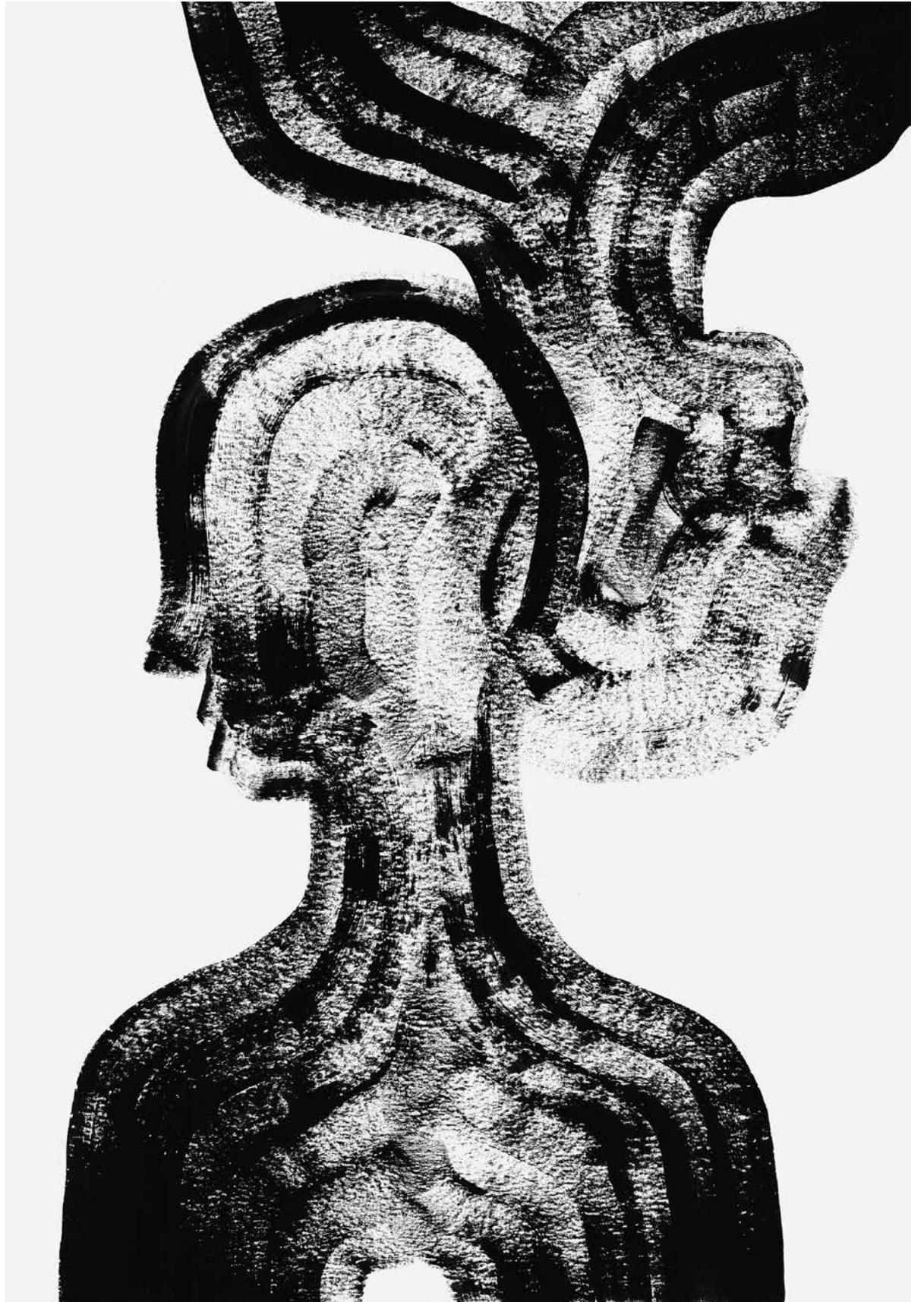


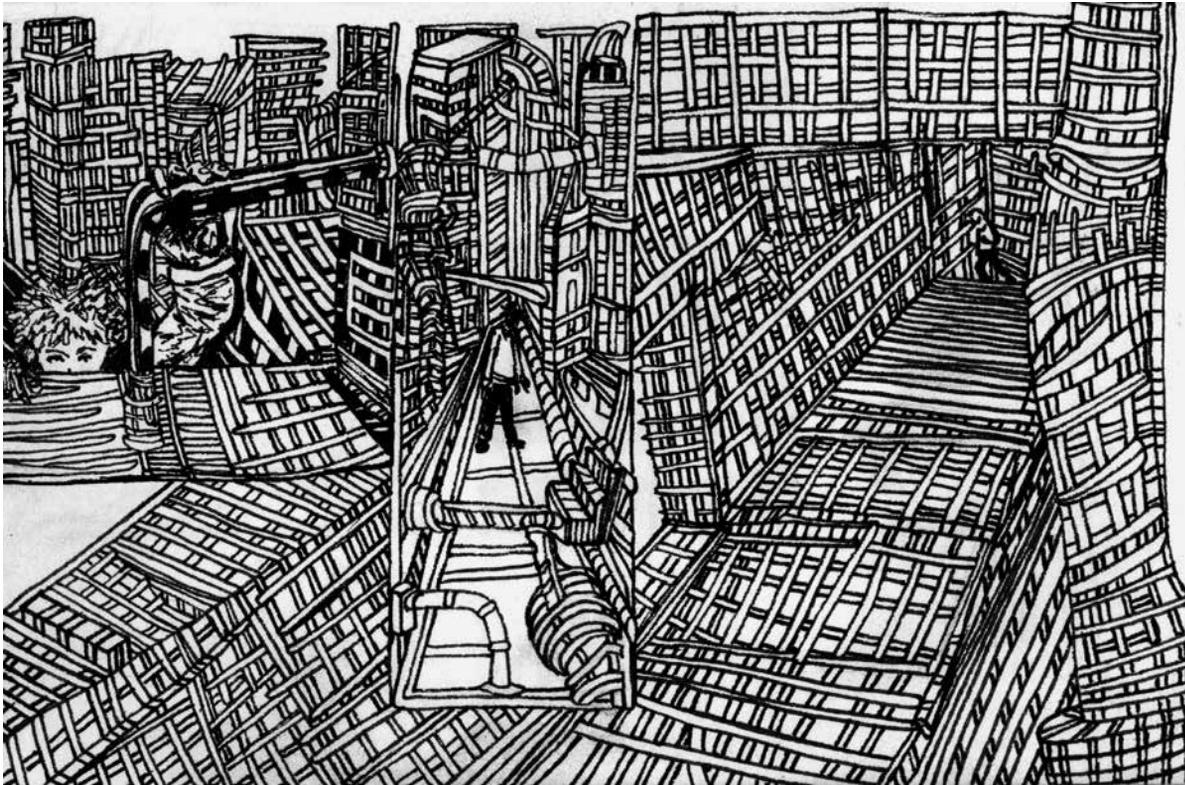


# La volontà del bene e del male. Libero arbitrio: anima o cervello?

Arnaldo Benini, professore emerito di neurochirurgia all'Università di Zurigo



Juliana Paredes-Leoni  
Corso propedeutico – CSIA



Andrea Rossinelli  
Corso propedeutico – CSIA

L'inclinazione al male, che Immanuel Kant chiamò *Hang zum Bösem*, non dà tregua a teologi, filosofi morali e a tutte le persone ragionevoli. Il male è parte della natura. Non solo il male scelto e cosciente dell'uomo, ma il male nel mondo animale, in cui l'esistenza altro non è che lotta per sopravvivere. La causa di morte più frequente nel mondo animale è l'essere mangiati da un animale di specie diversa. "La violenza immensa della natura animale e la crudeltà umana, che non conoscono leggi morali, ci pongono di fronte un'immagine di Dio che potrebbe farci impazzire". Così s'esprime, con smarrimento, il filosofo e scienziato credente C. F. von Weizsäcker<sup>1</sup>. La natura è indifferente alla sofferenza, ed ha una creatività inesauribile per rendere la vita di molta parte di uomini e di animali un calvario. Basta un'occhiata ad un quotidiano per provare sgomento per il male di cui l'uomo è capace e per le sventure che la natura ci impone. Se l'uomo non facesse anche meravigliose opere di bene, d'empatia, generosità e saggezza, verosimilmente l'umanità si sarebbe autodistrutta. Perché solo gli esseri umani, provvisti della ragione e del senso morale, sono inclini alla crudeltà, cioè alla gioia per la sofferenza degli altri? Perché il pensiero non riesce a fermare il male? L'uomo ha ragione e senso morale, e tuttavia compie le peggiori crudeltà. Primo Levi, uno

dei pochi ebrei sopravvissuti ad Auschwitz, nell'amara riflessione del suo ultimo straordinario libro *I sommersi e i salvati*, riferisce che non solo le vittime, ma anche le SS del lager "erano fatti della nostra stessa stoffa, erano esseri umani medi... salvo eccezioni non erano mostri"<sup>2</sup>. Il mostro può essere l'uomo comune, il vicino di casa. Con la razionalità applicata, cioè con la tecnologia, l'uomo ha prodotto camere a gas per uccidere più efficacemente e bombe atomiche, che possono distruggere l'umanità in pochi attimi. La razionalità aumenta la capacità di fare il male, che può raggiungere il massimo dell'orrore. Filosofie e teologie si sono sforzate di spiegare il male e di combatterlo: senza risultato. La spiegazione della tragica antinomia della volontà umana è fornita dalle scienze che studiano la biologia dell'evoluzione. La capacità di fare il male, dovuta a caratteristiche evolutive del cervello, ha messo la specie umana in grado di prevalere sulle altre nella lotta per la sopravvivenza, anche se continua ad essere minacciata da virus e batteri. L'inclinazione al male si è selezionata nei meccanismi del cervello, e viene trasmessa dal genoma da una generazione all'altra. Per la filosofa Hannah Arendt, il male è la banalità dell'esistenza e non è estirpabile una volta per sempre<sup>3</sup>. L'antinomia tra legge morale e male è la condizione umana.

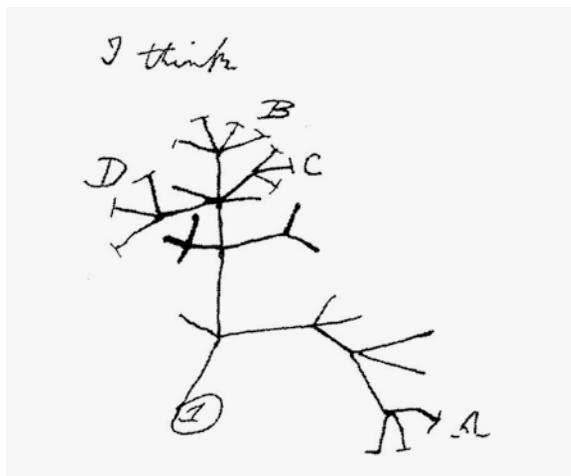
## Note

<sup>1</sup> C. F. v. Weizsäcker, *Gottesfrage und Naturwissenschaften*, in *Deutlichkeit Beiträge zu politischen und religiösen Gegenwartsfragen*, München, Hanser, 1978, p. 155 ss.

<sup>2</sup> P. Levi, *I sommersi e i salvati*, Torino, Einaudi, 1986, ripreso in ID., *Opere vol. I*, Torino, Einaudi, 1987, pp. 653-822, citaz. p. 822.

<sup>3</sup> H. Arendt, *Volere in La vita della mente*, Bologna, il Mulino, 1987, pp. 315-316.

14 | Figura 1 – Disegno di Darwin, in Ch. Darwin, *Notebooks on Transmutation of Species*, London, Bull. British Museum/Natural History, 1960, vol. 2, p. 46 (Charles Darwin, Public domain, attraverso Wikimedia Commons)



### L'arbitrio

L'esperienza soggettiva dell'intenzione cosciente, cioè della volontà, è una componente essenziale dell'esistenza. Quando decidiamo, sentiamo d'essere liberi, e quando decidiamo sotto costrizione, sentiamo la differenza. Il "libero arbitrio", il volere libero da ogni costrizione, è oscuro già nella formulazione: chi o che cosa deve essere libero? E libero da che cosa? L'*intenzione* comprende i numerosi eventi nervosi della sequenza che trasforma desideri e scopi in comportamento<sup>4</sup>. Le neuroscienze cognitive (le scienze dei meccanismi dell'autocoscienza) studiano la fisiologia della coscienza e della mente, e della volontà, *riducendo*, come tecnicamente si dice, gli eventi mentali alla chimica e fisica del cervello. Le neuroscienze dimostrano che noi siamo, nel bene e nel male, ciò che il cervello ci fa essere. Circa la volontà, le scienze cognitive hanno individuato il meccanismo in forza del quale l'autocoscienza s'illude di decidere liberamente, mentre in realtà è informata della decisione già presa. Se noi siamo ciò che il cervello ci fa essere, la domanda su che cosa, al suo interno, dovrebbe "liberarsi" per garantirci l'autonomia della volontà, è assurda: ciò che dovrebbe "liberarsi" dai vincoli naturali per agire in libertà altro non sarebbe che una parte dei neuroni del cervello. "Libero arbitrio" non significa nulla.

### L'evoluzione dell'autocoscienza

Tornato in Inghilterra dopo quasi cinque anni di navigazione con la nave *Beagle*, il ventisettenne Charles Darwin, nel 1837, mise in dubbio l'ortodossia secondo

la quale gli esseri viventi hanno forme stabili e definitive create da Dio. Osservazioni e dati raccolti durante il viaggio lo indussero a pensare che tutte le specie si modificano nel corso dei millenni per una procedura che sembrava essere, scrisse nel taccuino, una "legge di adattamento", barlume della teoria dell'evoluzione. "Gli esseri organizzati", annotò, "rappresentano un albero [...] irregolarmente ramificato", che disegnò: il tronco sale e si divide in quattro rami maggiori e diversi minori e ognuno dei maggiori si divide in rami più piccoli (Fig. 1).

All'interno di ciascun gruppo c'è un ramo marcato con A, B, C e D. Le ultime tre lettere, vicine una all'altra alla sommità dell'albero, indicano parentele strette tra gli esseri viventi, A è più lontana, ma è sempre parente. Sopra il disegno Darwin scrisse *I think*, io penso. Era l'idea della divergenza evolutiva di ogni forma di vita a partire da un unico antenato, indicato dalla lettera 1. L'albero di Darwin sintetizza che tutte le specie provengono da un insieme meno numeroso di gruppi ancestrali, i quali, a loro volta, si sono evoluti da un numero ancora più ristretto di progenitori. LUCA (*Last Universal Common Ancestor*), verosimilmente un essere monocellulare senza nucleo, circa 3 miliardi e 800 milioni d'anni fa fu in grado di produrre ossigeno. Così ebbe inizio casualmente la vita da materia non vivente, in un modo che non conosciamo, tant'è che i tentativi di creare vita in laboratorio sono falliti. Da LUCA sarebbe derivato tutto ciò che vive: l'universalità del codice genetico attuale di tutta la natura vivente corrobora l'ipotesi che l'origine della vita sia stato un evento casuale unico. LUCA è l'1. di Darwin, dal quale deriverebbero la diversità, la complessità e l'adattamento di tutta la natura vivente. La genetica conferma l'intuizione di Darwin: i geni trasmettono da una generazione all'altra i caratteri delle specie. Le mutazioni genetiche casuali producono varianti anatomiche e funzionali, selezionate dalla "legge di adattamento" all'ambiente, cioè dall'evoluzione. Così si è differenziata e sviluppata la natura vivente, animale, vegetale e microscopica. Circa un milione e trecentomila anni fa nel cervello di una specie di primati prese a svilupparsi il lobo prefrontale, spartiacque morfologico fra il genere *Homo* e gli altri primati, che ne sono privi. Grazie ai lobi prefrontali, con selezioni avvenute nel corso di millenni, il genere *Homo* ha acquisito, unico fra i viventi, l'autocoscienza, cioè la capacità di porre sé

### Nota

4

P. Haggard, *Conscious intention and motor cognition*, *Trends in Cognitive Sciences*, 9, 2005, pp. 290-295; e M. Brass; P. Haggard, *To Do or Not to Do. The Neural Signature of Self-Control*, *J. of Neurosci.*, 27, 2007, pp. 9141-9145; e A. Benini, *Neurobiologia della volontà*, Milano, Raffaello Cortina, 2022.

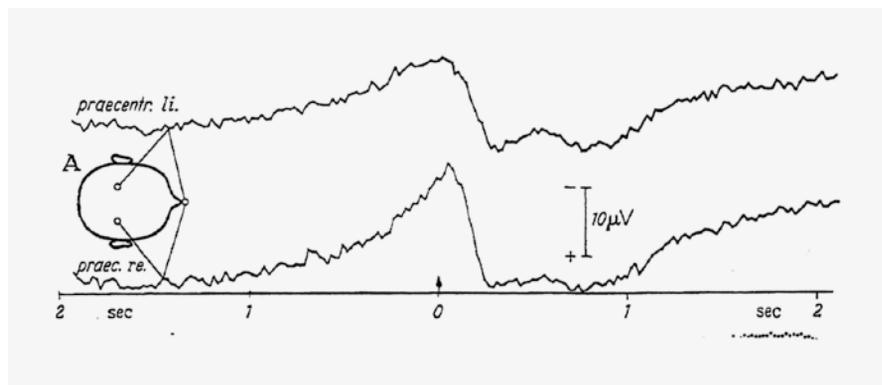


Figura 2 – Modificazione del potenziale cerebrale in caso di movimento volontario della mano sinistra. Negatività verso l'alto, prima del movimento, positività verso il basso, dopo il movimento. La piccola freccia nel mezzo della linea in basso (O) segnala l'inizio del movimento, registrato dall'elettromiogramma (H. H. Kornhuber; L. Decke, *Hirnpotentialänderungen bei Willkürbewegungen und passiven Bewegungen des Menschen: Bereitschaftspotential und reafferente Potentiale*, Pflüger's Archiv für Die Gesamte Pysiologie des Menschen und der Tiere, 284, 1965, p. 4)

15

stesso e la sua esistenza ad oggetto della propria riflessione. Gli animali hanno senso del tempo e dello spazio, stati umorali e caratteriali, cioè hanno coscienza, ma nessuno di loro è autocosciente al punto da poter giudicare la propria esistenza<sup>5</sup>. I lobi prefrontali hanno sviluppato nell'uomo il linguaggio interiore, strumento della capacità di pensare, diventato poi mezzo della comunicazione. Con l'autocoscienza l'uomo divenne l'unico essere consapevole della brevità e dell'estrema durezza della vita. I dubbi, le angosce, le sofferenze misero verosimilmente in dubbio il senso di quella che Francis Bacon chiama "miseria del vivere", mettendo in pericolo la sopravvivenza dell'*Homo*. La minaccia fu sventata dalla selezione evolutiva della fede religiosa e della certezza della sopravvivenza dopo la morte. Religioni esistono in tutti i popoli, anche i più remoti ed isolati. Le religioni storiche, pur nella loro diversità, trasmettono la convinzione dell'esistenza terrena come breve prova alla vita eterna. L'autocoscienza e l'evoluzione culturale hanno dato all'uomo le capacità di imporsi sul resto della natura vivente, ora anche con l'estrema capacità distruttiva dei mezzi creati dalla tecnologia. Col genoma umano si trasmette l'inclinazione al male nella lotta per la vita. L'autocoscienza l'attenua con lo sviluppo del senso morale.

### La fisiologia dell'autocoscienza

Il mattone elementare del sistema nervoso centrale è il neurone. È una cellula, di cui nell'uomo esistono circa mille varianti morfologiche e funzionali, che produce elettricità. Lo stimolo elettrico viaggia lungo il prolungamento filiforme del neurone, che consente una comunicazione rapida fra i neuroni anche su lunghe distanze<sup>6</sup>. Lo studio attuale dei meccanismi della coscienza, dell'autocoscienza e della volontà è iniziato nel 1929 con la pubblicazione dello psichiatra di Jena Hans Berger (1873-1941) sull'elettroencefalografia (EEG)<sup>7</sup>. Essa è la registrazione grafica

transcraniale, con elettrodi posti sulla testa, dell'attività elettrica del cervello. Berger descrisse l'origine, nelle aree del cervello in condizioni normali e patologiche, dei potenziali elettrici, classificandoli a seconda della frequenza e dell'ampiezza. L'elettroencefalografia fu la prima tappa della visualizzazione in tempo reale (*neuroimaging*, nella terminologia corrente) dell'attività cerebrale, che, a partire dagli anni Novanta del secolo scorso, è arrivata ai risultati straordinari della risonanza magnetica funzionale (fMRI), della PET e dei potenziali elettrici evocati (vedi glossario). La fMRI visualizza le aree cerebrali attive prima e durante decisioni ed eventi cognitivi (riflessioni, ricordi, calcoli, ecc.) e fisici<sup>8</sup>.

### Il potenziale di prontezza di Hans H. Kornhuber

Nel 1965 il neurofisiologo Hans H. Kornhuber studiando dodici studenti che, in ogni seduta, flettevano volontariamente circa cento volte mani o piedi, iniziò la neurofisiologia della volontà. Da un secondo a un secondo e mezzo *prima* del movimento *volontario* della mano o del piede di sinistra era registrata una lenta flessione negativa del tracciato dell'elettroencefalogramma nell'area corticale premotoria, dell'area motoria supplementare e dell'area del movimento d'entrambi gli emisferi, molto più accentuata nell'emisfero destro, dal quale il movimento sarà poi provocato (Fig. 2). Il potenziale fu chiamato *potenziale di prontezza* (RP)<sup>9</sup>.

Se il movimento era passivo, cioè mano o piede erano flessi da altri, l'RP non c'era. L'RP fu interpretato come l'attività corticale elettrica dell'intenzione di muoversi e *non* del movimento. *Prima* dell'inizio d'un movimento *volontario* l'area cerebrale motoria che lo genera ha un'intensa attività elettrica<sup>10</sup> a partire da circa un secondo e mezzo prima del movimento, senza attivazione delle aree frontali della coscienza, cioè prima che la persona si renda conto di voler muoversi.

### Note

5  
D. B. Edelmans; B.J. Baars; A. K. Seth, *Identifying hallmarks of consciousness in non-mammalian species*, *Consciousness and Cognition*, 14, 2005, pp. 169-187; e D. B. Edelmans; A. K. Seth, *Animal Consciousness: A synthetic approach*, *Trends in Neuroscience*, 32, 2009, pp. 476-484.

6  
J. LeDoux, *Lunga storia di noi stessi. Come il cervello è diventato cosciente*, Milano, Raffaello Cortina, 2020, in partic. pp. 167-178.

7  
H. Berger, *Ueber das Elektroencephalogramm des Menschen*, *Arch. f. Psychiat. u. Nervenkrankheiten*, 87, 1929, pp. 527-570; e *Das Elektroencephalogramm des Menschen*, Nuova Acta Leopoldina, 6(38), 1938.

8  
R. A. Poldrack, *Can cognitive processes be inferred from neuroimaging data?* *Trends in Cognitive Sciences*, 10, 2006, pp. 59-63.

9  
H. H. Kornhuber; L. Decke, *Hirnpotentialänderungen bei Willkürbewegungen und passiven Bewegungen des Menschen: Bereitschaftspotential und reafferente Potentiale*, Pflüger's Archiv für Die Gesamte Pysiologie des Menschen und der Tiere, 284, 1965, pp. 1-17.

10  
W. G. Walter, *Slow potential waves in the human brain associated with expectancy, attention and decision*, *Arch. f. Psychiat. u. Zeitschrift f. d. ges. Neurologie*, 206, 1964, pp. 309-322.

## Note

11  
Molti lavori di Benjamin Libet e coll. sulla fisiologia della volontà e sul senso del tempo sono raccolti nel volume B. Libet *Neurophysiology of Consciousness Selected Papers and New Essays*, Boston Basilea Berlino, Birkhauser, 1993, pp. 229 ss.

12  
B. Libet; E. W. Wright; C. A. Gleason, *Readiness-Potentials Preceding Unrestricted "spontaneous" Vs Pre-Planned Voluntary Acts*, *Electroencephal. a. Clin. Neurophysiol.*, 54, 1982, pp. 322-335.

13  
B. Libet, *The Neural Time-Factor in Perception, Volition and Free Will*, *Revue de Métaphysique et de Morale*, 97 (2), 1992, riportato in B. Libet, *cit.*, (14), pp. 367-384.

14  
M. Hallett, *Volitional control of movement: The physiology of free will*, *Clinical Neurophysiology*, 118, 2007, pp. 1179-1192.

15  
P. Haggard; M. Eimer, *On the relation between brain potentials and the awareness of voluntary movements*, *Exp. Brain Res.*, 126, 1999, pp. 128-133.

16  
P. Haggard, *Decision Time for Free Will*, *Neuron*, 69, 2011, pp. 404-406; C. D. Frith; P. Haggard, *Volition and the Brain- Revisiting a Classic Experimental Study*, *Trends in Neuroscience*, 41, 2017, pp. 405-407.

17  
C. S. Soon; M. Brass et al., *Unconscious determinants of free decisions in the human brain*, *Nature Neuroscience* 11, 2008, pp. 543-545.

18  
S. Dehaene, *Coscienza e cervello. Come i neuroni codificano il pensiero*, Milano, Raffaello Cortina, 2014, in partic. pp. 207 ss.

## Le ricerche di Benjamin Libet

Il neuroscienziato Benjamin Libet (1916-2007)<sup>11</sup> si chiese quando, durante l'attività elettrica corticale precedente un movimento volontario, si diventi *coscienti* di volerlo fare, cioè quando diventa cosciente la volontà di muoversi<sup>12</sup>. La domanda era se l'RP fosse presente *prima* che la persona avesse intenzione di muoversi. In tal caso il movimento sarebbe stato deciso dall'attività motoria cerebrale, prima dell'attivazione delle aree cerebrali della coscienza. Libet si chiese in quale momento, fra l'RP nell'area premotoria e nell'area motoria supplementare e l'inizio del movimento si divenga coscienti di volerlo fare, cioè quando si diventi coscienti dell'intenzione di agire<sup>13</sup>. La tecnica usata era semplice e geniale: si applicava l'elettroencefalogramma alla persona studiata e un elettromiogramma ai muscoli del movimento previsto (piede, mano, dito). Davanti a sé la persona aveva un disco a forma di orologio, lungo la circonferenza del quale scorreva un punto luminoso. La persona doveva fissarsi nella memoria dove si trovava il punto luminoso nell'attimo in cui diventava cosciente dell'intenzione del movimento, che poi era registrato dall'elettromiogramma dei muscoli attivati.

Libet dimostrò (Fig. 3) che l'RP di un movimento volontario inizia 550 millisecondi prima dell'attivazione dell'area corticale motoria di entrambi gli emisferi, e la persona che lo compie diventa cosciente di *voler fare* quel movimento 350-400 millisecondi *dopo* l'insorgenza dell'RP e 200 millisecondi *prima* che il movimento inizi, cioè prima dell'attivazione muscolare<sup>14</sup>. Il processo che porta al movimento *volontario* inizia *inconsapevolmente*: il cervello inizia un movimento prima che le aree cerebrali della coscienza avvertano la volontà di farlo. Il cervello inizia i processi preparatori per un atto che ci si illude di fare volontariamente prima della coscienza di quell'intenzione<sup>15</sup>. Ciò di cui la coscienza s'illude d'essere l'origine inizia inconsapevolmente come attività elettrica cerebrale. Che cosa fa partire l'RP, l'attività elettrica che, inconsapevolmente, determina il movimento? Dove si formano le intenzioni nel cervello e come se ne diventa coscienti? Libet riassume la sua ricerca, da allora cardine della ricerca sulla fisiologia della volontà<sup>16</sup>, sostenendo che gli atti volontari percepiti come *liberi* sono preceduti da una modificazione elettrica della corteccia cerebrale (l'RP) che inizia mezzo secondo prima dell'atto voluto. La persona che muove diviene cosciente dell'intenzione di agire 350-400 ms *dopo* la comparsa dell'RP e 200 ms *prima* dell'atto motorio. Dall'area motoria, atti-

va nel momento dell'RP, partono due informazioni: una che va ai centri della coscienza, grazie alla quale dopo 300-400 ms si diventa coscienti di voler fare il movimento già in atto, e l'altra che va ai centri motori dei muscoli da attivare. La volontà libera dagli eventi cerebrali sembra così esclusa. L'RP è presente solo nell'anticipo del movimento apparentemente volontario.

## Stato attuale

Le neuroscienze dimostrano che ogni evento della coscienza (come una decisione, banale o complessa, buona o malvagia) è *preceduto* da una modificazione di aree particolari della corteccia cerebrale. L'attivazione è altamente specifica: le aree sono diverse se si fa una somma o una sottrazione, se si ragiona induttivamente o per deduzione, se si vuole muovere una mano o un dito, se si pensa a Dio con devozione o con rifiuto, ed è verificabile prima che la decisione o la riflessione siano coscienti. Si vede, con la neurovisualizzazione (TAC, risonanza magnetica, PET), quale area corticale è attiva. Qualche tempo (fino a 12 secondi!) prima d'essere coscienti di voler muovere una mano, la risonanza mostra l'attivazione dell'area motoria della mano che verrà mossa nell'emisfero cerebrale controlaterale e in quella omolaterale del cervello, cioè nelle aree proprie di quella mano. Chi guarda il video della risonanza sa prima della persona di cui si studia il cervello quale arto muoverà. Dopo una frazione di secondo dalla comparsa dell'attività con localizzazione altamente specifica, i meccanismi della coscienza sono informati della decisione presa<sup>17</sup>. Da qui l'illusione della volontà libera. Il problema irrisolto è se quell'attività corticale è veramente la causa di quel che avverrà, oppure se è un evento corticale che non causa ma accompagna la decisione o la riflessione. Con la innocua, ma efficace, stimolazione magnetica transcraniale, l'area corticale attiva può essere spenta prima d'aver raggiunto i meccanismi della coscienza, cioè prima che si sia consapevoli di voler muovere la mano: la mano non si muove e non si è coscienti di averla voluta muovere<sup>18</sup>. È un dato molto rilevante a favore dell'ipotesi che l'attività corticale inconscia che precede la consapevolezza sia la causa del movimento. Le varie visualizzazioni dell'attività cerebrale mostrano che un'area è attiva con particolari contenuti della coscienza. Il contenuto della coscienza cambia solo dopo che è cambiata l'attività cerebrale. Il correlato nervoso specifico di ciò che la coscienza

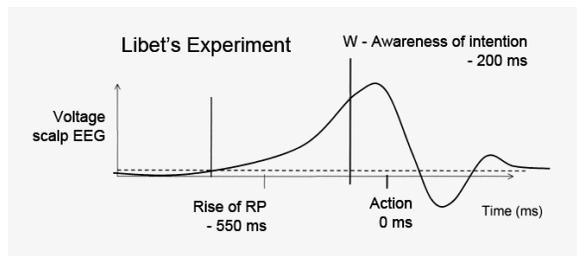


Figura 3 – Tracciato storico dell'esperimento di Libet. Rise of RP, inizio del potenziale di prontezza; W, consapevolezza di voler muoversi; Action, inizio del movimento (B. Libet; E. W. Wright; C. A. Gleason, Readiness-Potentials Preceding Unrestricted "spontaneous" Vs Pre-Planned Voluntary Acts, *Electoencephal. a. Clin. Neurophysiol.*, 54, 1982, p. 328)

za percepisce è costante. La costanza della correlazione è un indizio forte a favore della tesi che l'attività corticale spontanea è la causa di ciò che avviene. Eppure noi siamo sempre assolutamente certi che solo la volontà cosciente decide il nostro essere e il nostro comportamento. La sensazione illusoria ma tenace della volontà cosciente è stata studiata dallo psicologo Daniel M. Wegner<sup>19</sup>. Il diventare coscienti dell'evento iniziato con l'RP è sempre accompagnato dall'attività nervosa che impone la certezza (illusoria) che la scelta è dovuta alla volontà cosciente. È, dice Wegner, un epifenomeno di ogni atto apparentemente volontario, che la coscienza considera sua scelta esclusiva, con annesso senso della responsabilità. Per questo, dice Wegner, è un'illusione benemerita. Il tema è al centro di molteplici ricerche e contestazioni.

## Finale

I dati della scienza convergono, pur con diverse controversie, nell'indicare nell'attività cerebrale spontanea la causa del nostro essere ciò che siamo. Noi siamo ciò che il cervello ci fa essere. Se ciò non fosse, quale è l'alternativa? Una sola: il dualismo, secondo il quale il fondamento della coscienza, dell'autocoscienza, della morale, del comportamento non è fisico, non è prodotto dal cervello. Noi saremmo diretti dall'anima, dalla *res cogitans* di Cartesio<sup>20</sup>. Cartesio, riportando un pensiero di Agostino, sosteneva che "nessuno manca di sentire e sperimentare che volere ed essere liberi non sono che una medesima cosa"<sup>21</sup>. Una concezione che corrisponde al senso comune, ma che degli eventi coscienti non spiega nulla e che la scienza non può confermare. Le scelte più tragiche vengono prese da individui singoli, da comunità e da popoli interi. "La nostra sola speranza non è di eliminare il male definitivamente, ma di tentare di comprenderlo, contenerlo, dominarlo"<sup>22</sup>, dice, rassegnato, il filosofo Tzvetan Todorov. Come? Un miglioramento potrebbe venire da un'educazione già dalla prima infanzia orientata più di quanto non sia oggi verso lo sviluppo del senso morale. Ogni esperienza, fisica e mentale, modifica, grazie alla plasticità cerebrale, la struttura del cervello. Ogni percezione è pertanto un atto che crea la modificazione della macchina che ci fa essere ciò che siamo. È il meccanismo dell'effetto dell'esperienza sul carattere e la visione della vita. Cerchiamo di modificare la corteccia cerebrale col buon esempio e il buon insegnamento. Più di tanto oggi non si può fare.

## Glossario

**fMRI** – Immagini della risonanza magnetica funzionale che misurano le modificazioni del flusso sanguigno dovute alla diversa concentrazione di ossigeno nel sangue. Ciò modifica l'intensità del segnale. Diversamente dalla risonanza normale, la fMRI registra moltissime immagini con grande rapidità.

**PET (Tomografia con positroni)** – Rileva indirettamente l'attività cerebrale misurando le variazioni del flusso sanguigno. È sempre più sostituita dalla fMRI.

**Plasticità cerebrale** – Ogni esperienza, sensoriale, affettiva, mentale, modifica la struttura e il funzionamento del cervello. A ciò si deve il cambiamento di carattere e di mentalità nel corso della vita.

**Potenziali evocati** – Componenti dell'elettroencefalografia che compaiono in risposta a uno stimolo acustico, visivo, somato-sensoriale.

**TAC (Tomografia assiale computerizzata)** – Ricostruzione computerizzata di strati di un organo radiografati a distanze di 2-4 mm in un'immagine pluridimensionale. Ha inaugurato la straordinaria visualizzazione organica contemporanea.

## Note

- 19 D. M. Wegner, *L'illusione della volontà cosciente*, Milano, Carbonio, 2020 (orig. *The Illusion of Conscious Will*, Cambridge-Ma, MIT Press, 2002 e 2018).
- 20 R. Dawkins, *Science in the Soul*, London New York et al., Bantam Press, 2017, p. 215.
- 21 R. Descartes, *Opere*, 2 voll., Roma-Bari, Laterza, 1967, vol. I, pp. 361-662, riportato in H. Arendt, *La vita della mente*, cit., pp. 339-340.
- 22 T. Todorov, *Gli altri vivono in noi, e noi viviamo in loro. Saggi 1983-2008*, Milano, Garzanti, 2011, p. 300.



Anana Brekashvili  
Corso propedeutico – CSIA