cfr. J. HAIDT, *The New Synthesis in Moral Psychology*, in: «Science», vol. CCCXVI, n. 5827, 2007, pp. 998-1002.

⁵ Cfr. K. GRAY, A. WAYTZ, L. YOUNG, *The Moral Dyad*, cit.

⁶ Cfr. F.P. VAN LEEUWEN, J.H. PARK, *Moral Virtues and Political Orientation: Assessing Priorities under Constraint*, Unpublished manuscript, University of Bristol, Bristol (UK) 2011.

⁷ Cfr. B. WILLIAMS, *A Critique of Utilitarianism*, in: J.J.C. SMART, B. WILLIAMS, *Utilitarianism: For and Against*, Cambridge University Press, Cambridge 1973, pp. 77-150.

⁸ Cfr. C. PADOA-SCHIOPPA, *Neurobiology of Econom-*

ic Choice: A Good-based Model, in: «Annual Review of Neuroscience», vol. XXXIV, 2011, pp. 333-359.

⁹ Cfr. C.C. RUFF, E. FEHR, *The Neurobiology of Rewards and Values in Social Decision Making*, cit.

¹⁰ Cfr. F. GRABENHORST, E.T. ROLLS, *Value, Pleasure and Choice in the Ventral Prefrontal Cortex*, in: «Trends in Cognitive Science», vol. XV, n. 2, 2011, pp. 56-67.

¹¹ Cfr. C.C. RUFF, E. FEHR, *The Neurobiology of Rewards and Values in Social Decision Making*, cit.

¹² Cfr. J. O'DOHERTY, H. CRITCHLEY, R. DEICHMANN, R.J. DOLAN, *Dissociating Valence of Outcome from Behavioral Control in Human Orbital and Ventral Prefrontal Cortices*, in: «Journal of Neuroscience», vol. XXIII, n. 21, 2003, pp. 7931-7939; K.C. BERRIDGE, M.L. KRINGELBACH, *Affective Neuroscience of Pleasure: Reward in Humans and Animals*, in: «Psychopharmacology (Berl)», vol. CXCIX, n. 3, 2008, pp. 457-480; C. PADOA-SCHIOPPA, J.A. ASSAD, *Neurons in the Orbitofrontal Cortex Encode Economic Value*, in: «Nature», vol. CDXXI, n. 7090, 2006, pp. 223-226.

¹³ Cfr. P.N. TOBLER, C.D. FIORILLO, W. SCHULTZ, *Adaptive Coding of Reward Value by Dopamine Neurons*, in: «Science», vol. CCCVII, n. 5715, 2005, pp. 1642-1645.

¹⁴ Cfr. S.F. MORRISON, C.D. SALZMAN, *Re-valuing the Amygdale*, in: «Current Opinions in Neurobiology», vol. XX, n. 2, 2010, pp. 221-230.

¹⁵ Cfr. M.F. RUSHWORTH, T.F. BEHRENS, *Choice, Uncertainty and Value in Prefrontal and Cingulate Cortex*, in: «Nature Neuroscience», vol. XI, n. 4, 2008, pp. 389-397.

¹⁶ Cfr. W. SCHULTZ, *Multiple Dopamine Functions at Different Time Courses*, in: «Annual Review of Neuroscience», vol. XXX, 2007, pp. 259-288.

¹⁷ Cfr. W. SCHULTZ, P. DAYAN, P.R. MONTAGUE, *A Neural Substrate of Prediction and Reward*, in: «Science», vol. CCLXXV, n. 5306, 1997, pp. 1593-1599.

¹⁸ Cfr. W. SCHULTZ, P. APICELLA, E. SCARNATI, T. LJUNGBERG, *Neuronal Activity in Monkey Ventral Striatum Related to the Expectation of Reward*, in: «Journal of Neuroscience», vol. XII, n. 12, 1992, pp. 4595-4610; K. D'ARDENNE, S.M. MCCLURE, L.E. NYSTROM, J.D. COHEN, *BOLD Responses Reflecting Dopaminergic Signals in the Human Ventral Tegmental Area*, in: «Science», vol. CCCXIX, n. 5867, 2008, pp. 1264-1267; P.N. TOBLER, C.D. FIORILLO, W. SCHULTZ, *Adaptive Coding of Reward Value by Dopamine Neurons*, cit.

¹⁹ Cfr. N. CANESSA, C. CRESPI, M. MOTTERLINI, G.

BAUD-BOVY, G. CHIERCHIA, G. PANTALEO, M. TETTAMANTI, S.F. CAPPÀ, *The Functional and Structural Neural Basis of Individual Differences in Loss Aversion*, in: «Journal of Neuroscience», vol. XXXIII, n. 36, 2013, pp. 14307-14317.

²⁰ Cfr. D. KAHNEMAN, A. TVERSKY, *Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk*, in: «Econometrica», vol. XLVII, n. 2, 1979, pp. 263-291.

²¹ Cfr. N. CANESSA, C. CRESPI, M. MOTTERLINI, G. BAUD-BOVY, G. CHIERCHIA, G. PANTALEO, M. TETTAMANTI, S.F. CAPPÀ, *The Functional and Structural Neural Basis of Individual Differences in Loss Aversion*, cit.; S.M. TOM, C.R. FOX, C. TREPPEL, R.A. POLDRACK, *The Neural Basis of Loss Aversion in Decision-making under Risk*, in: «Science», vol. CCCXV, n. 5811, 2007, pp. 515-518.

²² Cfr. U. BASTEN, G. BIELE, H.R. HEEKEREN, C.J. FIEBACH, *How the Brain Integrates Costs and Benefits during Decision Making*, in: «Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A.», vol. CVII, n. 50, 2010, pp. 21767-21772.

²³ Cfr. E.T. ROLLS, F. GRABENHORST, *The Orbitofrontal Cortex and Beyond: From Affect to Decision-making*, in: «Progress in Neurobiology», vol. LXXXIII, n. 3, 2008, pp. 216-244.

²⁴ Cfr. J.W. KABLE, P.W. GLIMCHER, *The Neurobiology of Decision: Consensus and Controversy*, in: «Neuron», vol. LXIII, n. 6, 2009, pp. 733-745; C.C. RUFF, E. FEHR, *The Neurobiology of Rewards and Values in Social Decision Making*, cit.

²⁵ Cfr. S.S. FONG, C.D. NAVARRETE, S.E. PERFECTO, A.R. CARR, E.E. JIMENEZ, M.F. MENDEZ, *Behavioral and Autonomic Reactivity to Moral Dilemmas in Frontotemporal Dementia versus Alzheimer's Disease*, in: «Social Neuroscience», vol. XII, n. 4, 2017, pp. 409-418.

²⁶ Cfr. O. FELDMANHALL, D. MOBBS, *A Neural Network for Moral Decision-making*, in: A.W. TOGA, M.D. LIEBERMAN (eds), *Brain Mapping: An Encyclopedic Reference*, Vol. III, Elsevier, Oxford 2015, pp. 205-210.

²⁷ Cfr. L. YOUNG, J. DUNGAN, *Where in the Brain is Morality? Everywhere and Maybe Nowhere*, in: «Social Neuroscience», vol. VII, n. 1, 2012, pp. 1-10.

²⁸ Cfr. C.M. BRAUN, C. LEVEILLE, A. GUIMOND, *An Orbitofrontostriatopallidal Pathway for Morality: Evidence from Postlesion Antisocial and Obsessive-compulsive Disorder*, in: «Cognitive Neuropsychiatry», vol. XIII, n. 4, 2008, pp. 296-337.

²⁹ Cfr. A. RAINE, T. LENCZ, S. BIHRLE, L. LA CASSE, P. COLLETTI, *Reduced Prefrontal Gray Matter Volume and Reduced Autonomic Activity in Anti-*

social Personality Disorder, in: «Archive of General Psychiatry», vol. LVII, n. 2, 2000, pp. 119-127 (si veda anche la discussione alle pp. 128-129); Y. YANG, A. RAINE, T. LENCZ, S. BIHRLE, L. LA CASSE, P. COLLETTI, *Volume Reduction in Prefrontal Gray Matter in Unsuccessful Criminal Psychopaths*, in: «Biological Psychiatry», vol. LVII, n. 10, 2005, pp. 1103-1108.

³⁰ Cfr. F.G. WOERMANN, L.T. VAN ELST, M.J. KOEPP, S.L. FREE, P.I. THOMPSON, M.R. TRIMBLE, J.S. DUNCAN, *Reduction of Frontal Neocortical Grey Matter Associated with Affective Aggression in Patients with Temporal Lobe Epilepsy: An Objective Voxel by Voxel Analysis of Automatically Segmented MRI*, in: «Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry», vol. LXVIII, n. 2, 2000, pp. 162-169.

³¹ Cfr. A. DAVID, S. FLEMINGER, M. KOPELMAN, S. LOVESTONE, J. MELLERS, *Lishman's Organic Psychiatry: A Textbook of Neuropsychiatry*, Wiley, London 2009, 4th edition.

³² Cfr. F. CIARAMELLI, M. MUCCIOLI, E. LADAVAS, G. DI PELLEGRINO, *Selective Deficit in Personal Moral Judgment Following Damage to Ventromedial Prefrontal Cortex*, in: «Social Cognitive and Affective Neuroscience», vol. II, n. 2, 2007, pp. 84-92; B.C. THOMAS, K.E. CROFT, D. TRANEL, *Harming Kin to Save Strangers: Further Evidence for Abnormally Utilitarian Moral Judgments after Ventromedial Prefrontal Damage*, in: «Journal of Cognitive Neuroscience», vol. XXIII, n. 9, 2011, pp. 2186-2196.

³³ Cfr. S.W. ANDERSON, A. BECHARA, H. DAMASIO, D. TRANEL, A.R. DAMASIO, *Impairment of Social and Moral Behavior related to Early Damage in Human Prefrontal Cortex*, in: «Nature Neuroscience», vol. II, n. 11, 1999, pp. 1032-1037; M. KOENIGS, L. YOUNG, R. ADOLPHS, D. TRANEL, F. CUSHMAN, M. HAUSER, A.R. DAMASIO, *Damage to the Prefrontal Cortex increases Utilitarian Moral Judgements*, in: *Nature*, vol. CDXLVI, n. 7138, 2007, pp. 908-911.

³⁴ Cfr. O. FELDMANHALL, D. MOBBS, *A Neural Network for Moral Decision-making*, cit.

³⁵ Cfr. C.M. BUTTER, D.R. SNYDER, J.A. McDONALD, *Effects of Orbital Frontal Lesions on Aversive and Aggressive Behaviors in Rhesus Monkeys*, in: «Journal of Comparative and Physiological Psychology», vol. LXXII, n. 1, 1970, pp. 132-144.

³⁶ Cfr. J. SCHAICH BORG, C. HYNES, J. VAN HORN, S. GRAFTON, W. SINOTT-ARMSTRONG, *Consequences, action, and Intention as Factors in Moral*

Judgements: An fMRI Investigation, in: «Journal of Cognitive Neuroscience», vol. XVIII, n. 5, 2006, pp. 803-817; J.D. GREENE, R.B. SOMMERVILLE, L.E. NYSTROM, J.M. DARLEY, J.D. COHEN, *An fMRI Investigation of Emotional Engagement in Moral Judgment*, in: «Science», vol. CCXCIII, n. 5537, 2001, pp. 2105-2108; C.L. HARENSKI, S. HAMANN, *Neural Correlates of Regulating Negative Emotions related to Moral Violations*, in: «Neuroimage», vol. XXX, n. 1, 2006, pp. 313-324; C.L. HARENSKI, S.H. KIM, S. HAMANN, *Neuroticism and Psychopathy Predict Brain Activation during Moral and Nonmoral Emotion Regulation*, in: «Cognitive, Affective and Behavioral Neuroscience», vol. IX, n. 1, 2009, pp. 1-15; H.R. HEEKEREN, I. WARTENBURGER, H. SCHMIDT, H.P. SCHWINTOWSKI, A. VILLRINGER, *An fMRI Study of Simple eEthical Decision-making*, in: «Neuroreport», vol. XIV, n. 9, 2003, pp. 1215-1219; Q. LUO, M. NAKIC, T. WHEATLEY, R. RICHELL, A. MARTIN, R.J. BLAIR, *The Neural Basis of Implicit Moral Attitude – An IAT Study using Event-related fMRI*, in: «Neuroimage», vol. XXX, n. 4, 2006, pp. 1449-1457; J. MOLL, P.J. ESLINGER, R. OLIVEIRA-SOUZA, *Frontopolar and Anterior Temporal Cortex Activation in a Moral Judgment Task: Preliminary Functional MRI Results in Normal Subjects*, in: «Arquivos de Neuro-Psiquiatria», vol. LIX, n. 3-B, 2001, pp. 657-664; K. PREHN, I. WARTENBURGER, K. MERIAU, C. SCHEIBE, O.R. GOODENOUGH, A. VILLRINGER, E. VAN DER MEER, H.R. HEEKEREN, *Individual Differences in Moral Judgment Competence influence Neural Correlates of Socio-normative Judgments*, in: «Social Cognitive and Affective Neuroscience», vol. III, n. 1, 2008, pp. 33-46; A. SHENHAV, J.D. GREENE, *Moral Judgments recruit Domain-general Valuation Mechanisms to Integrate Representations of Probability and Magnitude*, in: «Neuron», vol. LXVII, n. 4, 2010, pp. 667-677; M. SOMMER, C. ROTHMAYR, K. DÖHNEL, J. MEINHARDT, J. SCHWERDTNER, B. SODIAN, G. HAJAK, *How Should I Decide? The Neural Correlates of Everyday Moral Reasoning*, in: «Neuropsychologia», vol. XLVIII, n. 7, 2010, pp. 2018-2026; L. YOUNG, R. SAXE, *An FMRI Investigation of Spontaneous Mental State Inference for Moral Judgment*, in: «Journal of Cognitive Neuroscience», vol. XXI, n. 7, 2009, pp. 1396-1405.

³⁷ Cfr. J. MOLL, P.J. ESLINGER, R. OLIVEIRA-SOUZA, *Frontopolar and Anterior Temporal Cortex Activation in a Moral Judgment Task*, cit.

³⁸ Cfr. S. KIMHI, A. KASHER, *Moral Dilemmas in Military Situations: Proportionality Principle, Religiosity, Political Attitudes, and Authoritarian Personality*, in: «Military Psychology», vol. XXVII, n. 3, 2015, pp. 169-184.

³⁹ Cfr. J.D. GREENE, R.B. SOMMERVILLE, L.E. NYSTROM, J.M. DARLEY, J.D. COHEN, *An fMRI Investigation of Emotional Engagement in Moral Judgment*, cit.

⁴⁰ Cfr. H.R. HEEKEREN, I. WARTENBURGER, H. SCHMIDT, H.P. SCHWINTOWSKI, A. VILLRINGER, *An fMRI Study of Simple eEthical Decision-making*, cit.

⁴¹ Cfr. J. MOLL, R. DE OLIVEIRA-SOUZA, I.E. BRAMATI, J. GRAFMAN, *Functional Networks in Emotional Moral and Nonmoral Social Judgments*, in: «Neuroimage», vol. XVI, n. 3, Pt.1, 2002, pp. 696-703; J. MOLL, R. DE OLIVEIRA-SOUZA, P.J. ESLINGER, I.E. BRAMATI, J. MOURAO-MIRANDA, P.A. ANDREIUOLO, L. PESSOA, *The Neural Correlates of Moral Sensitivity: A Functional Magnetic Resonance Imaging Investigation of Basic and Moral Emotions*, in: «The Journal of Neuroscience», vol. XXII, n. 7, 2002, pp. 2730-2736; C.L. HARENSKI, S. HAMANN, *Neural Correlates of Regulating Negative Emotions related to Moral Violations*, cit.

⁴² Cfr. C.D. FRITH, U. FRITH, *The Neural Basis of Mentalizing*, in: «Neuron», vol. L, n. 4, 2006, pp. 531-534.

⁴³ Cfr. J.P. MITCHELL, *Activity in Right Temporoparietal Junction is not Selective for Theory-of-Mind*, in: «Cerebral Cortex», vol. XVIII, n. 2, 2008, pp. 262-271.

⁴⁴ Cfr. C.L. HARENSKI, S.H. KIM, S. HAMANN, *Neuroticism and Psychopathy Predict Brain Activation during Moral and Nonmoral Emotion Regulation*, cit.

⁴⁵ Cfr. L. YOUNG, J. DUNGAN, *Where in the Brain is Morality?*, cit.; L. YOUNG, R. SAXE, *An FMRI Investigation of Spontaneous Mental State Inference for Moral Judgment*, cit.

⁴⁶ Cfr. J.D. GREENE, R.B. SOMMERVILLE, L.E. NYSTROM, J.M. DARLEY, J.D. COHEN, *An fMRI Investigation of Emotional Engagement in Moral Judgment*, cit.

⁴⁷ Cfr. J. SCHAICH BORG, C. HYNES, J. VAN HORN, S. GRAFTON, W. SINOTT-ARMSTRONG, *Consequences, action, and Intention as Factors in Moral Judgements*, cit.

⁴⁸ Cfr. J.D. GREENE, L.E. NYSTROM, A.D. ENGELL, J.M. DARLEY, J.D. COHEN, *The Neural Bases of Cognitive Conflict and Control in Moral Judgment*, in: «Neuron», vol. XLIV, n. 2, 2004, pp. 389-400; J. MOLL, P.J. ESLINGER, R. OLIVEIRA-SOUZA, *Frontopolar and Anterior Temporal Cortex Activation in a Moral Judgment Task*, cit.;

J. SCHAICH BORG, C. HYNES, J. VAN HORN, S. GRAFTON, W. SINOTT-ARMSTRONG, *Consequences, Action, and Intention as Factors in Moral Judgements*, cit.; C.L. HARENSKI, S. HAMANN, *Neural Correlates of Regulating Negative Emotions related to Moral Violations*, cit.

⁴⁹ Cfr. J. MOLL, R. DE OLIVEIRA-SOUZA, I.E. BRAMATI, J. GRAFMAN, *Functional Networks in Emotional Moral and Nonmoral Social Judgments*, cit.; J. MOLL, R. DE OLIVEIRA-SOUZA, P.J. ESLINGER, I.E. BRAMATI, J. MOURAO-MIRANDA, P.A. ANDREIUOLO, L. PESSOA, *The Neural Correlates of Moral Sensitivity: A Functional Magnetic Resonance Imaging Investigation of Basic and Moral Emotions*, cit.

⁵⁰ Cfr. K. NADER, G.E. SCHAFE, J.E. LE DOUX, *Fear Memories Require Protein Synthesis in the Amygdala for Reconsolidation after Retrieval*, in: «Nature», vol. CDVI, n. 6797, 2000, pp. 722-726.

⁵¹ Cfr. J. MOLL, R. DE OLIVEIRA-SOUZA, I.E. BRAMATI, J. GRAFMAN, *Functional Networks in Emotional Moral and Nonmoral Social Judgments*, cit.; J. MOLL, R. DE OLIVEIRA-SOUZA, P.J. ESLINGER, I.E. BRAMATI, J. MOURAO-MIRANDA, P.A. ANDREIUOLO, L. PESSOA, *The Neural Correlates of Moral Sensitivity*, cit.

⁵² Cfr. J.D. GREENE, L.E. NYSTROM, A.D. ENGELL, J.M. DARLEY, J.D. COHEN, *The Neural Bases of Cognitive Conflict and Control in Moral Judgment*, cit.

⁵³ Cfr. C.L. HARENSKI, S. HAMANN, *Neural Correlates of Regulating Negative Emotions related to Moral Violations*, cit.

⁵⁴ Cfr. H. SODERSTROM, M. TULLBERG, C. WIKKELSO, S. EKHOLM, A. FORSMAN, *Reduced Regional Cerebral Blood Flow in Non-psychotic Violent Offenders*, in: «Psychiatry Research», vol. XCVIII, n. 1, 2000, pp. 29-41.

⁵⁵ Cfr. D.G. AMEN, M. STUBBLEFIELD, B. CARMICHAEL, R. THISTED, *Brain SPECT Findings and Aggressiveness*, in: «Annals of Clinical Psychiatry», vol. VIII, n. 3, 1996, pp. 129-137.

⁵⁶ Cfr. A. DAVID, S. FLEMINGER, M. KOPELMAN, S. LOVESTONE, J. MELLERS, *Lishman's Organic Psychiatry: A Textbook of Neuropsychiatry*, Wiley, London 2009, 4th Edition.

⁵⁷ Cfr. M. WONG, P. FENWICK, G. FENTON, J. LUMSDEN, M. MAISEY, J. STEVENS, *Repetitive and Non-repetitive Violent Offending Behaviour in Male Patients in a Maximum Security Mental Hospital – Clinical and Neuroimaging Findings*, in: «Medicine, Science, and the Law», vol. XXXVII, n. 2, 1997, pp.

150-160; L.T. VAN ELST, F.G. WOERMANN, L. LEMIEUX, P.J. THOMPSON, M.R. TRIMBLE, *Affective Aggression in Patients with Temporal lobe Epilepsy: A Quantitative MRI Study of the Amygdala*, in: «Brain», vol. CXXIII, n. Pt. 2, 2000, pp. 234-243.

⁵⁸ Cfr. Y. YANG, A. RAINE, K. NARR, T. LENCZ, A. TOGA, *Amygdala Volume Reduction in Psychopaths*, Paper presented at the Society for Research in Psychopathology Annual Meeting, San Diego (CA) 2006.

⁵⁹ Cfr. J. MOLL, R. DE OLIVEIRA-SOUZA, I.E. BRAMATI, J. GRAFMAN, *Functional Networks in Emotional Moral and Nonmoral Social Judgments*, cit.; J. MOLL, R. DE OLIVEIRA-SOUZA, P.J. ESLINGER, I.E. BRAMATI, J. MOURAO-MIRANDA, P.A. ANDREIUOLO, L. PESSOA, *The Neural Correlates of Moral Sensitivity*, cit.; J.D. GREENE, L.E. NYSTROM, A.D. ENGELL, J.M. DARLEY, J.D. COHEN, *The Neural Bases of Cognitive Conflict and Control in Moral Judgment*, cit.

⁶⁰ Cfr. A.G. SANFEY, J.K. RILLING, J.A. ARONSON, L.E. NYSTROM, J.D. COHEN, *The Neural Basis of Economic Decision-making in the Ultimatum Game*, in: «Science», vol. CCC, n. 5626, 2003, pp. 1755-1758.

⁶¹ Cfr. M. HSU, C. ANEN, S.R. QUARTZ, *The Right and the Good: Distributive Justice and Neural Encoding of Equity and Efficiency*, in: «Science», vol. CCCXX, n. 5879, 2008, pp. 1092-1095.

⁶² Cfr. B. HUEBNER, S. DWYER, M. HAUSER, *The Role of Emotion in Moral Psychology*, in: «Trends in Cognitive Science», vol. XIII, n. 1, 2009, pp. 1-6.

⁶³ Cfr. W.K. SIMMONS, J.A. AVERY, J.C. BARCALOW, J. BODURKA, W.C. DREVETS, P. BELLGOWAN, *Keeping the Body in Mind: Insula Functional Organization and Functional Connectivity Integrate Interoceptive, Exteroceptive, and Emotional Awareness*, in: «Human Brain Mapping», vol. XXXIV, n. 11, 2013, pp. 2944-2958.

⁶⁴ Cfr. W.K. SIMMONS, J.A. AVERY, J.C. BARCALOW, J. BODURKA, W.C. DREVETS, P. BELLGOWAN, *Keeping the Body in Mind*, cit.; G. KEDIA, S. BERTHOZ, M. WESSA, D. HILTON, J.L. MARTINOT, *An Agent Harms a Victim: A Functional Magnetic Resonance Imaging Study on Specific Moral Emotions*, in: «Journal of Cognitive Neuroscience», vol. XX, n. 10, 2008, pp. 1788-1798.

⁶⁵ Cfr. J. MOLL, R. DE OLIVEIRA-SOUZA, I.E. BRAMATI, J. GRAFMAN, *Functional Networks in Emotional Moral and Nonmoral Social Judgments*, cit.; J. MOLL, R. DE OLIVEIRA-SOUZA, P.J. ESLINGER, I.E. BRAMATI, J. MOURAO-MIRANDA, P.A. ANDREIUOLO, L. PESSOA, *The Neural Correlates of*

Moral Sensitivity, cit.

⁶⁶ Cfr. L. CARR, M. IACOBONI, M.C. DUBEAU, J.C. MAZZIOTTA, G.L. LENZI, *Neural Mechanisms of Empathy in Humans: A Relay from Neural Systems for Imitation to Limbic Areas*, in: «Proceedings of the National Academy of Science U.S.A.», vol. C, n. 9, 2003, pp. 5497-5502.

⁶⁷ Cfr. T. SINGER, B. SEYMOUR, J.P. O'DOHERTY, K.E. STEPHAN, R.J. DOLAN, C.D. FRITH, *Empathic Neural Responses are Modulated by the Perceived Fairness of Others*, in: «Nature», vol. CDXXXIX, n. 7075, 2006, pp. 466-469.

⁶⁸ Cfr. C. KEYSERS, J.H. KAAS, V. GAZZOLA, *Somatosensation in Social Perception*, in: «Nature Review Neuroscience», vol. XI, n. 6, 2010, pp. 417-428.

⁶⁹ Cfr. Y. FAN, N.W. DUNCAN, M. DE GRECK, G. NORTHOFF, *Is there a Core Neural Network in Empathy? An fMRI Based Quantitative Meta-analysis*, in: «Neuroscience and Biobehavioral Review», vol. XXXV, n. 3, 2011, pp. 903-911; C. LAMM, J. DECETY, T. SINGER, *Meta-analytic Evidence for Common and Distinct Neural Networks Associated with Directly Experienced Pain and Empathy for Pain*, in: «Neuroimage», vol. LIV, n. 3, 2011, pp. 2492-2502.

⁷⁰ Cfr. H.D. CRITCHLEY, *Neural Mechanisms of Autonomic, Affective, and Cognitive Integration*, in: «The Journal of Comparative Neurology», vol. CDXCIII, n. 1, 2005, pp. 154-166.

⁷¹ Cfr. V. GALLESE, C. KEYSERS, G. RIZZOLATTI, *A Unifying View of the Basis of Social Cognition*, in: «Trends in Cognitive Science», vol. VIII, n. 9, 2004, pp. 396-403.

⁷² Cfr. J.D. GREENE, R.B. SOMMERVILLE, L.E. NYSTROM, J.M. DARLEY, J.D. COHEN, *An fMRI Investigation of Emotional Engagement in Moral Judgment*, cit.; J.D. GREENE, L.E. NYSTROM, A.D. ENGELL, J.M. DARLEY, J.D. COHEN, *The Neural Bases of Cognitive Conflict and Control in Moral Judgment*, cit.; C.L. HARENSKI, O. ANTONENKO, M.S. SHANE, K.A. KIEHL, *Gender Differences in Neural Mechanisms Underlying Moral Sensitivity*, in: «Social Cognitive and Affective Neuroscience», vol. III, n. 4, 2008, pp. 313-321.

⁷³ Cfr. R.L. KENEY, H. RAIFFA, *Decisions with Multiple Objectives*, Wiley, New York 1976.

⁷⁴ Cfr. C.F. CAMERER, *Behavioural Studies of Strategic Thinking in Games*, in: «Trends in Cognitive Science», vol. VII, n. 5, 2003, pp. 225-231.

⁷⁵ Cfr. G. TABIBNIA, A.B. SATPUTE, M.D. LIEBERMAN, *The Sunny Side of Fairness: Preference for Fairness Activates Reward Circuitry (and Disregarding Unfairness Activates Self-control Circuit-*

ry), in: «Psychological Science», vol. XIX, n. 4, 2008, pp. 339-347.

⁷⁶ Cfr. K. FLIESSBACH, B. WEBER, P. TRAUTNER, T. DOHMEN, U. SUNDE, C.E. ELGER, A. FALK, *Social Comparison Affects Reward-related Brain Activity in the Human Ventral Striatum*, in: «Science», vol. CCCXVII, n. 5854, 2007, pp. 1305-1308.

⁷⁷ Cfr. N. BAULT, M. JOFFILY, A. RUSTICHINI, G. CORICELLI, *Medial Prefrontal Cortex and Striatum Mediate the Influence of Social Comparison on the Decision Process*, in: «Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A.», vol. CVIII, n. 38, 2011, pp. 16044-16049.

⁷⁸ Cfr. E. TRICOMI, A. RANGEL, C.F. CAMERER, J.P. O'DOHERTY, *Neural Evidence for Inequality-averse Social Preferences*, in: «Nature», vol. CDLXIII, n. 7284, 2010, pp. 1089-1091.

⁷⁹ Cfr. E. FEHR, C.M. SCHMIDT, *A Theory of Fairness, Competition, and Cooperation*, in: «The Quarterly Journal of Economics», vol. CXIV, 1999, pp. 817-868.

⁸⁰ Cfr. C.C. RUFF, E. FEHR, *The Neurobiology of Rewards and Values in Social Decision Making*, cit.

⁸¹ Cfr. J. RILLING, D. GUTMAN, T. ZEH, G. PAGNONI, G. BERNS, C. KILTS, *A Neural Basis for Social Cooperation*, in: «Neuron», vol. XXXV, n. 2, 2002, pp. 395-405.

⁸² Cfr. A. DOGAN, Y. MORISHIMA, F. HEISE, C. TANNER, R. GIBSON, A.F. WAGNER, P.N. TOBLER, *Prefrontal Connections Express Individual Differences in Intrinsic Resistance to Trading Off Honesty Values against Economic Benefits*, in: «Science Report», vol. VI, 2016, Art.Nr. 33263 - doi: 10.1038/srep33263.

⁸³ Cfr. E. FEHR, S. GACHTER, *Altruistic Punishment in Humans*, in: «Nature», vol. CDXV, n. 6868, 2002, pp. 137-140.

⁸⁴ Cfr. D.J. DE QUERVAIN, U. FISCHBACHER, V. TREYER, M. SCHELLHAMMER, U. SCHNYDER, A. BUCK, E. FEHR, *The Neural Basis of Altruistic Punishment*, in: «Science», vol. CCCV, n. 5688, 2004, pp. 1254-1258; S.F. WHITE, S.J. BRISLIN, S. SINCLAIR, J.R. BLAIR, *Punishing Unfairness: Rewarding or the Organization of a Reactively Aggressive Response?*, in: «Human Brain Mapping», vol. XXXV, n. 5, 2014, pp. 2137-2147.

⁸⁵ Cfr. M. HSU, C. ANEN, S.R. QUARTZ, *The Right and the Good: Distributive Justice and Neural Encoding of Equity and Efficiency*, cit.

⁸⁶ Cfr. N. CANESSA, C. CRESPI, M. MOTTERLINI, G. BAUD-BOVY, G. CHIERCHIA, G. PANTALEO, M. TETTAMANTI, S.F. CAPPÀ, *The Functional and Structural Neural Basis of Individual Differences in Loss Aversion*, cit.

⁸⁷ Cfr. A. SHENHAV, J.D. GREENE, *Moral Judgments Recruit Domain-general Valuation Mechanisms to Integrate Representations of Probability and Magnitude*, cit.

⁸⁸ Cfr. S.M. TOM, C.R. FOX, C. TREPPEL, R.A. POLDRACK, *The Neural Basis of Loss Aversion in Decision-making Under Risk*, cit.

⁸⁹ Cfr. J.D. GREENE, R.B. SOMMERVILLE, L.E. NYSTROM, J.M. DARLEY, J.D. COHEN, *An fMRI Investigation of Emotional Engagement in Moral Judgment*, cit.; J.D. GREENE, L.E. NYSTROM, A.D. ENGELL, J.M. DARLEY, J.D. COHEN, *The Neural Bases of Cognitive Conflict and Control in Moral Judgment*, cit.

⁹⁰ Cfr. A. SHENHAV, J.D. GREENE, *Integrative Moral Judgment: Dissociating the Roles of the Amygdala and Ventromedial Prefrontal Cortex*, in: «The Journal of Neuroscience», vol. XXXIV, n. 13, pp. 4741-4749.