

Sfide e opportunità della interazione tra uomo e macchina*

Diego Centonze

Prof. Ordinario di Neurologia, Università Roma Tor Vergata

Riassunto. Il perfezionamento della interazione tra segnali nervosi e dispositivi elettronici impiantati direttamente nella corteccia mira a espandere le capacità del cervello umano. Tali tentativi di potenziare la interazione tra il cervello e la macchina attraverso la sempre maggiore fedeltà della registrazione della attività nervosa correlata a una data esperienza sensoriale potrebbero permettere di conservare, rivivere e al limite trasferire a un altro cervello la stessa esperienza. Non soltanto le esperienze sensoriali ma anche specifici comandi motori potrebbero essere trasferiti attraverso dispositivi impiantati nel cervello, con importanti implicazioni per il recupero di competenze motorie perse a causa di un danno cerebrale. Esistono evidenze di laboratorio che suggeriscono che lo stimolo per un movimento, o anche per un comportamento complesso, generato esternamente potrebbe essere esperito non come estraneo dai pazienti con tali impianti, che potrebbero pertanto essere incapaci di distinguere tra comportamenti imposti e auto-generati.

Parole chiave. Controllo motorio, Interazione cervello-macchina, libero arbitrio, Neuralink

CHALLENGES AND OPPORTUNITIES OF BRAIN-MACHINE INTERACTION

Summary. The expansion of brain abilities is actively pursued by perfecting the interaction between neuronal signals and electronic devices directly implanted in the human cortex. As a result of these attempts to potentiate brain-machine interaction, it can be predicted that higher fidelity recordings of neuronal correlates of complex sensory experiences could allow to store, re-experience and also to transfer to another brain the same experience. Not only sensory experiences but also motor commands could be transferred through implanted devices to a human brain, and this could be relevant for the restoration of motor abilities in patients with neurological deficits. Experimental evidence exists that external triggers of simple movements but also of a complex behavior are rapidly embodied by the implanted patients, that may not be able to distinguish them from self-generated behaviors.

Key words. Motor control, Brain-machine interaction, free will, Neuralink

Come è noto Neuralink è una start-up che si propone di potenziare la capacità della mente umana attraverso una connessione diretta del cervello alla macchina e anche, tramite questa, a un altro cervello. Citando il suo visionario e geniale fondatore, Elon Musk: *“Neuralink permetterà la fusione dell'uomo con la macchina già nei prossimi anni, attraverso microimpianti cerebrali che ci permetteranno di comunicare direttamente con il nostro smartphone, per esempio”*.

Già esistono esempi di interfaccia cervello-computer utilizzati nei casi di paralisi motoria completa. Per chi non può utilizzare neanche un dito per attivare un sintetizzatore vocale o muovere una carrozzina, le interfacce cervello-computer raccolgono direttamente i segnali elettrici del cervello per trasformarli in comandi per un computer. Per esempio, durante l'addormentamento compaiono sul tracciato EEG specifiche onde. Possiamo quindi programmare una macchina che spen-

ga per esempio le luci di casa quando questa registri queste onde sul tracciato EEG, oppure che freni e parcheggi la macchina se uno è alla guida. Pare che negli ultimi mesi di vita, S. Hawking avesse perduto l'uso di quell'unico dito che gli permetteva di parlare tramite un sintetizzatore vocale e di muovere la sua sedia a rotelle. Pare utilizzasse una interfaccia cervello-computer per muovere la carrozzina. In qualche modo bastava che pensasse "avanti" perché la macchina registrasse il correlato elettrico cerebrale di questo comando da alcuni elettrodi di superficie posti sullo scalpo per muovere la carrozzina.

Il progetto di Elon Musk però è molto più ambizioso. Neuralink si propone di sviluppare microelettrodi da impiantare direttamente nel cervello, in grado di leggere con precisione i segnali elettrici prodotti dalla attività neuronale, interpretarli e trasferirli wireless a un calcolatore che risponda in modo congruo a tali segnali. Per fare un esempio il dispositivo di Elon Musk potrebbe leggere dalla corteccia cerebrale il desiderio di sapere quanto fa 22x34, e trasferirebbe questa richiesta non verbalizzata a un microcalcolatore, il quale a sua volta trasmette la risposta a un piccolo sintetizzatore vocale impiantato nell'orecchio dello stesso soggetto. Charamente una cosa del genere sarebbe di relativa scarsa utilità perché possiamo già avere una estensione notevole della nostra capacità di calcolo interrogando velocemente Siri nel nostro iPhone. Neuralink però ha ben altre ambizioni. Usando ancora le parole di Elon Musk: *"Immaginiamo di trovarci davanti a un bel paesaggio e di voler conservare e rivivere questa esperienza. Dalla corteccia visiva il microimpianto registra il correlato neuronale di questa esperienza visiva e lo trasmette tutte le volte che vogliamo alla nostra stessa retina o magari a quella di un'altra persona con cui vogliamo condividere questa esperienza."*

La tecnologia di Neuralink ci consentirà, quindi, di "allucinare" davanti ai nostri occhi, e a quelli che sono con noi, quanto desideriamo più intensamente. Continuando la citazione: *"La stessa cosa può accadere per esempio per una esperienza sessuale: potremo conservarla, riviverla o anche dividerla."*

Le cose si fanno più inquietanti se immaginiamo che piuttosto che trasferire realistiche esperienze sensoriali (visive, tattili, ecc), un soggetto, o una macchina, trasferisca nel cervello di un altro soggetto un comando motorio. Insomma, anche la pianificazione e l'esecuzione

del movimento volontario ha una sua grammatica neuronale che può essere registrata dalla corteccia pre-motoria, codificata come attività elettrica, e trasferita nel cervello altrui. In qualche modo, questo sappiamo già farlo. In laboratorio possiamo impiantare nel cervello dei ratti speciali dispositivi che ci permettono letteralmente di teleguidare i movimenti dei ratti: vai a destra, sinistra, fermati, ecc. Una domanda importante a questo punto è: come viene vissuto dal soggetto che riceve il comando di muoversi, il suo proprio atto? Come una costrizione involontaria, come per esempio nel caso dei tic o del leggendario braccio autonomo del Dr. Stranamore nel film di Stanley Kubrick (1964)? Non sappiamo rispondere con precisione, ma tutto ci porta a ipotizzare che il soggetto teleguidato percepirà i propri atti non come imposti, bensì come volontari e autodeterminati. Ci porta in questa direzione un esperimento del 1977 compiuto da Benjamin Libet (1). L'esperimento fu condotto come segue: un soggetto era posto di fronte a un monitor, mentre ne venivano misurate le attività cerebrali e muscolari attraverso EEG ed EMG. Gli veniva dunque chiesto di reagire (muovendo un dito o premendo un pulsante) non appena un puntino, in continuo movimento, raggiungesse uno dei segnali sullo schermo che il soggetto aveva scelto. L'EMG, che registrava l'arrivo dell'impulso elettrico al muscolo, segnava il momento 0 e l'avvenire dell'atto volontario vero e proprio. L'EEG serviva in questo caso a rilevare una specifica onda nota come potenziale pre-motorio (PPM), già descritto in passato come un evento elettrico che precede di mezzo secondo l'esecuzione di un movimento volontario e che codifica pertanto non l'esecuzione ma bensì l'attività di programmazione di tale movimento. Libet e colleghi osservarono che l'EEG mostrava l'attività cerebrale corrispondente al momento della decisione consapevole di compiere quel movimento non come concomitante con l'inizio del potenziale pre-motorio (-0,5 secondi), ma come successiva, a -0,2 secondi. Quindi, contrariamente a quanto ci si poteva aspettare, la scelta di compiere il movimento non è il primo passo per l'esecuzione del movimento stesso, ma è successiva a un evento cerebrale di cui non abbiamo consapevolezza e che possiamo tuttavia registrare (ed eventualmente trasferire nel cervello altrui). Nell'istante esatto in cui diciamo di prendere una decisione scopriamo che la decisione era stata già presa, e quello che pertanto pensiamo sia stata una nostra scelta è

invece il prodotto deterministico di un evento avvenuto qualche centinaia di millisecondi prima. Le implicazioni di tale osservazione per il cosiddetto libero arbitrio sono ovviamente enormi poiché è evidente da questa osservazione che non esiste una vera scelta libera ma che quello che pure percepiamo come libera scelta è una illusione prodotta dal nostro cervello, illusione che il padrone potrà sempre generare in noi. E' interessante notare quanto la seguente affermazione di Elon Musk suoni totalmente problematica: *“Sarai sempre libero di decidere se e con chi vorrai condividere le tue esperienze. Esattamente come siamo liberi di parlare o tenere la bocca chiusa”*.

Nel 2019 è apparso su *Nature Medicine* un articolo sugli effetti dell'impianto di elettrodi in grado di stimolare il midollo spinale, permettendo a giovani paraplegici per un trauma spinale di camminare (2). È davvero interessante notare come a stimolazioni troppo intense corrispondessero movimenti esagerati di sollevamento dell'arto stimolato, ma ancora più interessante era osservare come i soggetti che subivano la stimolazione midollare non riconoscevano questa stimolazione eccessiva come la causa del loro esagerato movimento, che al contrario attribuivano a un loro errore di programmazione del movimento giusto da compiere.

Quello che appare particolarmente interessante in questi esperimenti è la attribuzione dell'errato movimento a un difetto della *programmazione* del movimento e non (come sembrerebbe più ovvio pensare visto che lo stimolatore è posto nel midollo e non nella corteccia) alla sua semplice *esecuzione*. Sembra quindi che anche quando un determinato compito motorio è sotto un controllo duplice (in questo caso: corteccia motoria e stimolatore midollare), il cervello tenti di scotomizzare il doppio determinismo, inventando una intenzione unitaria e una sintesi che di fatto non esiste.

Come non riconoscere la similitudine tra questi esperimenti e quelli compiuti negli anni 60 e 70 da Roger Wolcott Sperry (premio Nobel per la fisiologia e la medicina nel 1981) e dal suo allievo Michael Gazzaniga sui soggetti split-brain? In uno di questi esperimenti Gazzaniga e il suo team sottoposero la foto di una zampa di gallina all'emisfero sinistro (dominante per il linguaggio) e contemporaneamente un paesaggio innevato all'emisfero destro (3). Alla domanda: “che cosa vede?” il paziente rispose: “Una zampa di gallina”. A questo punto i ricercatori mostrarono una serie

di schede illustrate, chiedendogli di indicare quella più simile all'immagine che aveva visto. La mano destra del paziente (controllata dall'emisfero sinistro) afferrò l'immagine di un pollo ma contemporaneamente la mano sinistra afferrò l'immagine di una pala da neve. Alla domanda: “perché ha indicato sia il pollo che la pala?” il paziente rispose: “Beh, la zampa di gallina appartiene al pollo, e la pala serve per pulire il pollaio”. Sulla base di questo e di molteplici altri esperimenti, Gazzaniga ha concluso che l'emisfero sinistro funziona da interprete interiore che cerca costantemente di dare un senso alla nostra vita, usando indizi parziali per imbastire storie plausibili tese a preservare una immagine e una percezione di sé e delle proprie esperienze come unitarie. In un altro esperimento, per esempio, Gazzaniga mostrò all'emisfero destro un'immagine pornografica. Il paziente reagì arrossendo e ridacchiando. Quando i ricercatori gli chiesero: “che cosa hai visto”, il paziente (con l'emisfero sinistro) rispose: “Niente, solo un lampo luminoso” e scoppiò nuovamente a ridere. “Allora perché ride?”. Il paziente a questo punto rispose che uno dei macchinari presenti nella stanza aveva un aspetto piuttosto buffo.

Se già accade quando è solo il midollo spinale a essere connesso a un dispositivo elettronico, possiamo a maggior ragione immaginare che quando sarà direttamente il nostro cervello a essere connesso a dispositivi meccanici che lo potenzieranno e lo guideranno, semplicemente non ce ne accorgeremo: anche quando saremo determinati solo dagli algoritmi delle macchine, continueremo a inventare storie che preservino la nostra apparenza di libertà e il nostro senso di padronanza su noi stessi [vedi *Homo Deus* di Yuval Noah Harari (4)].

La fusione tra macchina e cervello avrà invariabilmente delle conseguenze importanti sul nostro senso di individualità, che è strettamente connesso al nostro mancato potere di controllo sul mondo. Se tutte le volte che penso: “vorrei un caffè” la macchina del caffè si accende e me lo prepara, è evidente che la distanza tra me e la macchina si annullerà e finirò per includerla nello spazio mentale che considero sia il mio “io”. La libertà del pensiero poggia proprio sulla mia impotenza fattuale, sul fatto cioè che tra ontologia (quello che sono e che penso) e prassi (quello che faccio) c'è una certa distanza.

Un esempio clinico può aiutare a chiarire l'importanza di preservare la libertà dai propri pensieri (che i dispositivi di interfaccia cervello-computer tendono ad

annullare): la cosiddetta “onnipotenza del pensiero” fa riferimento alla credenza superstiziosa del nevrotico ossessivo che quanto egli pensa può avverarsi nella realtà. Freud, nel suo celebre caso clinico dell'uomo dei topi (*Note su un caso di nevrosi ossessiva*, 1909), mostra come questa credenza magica, lungi dal costituire una sorta di estensione della volontà e della potenza del soggetto, lo costringe di fatto a estenuanti rituali tesi a neutralizzare gli effetti di questo potere.

Abbiamo così toccato il tema del performativo, elaborato dai linguisti e analizzato nel fortunatissimo libro *How to do things with words* di John L. Austin del 1962 (5), in cui viene descritta la categoria degli *speech acts*, cioè di quegli enunciati che non descrivono uno stato di cose esterne ma producono come un fatto ciò che significano. Il linguaggio non si usa solo per comunicare, rappresenta anche una forma di azione. Secondo la teoria degli atti linguistici, dichiarazioni come “Sei in arresto”, “Battezzo questa nave” o “Lo giuro” sono performative. Nel linguaggio performativo, il dire cioè equivale al fare. Chiunque assista a un matrimonio conosce in anticipo le parole “Vi dichiaro marito e moglie”, ma finché il sacerdote non le avrà pronunciate la cerimonia non avrà valore.

In *Creazione e anarchia* del 2017, e più precisamente nella conferenza *Che cos'è un comando?* tenuta nel 2013 all'Accademia di Architettura di Mendrisio, Giorgio Agamben nota che “*la crescente fortuna del performativo, non solo fra i linguisti, ma anche fra i filosofi, i giuristi, i teorici della letteratura e delle arti suggerisce l'ipotesi che la centralità di questo concetto corrisponda in realtà al fatto che, nelle società contemporanee, l'ontologia del comando sta soppiantando l'ontologia della semplice asserzione.*” La macchina contribuisce in modo sempre più preponderante a questo processo, che finirà a dare maggiore potere a ciascuno e, insieme, meno libertà. Avremo cioè sempre meno libertà ma maggiore illusione di usarla.

Il tema del falso libero arbitrio, cioè dell'illusione di compiere liberamente ciò che siamo costretti di fatto a fare lo ritroviamo in tanta letteratura ma voglio qui citare un film di fantascienza del 1987 perché ha proprio a che fare con ciò di cui ci stiamo occupando oggi (la fusione tra carne e metallo): Il film è *Robocop*. Ricorderete che il film tratta la storia di un poliziotto che a causa di un incidente che ne dilania il corpo e parte del cervello viene ricostruito con parti meccaniche che ne aumen-

tano le capacità. Gli scienziati che realizzano questo ibrido uomo-macchina però si accorgono che lasciando libertà di scelta su come intervenire nella lotta al crimine, Robocop non è efficiente come potrebbe, e la stessa perdita di efficienza viene registrata quando al contrario le azioni di Robocop vengono interamente guidate dalla console del laboratorio, al di fuori della sua volontà. La situazione di massima efficienza si ottiene solo quando, pur di fatto telecomandate a distanza, le azioni di Robocop vengono da lui esperite come il prodotto della sua libera scelta. La stessa logica (quella cioè del paradossale confondimento tra libertà e schiavitù) la ritroviamo alla base della dialettica del Servo e del Padrone descritta da Hegel nella *Fenomenologia dello spirito* (6): Hegel qui ci mostra come il padrone non vuole soltanto essere servito dal servo ma vuole che il servo anticipi ed esaudisca il desiderio del padrone prima ancora che questi ordini. Il servo riuscito è quindi colui che obbedisce al padrone senza saperlo, colui cioè il cui atto di obbedienza si presenta come un atto di volontà e di libertà, non di costrizione.

È facile quindi comprendere come il progetto che mira all'incorporazione totale (embodiment) della macchina è la direzione verso cui sta andando il progetto di Neuralink, che sarà completo nel momento in cui non sapremo più chi comanda e chi obbedisce: se il cervello la macchina (il che è improbabile) o viceversa.

Nel suo libro del 2019 (*L'incontinenza del Vuoto*, Ponte alle Grazie), Slavoj Žižek (7) si chiede se la peculiare esperienza che il soggetto fa nel momento in cui viene connesso alla macchina non possa essere utile a farci capire qualcosa di più del funzionamento del soggetto *tout court* e se cioè il grande Altro non funzioni già come una macchina all'interfaccia con il nostro cervello (il soggetto).

La conclusione di Žižek è che la nostra esperienza della realtà è già strutturata come un insieme di realtà virtuale, aumentata e mista e che quindi i dispositivi tecnologici si impossesseranno totalmente della nostra vita perché appariranno innocui, non introdurranno cioè fratture radicali nel nostro modo di essere coinvolti nella realtà, ma piuttosto mobilitano una struttura che in essa è già all'opera.

*Lettura magistrale, tenuta al Congresso Nazionale della Società Italiana di Riabilitazione Neurologica (SIRN), Napoli, 14-16 Giugno, 2022

References

1. Libet B, Gleason CA, Wright EW, Pearl D K. Time of conscious intention to act in relation to onset of cerebral activities (readiness-potential): The unconscious initiation of a freely voluntary act. *Brain* 1983; 106: 623–642.
2. Gill ML, et al. Neuromodulation of lumbosacral spinal networks enables independent stepping after complete paraplegia. *Nat Med* 2018 Nov;24(11):1677-1682.
3. Sperry RW, Gazzaniga MS, Bogen JE. The neocortical commissures; syndromes of hemisphere disconnection. Vinken PJ, Bruyn GW (Eds.). *Handbook of clinical neurology*, 1969, North-Holland Publishing Company, Amsterdam 1969: 177-184.
4. Harari YN. *Homo Deus: Breve storia del futuro*. Ed. Bompiani, 2017
5. Austin JL. *How to Do Things with Words*. Ed. Bompiani 2017
6. Hegel F. *Fenomenologia dello spirito*. Ed. Bompiani, Milano 2000.
7. Zizek S. *L' incontinenza del vuoto*. Pennacchi economico-filosofici. Ponte alle Grazie, 2019.