

Brividi bioelettronici

Sintesi dello studio di TA-SWISS «Wenn Menschen ihren Körper mit Technik vernetzen. Grundlagen und Perspektiven nicht-medizinischer Bioelektronik»



TA-SWISS, Fondazione per la valutazione delle scelte tecnologiche e centro di competenza delle Accademie svizzere delle scienze, intende riflettere sulle ripercussioni – opportunità e rischi – dell'uso di nuove tecnologie.

Questa sintesi si basa su uno studio scientifico effettuato per conto di TA-SWISS da un team di progetto interdisciplinare sotto la direzione della Dr. Anne Eckhardt (risicare GmbH, Zollikerberg). Essa presenta i principali risultati e le raccomandazioni dello studio in forma condensata e si rivolge a un pubblico non specializzato.

Wenn Menschen ihren Körper mit Technik vernetzen. Grundlagen und Perspektiven nicht-medizinischer Bioelektronik

Anne Eckhardt, Andreas Abegg, Goran Seferovic, Samra Ibric und Julia Wolf

TA-SWISS, Fondazione per la valutazione delle scelte tecnologiche (a cura di).
vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich, 2022.
ISBN 978-3-7281-4137-8

Lo studio può essere scaricato gratuitamente:
www.vdf.ch

E' disponibile in rete anche questa sintesi:
www.ta-swiss.ch



La bioelettronica in breve	4
Le opportunità ...	4
... i rischi ...	4
... e qualche raccomandazione	5
L'essere umano elettrificato	5
Dalla misurazione alla terapia ...	6
... dalla terapia all'ottimizzazione	6
Unidirezionale, bidirezionale, chiuso	6
Impulsi che danno sui nervi	7
Conoscenza di sé sul display	7
Un cerotto per aumentare le prestazioni	8
Più luce in caso di palpebre pesanti	8
Sostegno su misura	8
Attivazione del nervo vago	9
Realtà aumentata	9
Controllo totale	10
La materia sintetica diventa organica	10
La vita ha bisogno di flessibilità	10
Prodotti bioelettronici di consumo: la grande promessa	12
Elevati requisiti di precisione dei prodotti di consumo	12
Cervello plasmabile	13
Dati per conoscere se stessi	13
Bioelettronica invasiva e rischi chirurgici	13
I nerd come popstar del presente	14
Dare il meglio di sé	14
Dove finisce l'io e dove inizia la tecnologia?	14
Stampelle elettroniche per l'essere umano carente	15
Dalla visione idealistica al calcolo economico	16
Utopisti con un occhio ai profitti	16
La Svizzera sul confine tra bioelettronica medica e non medica	16
Condivisione di responsabilità tra essere umano e tecnologia?	17
Quando s'intromette la tecnologia	17
Protezione dei dati e della personalità	18
Reinterpretare la personalità	18
Sfruttare i potenziali senza sottovalutare i rischi	19
Né esaltazione né rifiuto	19
Imparare dagli stupefacenti	19
Proteggere in modo particolare i giovani	19
Rendere concreto l'astratto	19
Apertura normativa per le novità	20
Rafforzare la rete di competenze	20
Mettere in discussione l'accesso agli animali	20

La bioelettronica in breve

La miniaturizzazione e materiali flessibili, ma solidi consentono di produrre minuscoli sensori e strumenti di misura, che possono essere indossati o addirittura impiantati nel corpo. Nella medicina, tali sistemi bioelettronici sono in uso da tempo – basti pensare ai pacemaker o agli impianti per audilesi. Sempre più spesso sono però immessi sul mercato anche apparecchi e gadget non medici, che consentono uno scambio diretto tra corpo e tecnologia: in futuro computer, luci, veicoli e velivoli potranno essere comandati intuitivamente, attraverso un movimento della mano, la tensione di singoli muscoli o addirittura il pensiero. Sistemi bioelettronici potrebbero allora essere utilizzati anche per stimolare il cervello, suscitando un effetto calmante o energizzante. È proprio a queste applicazioni non direttamente mediche della bioelettronica che è dedicato il presente studio.

Le opportunità ...

I sistemi bioelettronici, anche quelli di natura non medica, possono influenzare favorevolmente il comportamento sanitario. Rilevano infatti tutta una serie di dati dell'organismo, che possono motivare gli utenti a fare più movimento e a curare l'alimentazione. I dati possono anche segnalare precocemente determinati rischi di malattia.

La bioelettronica facilita l'uso di molti dispositivi tecnologici, consentendo di gestire la vita di tutti i giorni in modo più efficiente.

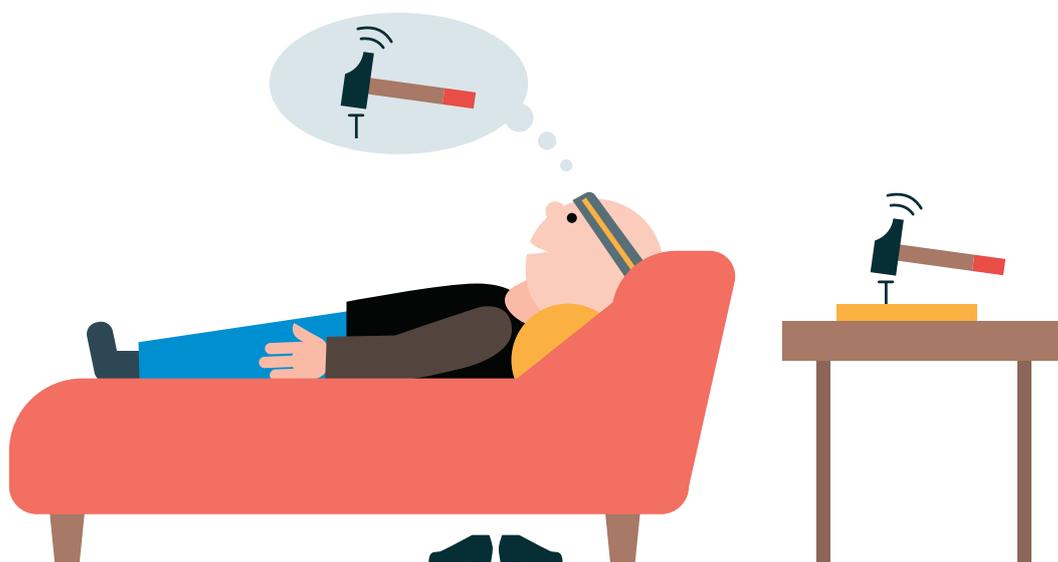
Immergersi in realtà virtuali con tutti i sensi – è possibile grazie alla bioelettronica. Quest'ultima non solo intensifica l'esperienza durante il gioco, ma serve anche a scopo di formazione e perfezionamento, consentendo di guidare le persone in formazione attraverso esercitazioni vicine alla realtà.

In futuro la stimolazione bioelettronica del cervello potrebbe esercitare un effetto calmante o energizzante simile a quello di un farmaco tranquillizzante o stimolante.

... i rischi ...

Gli effetti bioelettronici sul cervello rimettono in discussione la concezione tradizionale dell'essenza dell'essere umano. Il fatto che la stimolazione del cervello modifichi le percezioni, i desideri o le intenzioni di una persona fa vacillare la nostra convinzione che esista un nucleo della personalità intimo e continuo.

Adolescenti soggetti ad ansia da prestazione potrebbero essere tentati di migliorare il loro rendimento



scolastico attraverso la stimolazione bioelettronica del cervello. Durante lo sviluppo, però, il cervello è ancora plasmabile e non è chiaro se la modulazione delle funzioni nervose non possa avere un influsso nocivo sullo sviluppo.

I dati dell'organismo rilevati dai sistemi bioelettronici sono dati sensibili. Oltre a fornire parecchie informazioni sul nostro stato di salute, possono anche rivelare inclinazioni personali. L'elaborazione di schemi dell'attività cerebrale potrebbe addirittura consentire di risalire a intenzioni e atteggiamenti individuali, il che equivarrebbe a una violazione della sfera privata mentale.

... e qualche raccomandazione

In base alle esperienze maturate nel settore medico bisognerebbe scandagliare le ripercussioni che la bioelettronica non medica potrebbe avere sull'organismo in fase di sviluppo degli adolescenti e in particolare sul cervello. Gli interrogativi senza risposta andrebbero presi quale spunto per ulteriori studi.

È indispensabile chiarire quali regolamentazioni e linee guida sulla gestione delle sostanze stupefacenti possano essere applicate anche alla stimolazione cerebrale mediante la bioelettronica e in che misura siano eventualmente necessarie disposizioni complementari.

Occorre inoltre chiarire se occorra elaborare un modello di regolamentazione della bioelettronica non medica che corrisponda ai requisiti particolari di questa categoria di prodotti e promuova la capacità innovativa delle piccole e medie imprese.

Il rapporto «Quando l'essere umano collega il corpo alla tecnologia. Basi e prospettive della bioelettronica non medica» è stato redatto da un gruppo di progetto sotto la guida di Anne Eckhardt (risicare GmbH, Zollikerberg). Lo studio interdisciplinare si basa su un'analisi a tutto campo della letteratura, completata da colloqui con specialisti della scienza e della pratica. Attraverso due interviste con adolescenti è confluito nella riflessione anche il punto di vista di questa fascia di età, che è quella che sarà maggiormente chiamata a confrontarsi con le future innovazioni bioelettroniche.

L'essere umano elettrificato

Già nell'antico Egitto, la gente si stupiva nel vedere come le torpedini e le anguille elettriche uccidevano le loro prede con una scossa elettrica. In un processo di ricerca durato secoli, la scienza ha trovato soluzioni per sfruttare l'elettricità quale mezzo di comunicazione tra componenti tecnologiche e gli organi di esseri viventi.

Nella seconda metà del XVIII secolo, la scienza e l'opinione pubblica erano ammaliati dall'elettricità. Dopo l'invenzione del primo rudimentale condensatore – la bottiglia di Leida – nel 1746, l'alta borghesia si divertiva a generare scosse elettriche per ammirare fulmini artificiali. Ben presto emerse che l'elettricità poteva essere utilizzata non solo per divertirsi, ma anche per salvare vite. Nel 1794 la Royal Humane Society, un'organizzazione benefica britannica, raccontò la storia di Sophia Greenhill, una bambina di tre anni caduta da una finestra e

dichiarata morta dal chirurgo dell'ospedale locale e da un farmacista, che successivamente fu però riportata in vita grazie a scariche elettriche: è il primo documento scritto che attesta l'impiego di un defibrillatore improvvisato, che ovviamente all'epoca non era chiamato così.

Luigi Galvani fu il primo a riconoscere in base a numerosi esperimenti – dapprima su rane, poi anche su animali a sangue caldo – che non era solo la corrente applicata dall'esterno a far sussultare gli arti: le sue indagini dimostravano chiaramente che «gli animali possiedono un'elettricità propria», queste le parole del medico, anatomista e ricercatore bolognese nel suo trattato «De viribus electricitatis in motu musculari», pubblicato nel 1791. Galvani formulò anche teorie su malattie riconducibili a squilibri nel flusso energetico e sulla possibilità di usare l'elettricità per scopi terapeutici.

Dalla misurazione alla terapia ...

Negli anni 1930, specialisti di medicina ed elettrotecnica iniziarono a sviluppare apparecchi come defibrillatori e pacemaker, che consentivano a una pompa muscolare vitale compromessa di ritrovare un ritmo regolare. Il primo pacemaker fu impiantato completamente nel corpo di una paziente nel 1958. La potenza dei pacemaker è regolata attraverso i segnali trasmessi dal cuore: il corpo e l'apparecchio comunicano quindi tra di loro, in modo da adeguare la frequenza di stimolazione alle esigenze momentanee.

A partire dalla fine degli anni 1960, l'impianto di coclea permise di compensare determinate forme di perdita dell'udito. Stimolando elettricamente il nervo acustico, l'impianto produce sensazioni uditive individuali; attraverso intensi allenamenti, i portatori di tale impianto imparano ad associare i nuovi segnali agli schemi uditivi noti.

Alla fine degli anni 1980 si cominciò a trattare anche il cervello con impulsi elettrici, dapprima su persone che soffrivano di disturbi del movimento incontrollati (il cosiddetto tremore). Oggi la stimolazione cerebrale profonda è ammessa quale terapia per varie patologie, ad esempio i disturbi del movimento, come appunto il tremore o il Parkinson, determinate forme di epilessia, dolori cronici o depressioni. A tal fine sono impiantati nel cervello elettrodi, regolati da un pacemaker impiantato sotto la pelle, vicino alla clavicola.

... dalla terapia all'ottimizzazione

Negli ultimi decenni, in particolare l'esercito statunitense ha condotto ricerche su come influenzare il cervello mediante radiazioni elettromagnetiche emesse da una sorgente situata al di fuori del cranio, che potrebbe essere integrata in una cuffia o in un casco. Dalla cosiddetta stimolazione magnetica transcranica, l'esercito si aspetta un miglioramento della capacità di reazione e apprendimento dei soldati; anche la stanchezza dovrebbe poter essere fatta passare con le radiazioni elettromagnetiche. La medicina utilizza questa tecnica per curare persone affette da depressione, ma anche pazienti che hanno subito un ictus.

Con l'avanzare della digitalizzazione cresce l'interesse nei confronti di un uso semplice e intuitivo degli apparecchi elettronici: se i computer e i droni potessero essere comandati istintivamente o se il

semplice pensiero fosse sufficiente per abbassare la luce e cambiare musica? Queste fantasie potrebbero diventare realtà grazie alla bioelettronica – così gli specialisti descrivono l'impiego, sugli e negli esseri viventi, di sistemi microelettronici che consentono uno scambio diretto o una comunicazione tra organismi e apparecchiature elettrotecniche.

Unidirezionale, bidirezionale, chiuso

Le componenti elettroniche possono interagire in vari modi con gli esseri viventi su cui sono applicate. I sistemi unidirezionali funzionano in un'unica direzione, dall'organismo verso l'apparecchio o viceversa. Nella maggior parte dei casi servono a rilevare un valore biologico misurabile o a influenzare determinate funzioni corporee.

I sistemi bidirezionali consentono invece uno scambio reciproco tra l'organismo e la tecnologia. È il caso ad esempio degli esoscheletri, che aiutano la persona a compiere determinati lavori fisici.

Accanto alla direzione dei segnali svolgono un ruolo anche le modalità di controllo del sistema. Nei sistemi di controllo ad anello aperto (i cosiddetti sistemi open-loop), la regolazione non dipende dall'effetto prodotto o dal feedback: i valori target sono fissati preliminarmente e il sistema assicura che siano raggiunti. In questi sistemi, in genere il controllo spetta all'utente.

I sistemi di controllo ad anello chiuso (sistemi closed loop), invece, si adattano autonomamente all'organismo, senza alcun comando dall'esterno. Un esempio sono le pompe insuliniche impiantate, che monitorano la glicemia dei diabetici e regolano continuamente la somministrazione di insulina. Per ora, questi sistemi trovano impiego solo in medicina; varianti non mediche non sono ancora state immesse sul mercato.

Lo studio di TA-SWISS riassunto nel presente documento punta i riflettori sulla bioelettronica non medica. Attualmente, quest'ultima è utilizzata soprattutto per migliorare il benessere e la performance e facilitare l'uso degli apparecchi tecnologici; l'intrattenimento – ad esempio l'esplorazione di un ambiente virtuale – svolge ancora un ruolo secondario. A dominare sono i dispositivi indossabili, come i fitness tracker, gli smartwatch o tutt'al più occhiali per la realtà virtuale.

Impulsi che danno sui nervi

Per molti sono già oggi una presenza costante nella vita di tutti i giorni: dai fitness tracker, che oltre alla prestazione sportiva valutano anche le fasi di riposo e il sonno, agli orologi intelligenti, che analizzano tutta una serie di fattori che influenzano l'organismo, o alle tute da lavoro, che misurano il carico fisico mediante sensori e sostengono chi le indossa in caso di attività faticose. L'assortimento della bioelettronica non medica è in continua crescita, ampliando le possibilità d'impiego.

Da un'app che consentirà di comandare «servizi» esterni con il semplice pensiero alle app per la gestione dello stress e l'aumento dell'attenzione, passando per una serie di giochi che libereranno i bambini dalle paure: l'elenco delle applicazioni nello shop di NeuroSky – una delle molte aziende che si vantano di riconoscere lo stato mentale in tempo reale – è lungo. Ad accomunare le app pubblicizzate è il fatto che vanno utilizzate in combinazione con una fascia sulla fronte, che misura l'attività elettrica del cervello e regola l'effetto dell'app in base ai flussi cerebrali rilevati.

Conoscenza di sé sul display

Se le neurocuffie descritte sopra hanno un che di futuristico, gli smartwatch e i fitness tracker sotto forma di braccialetti, anelli o ciondoli fanno da tempo parte della vita di tutti i giorni. Non si limitano a contare i passi, ma misurano anche il battito cardiaco e possono rilevare una varietà di altri parametri, come la pressione sanguigna o la percentuale di grasso corporeo. Spesso, il software di analisi fornisce consigli per un allenamento più efficace o motiva con incoraggiamenti. Questi smartwatch e fitness tracker rientrano nel tipo più semplice di applicazione dei sistemi bioelettronici («tipo 1» dei sette tipi definiti nello studio): i segnali vanno in un'unica direzione, dall'utente all'unità di misura e analisi. Sono gli utenti stessi a determinare se e con chi vogliono condividere i loro dati.

Sul mercato si trova già un ampio assortimento di prodotti, che si rivolgono a vari segmenti di clientela e di norma sono di facile impiego. Anche i materiali fanno continui progressi. Diversi team stanno conducendo ricerche su uno speciale inchiostro per



i tatuaggi: in futuro, anche i tatuaggi potrebbero così diventare bioelettronici.

La precisione dei sensori aumenta costantemente e chi indossa un sistema di tipo 1 non corre praticamente alcun rischio per la salute. Non mancano invece le sfide per quanto riguarda la gestione dei dati personali.

Un cerotto per aumentare le prestazioni

Influenzando i parametri corporei, i sistemi bioelettronici di tipo 2 fanno un passo più in là degli orologi che si limitano a misurarli. Con il cerotto «Feelzing Energy Patch», sul mercato è già disponibile un prodotto del genere. Va applicato dietro l'orecchio e serve tra l'altro a stimolare il nervo vago, un grosso nervo cerebrale che contribuisce alla regolazione della maggior parte degli organi. La stimolazione di questo nervo induce uno stato di «attenzione tranquilla» nella persona su cui è applicato il cerotto. L'effetto vantato dalla pubblicità: una maggior capacità di concentrazione e un miglior sonno.

Il «Feelzing Energy Patch» funziona in modo unidirezionale, stimolando la persona su cui è applicato indipendentemente dal suo stato attuale. È la persona a determinare quando impiegare il sistema ed eventualmente anche come regolare i parametri chiave. I sistemi di questo tipo, tra i cui punti di forza si annoverano le buone possibilità di controllo e la facilità d'impiego, potrebbero sostituire sostanze farmacologicamente attive, come stimolanti e tranquillizzanti, che spesso provocano effetti collaterali. Tra i difetti dei sistemi di tipo 2 figura il fatto che mancano ancora prove dell'efficacia.

Più luce in caso di palpebre pesanti

I sistemi bioelettronici di tipo 3 servono a comandare intuitivamente apparecchi esterni. I segnali funzionano in modo unidirezionale dall'organismo al computer, al veicolo, al velivolo o all'illuminazione: al posto di una tastiera o di un altro dispositivo di comando è sufficiente tendere un muscolo o battere le ciglia ad esempio per ribaltare la finestra o sconfiggere il mostro del videogioco. Sono già state sviluppate giacche per comandare i droni con i movimenti del corpo – un po' come se si fosse un uccello.

Sono anche ipotizzabili lenti, che in base al movimento della palpebra sono in grado di riconoscere quando chi le indossa è stanco e di riflesso intensificano la luce sul posto di lavoro.

È più facile imparare il processo di comando emotivo che non l'uso di un dispositivo di controllo tradizionale. Il grande vantaggio di questi sistemi sta proprio nell'uso rapido e intuitivo degli apparecchi. Inoltre gli apparecchi riconoscono da soli se occorre cambiare musica di sottofondo o aumentare la luce: ogni manipolazione da parte dell'utente è superflua. Questi sistemi non sono però privi di rischi. La caduta di un drone comandato intuitivamente solleva problemi di responsabilità e a lungo termine non sono neanche escluse dipendenze psichiche e fisiche da parte degli utenti. Inoltre in determinate circostanze questi ultimi potrebbero legarsi troppo ai fornitori dei sistemi e alla loro assistenza. Anche qui, garantire la sicurezza dei dati utilizzati resta una sfida.

Sostegno su misura

Sviluppati inizialmente per consentire a paraplegici di camminare nuovamente, gli esoscheletri hanno fatto il loro ingresso anche nell'esercito: oggi armature munite di snodi e motori aiutano i soldati a portare carichi pesanti e a marciare facendo meno fatica. Nel frattempo gli esoscheletri trovano impiego anche nel mondo del lavoro. Gli operai di una grande azienda automobilistica tedesca indossano un esoscheletro del busto di quasi due chilogrammi, che alleggerisce il peso sulle spalle e sulle braccia quando assemblano carrozzerie alla catena di montaggio per ore.

Gli esoscheletri rientrano nel tipo 4 dei sistemi bioelettronici. Funzionano in modo bidirezionale e ad anello aperto («open loop»): in altre parole, il loro funzionamento si adatta in base a parametri definiti preliminarmente. Questi sistemi conquistano per la loro controllabilità da parte dell'utente; inoltre l'effetto stimolante e di sostegno si adatta alla costituzione fisica di chi li indossa e alle condizioni circostanti. Tra i punti delicati figurano le ripercussioni sull'immagine dell'essere umano: quanto è autentica una persona che fornisce la sua massima prestazione con il supporto della bioelettronica? Si pongono anche interrogativi legati alla responsabilità, nel caso in cui dovesse verificarsi un incidente sotto l'influsso di uno di questi sistemi.

Attivazione del nervo vago

Le app di NeuroSky descritte in apertura del presente capitolo, impiegate in combinazione con una cuffia, rientrano nel tipo 5 dei tipi di sistemi bioelettronici definiti nello studio. A seconda dei flussi cerebrali misurati, questi sistemi esercitano un'azione calmante o attivante sull'organismo funzionando ad anello chiuso («closed loop»). Molte di queste applicazioni si basano sulla stimolazione del nervo vago.

La testa è particolarmente interessante per le applicazioni bioelettroniche. Attraverso fasce, berretti o cuffie, la tecnologia è infatti in grado di interagire con il cervello e, grazie a cuffie e occhiali intelligenti, è possibile rilevare dati sensoriali anche attraverso l'udito e la vista. Cuffie stimolanti come quelle di NeuroSky, Emotiv e altre aziende funzionano in modo bidirezionale in un sistema ad anello chiuso: l'apparecchio regola la sua azione – stimolante o calmante a seconda delle esigenze – in base ai flussi cerebrali misurati.

Siccome il comando si basa su segnali fisici dell'organismo, i sistemi di tipo 5 potrebbero essere utilizzati comodamente. A seconda delle esigenze, gli utenti potrebbero potenziare la loro attenzione e di conseguenza innalzare il loro rendimento oppure rilassarsi e riposare meglio. Per ora, tuttavia, l'accettazione da parte di un'ampia clientela è ancora da dimostrare.

Rispetto ai modelli del quarto tipo, quelli di tipo 5 promettono un comando maggiormente differenziato e adattato esattamente all'organismo – il cui prezzo è però una perdita di controllo e autonomia. Vi è inoltre il rischio che tali sistemi siano «hackerati» e i loro utenti manipolati o addirittura danneggiati.

Realtà aumentata

Il tipo 6 aumenta le percezioni sensoriali. Sono in corso ricerche su occhiali o lenti a contatto, che visualizzano informazioni supplementari sugli oggetti che entrano nel campo visivo. Guanti, tute e caschi muniti di sensori consentono addirittura di immergersi completamente in un ambiente creato artificialmente: chi li indossa si crede in spiaggia, sente il rumore delle onde e l'odore dell'acqua salata e vede i gabbiani oppure s'immagina al volante di un'automobile sportiva su una strada tortuosa e sente le vibrazioni e la forza centrifuga. Il punto di forza di questi sistemi sta nel fatto che reagiscono ai movimenti dell'utente. Attualmente trovano impiego soprattutto nel segmento dei giochi, ma potrebbero essere utili anche per consentire un sopralluogo virtuale in un luogo di vacanze o per visualizzare un quartiere residenziale in fase di progettazione. In primo piano vi sono i sistemi indossabili, ma non mancano gli esempi di dispositivi impiantati nel corpo.

Per questo tipo vi sono numerose possibilità di regolazione con gradi di libertà variabili per l'utente. Questi sistemi seducono per la possibilità di immergersi completamente in realtà virtuali, coinvolgendo i sensi e i movimenti dell'utente. I punti deboli stanno nel fatto che per ora si sa poco dell'efficacia e della sicurezza e che il ricorso a impianti che consentono nuove percezioni sensoriali comporta rischi per la salute già solo per il pericolo d'infezione a causa dell'intervento chirurgico. Sono ipotizzabili anche ripercussioni sulla psiche e sulla percezione di sé degli utenti.

Controllo totale

I sistemi bioelettronici di tipo 7 possono essere impiegati anche per scopi di sorveglianza. Sono già in discussione applicazioni nell'assistenza a persone anziane, ad esempio per localizzare persone affette da demenza che si sono perse. Sono anche ipotizzabili neurocuffie per controllare l'attenzione degli adolescenti a scuola oppure guanti bioelettronici che, oltre a proteggere gli arti, controllano anche la prestazione dei collaboratori alla catena di montaggio.

L'autonomia delle persone che indossano tali sistemi è compromessa, soprattutto se non lo fanno in modo volontario. Questi sistemi possono infatti limitarle o addirittura influenzarle. I vantaggi sono tutti dalla parte del sorvegliante, che in linea di principio può controllare in modo efficiente un numero elevato di persone. Se il sistema è composto da un chip impiantato, non può andare perso né essere tolto.

Fusione con la tecnologia

Per cyborg s'intende un essere misto, a metà tra una macchina e un essere umano. Il musicista e artista d'avanguardia Neil Harbisson è stato il primo a riuscire a ottenere un riconoscimento come cyborg da un governo ufficiale – quello britannico. Essendo nato daltonico, Neil Harbisson riusciva a vedere il mondo solo in totalità di grigio. Per compensare questo handicap, oggi indossa sul capo un apparecchio che gli consente di percepire i colori sotto forma di suoni. A tal fine, il colore osservato è registrato da un sensore cromatico applicato vicino all'occhio; un chip converte le frequenze cromatiche in frequenze udibili, consentendo a Harbisson di interpretarle. Harbisson si è inoltre fatto fissare al cranio un'antenna in grado di ricevere radiazioni elettromagnetiche e convertirle in suoni. Nel 2012 Harbisson ha allargato la larghezza di banda della sua percezione estendendola alle frequenze nella gamma degli infrarossi e degli ultravioletti – adesso «vede» di più dell'essere umano con i suoi occhi.

La materia sintetica diventa organica

Le caratteristiche elettriche delle cellule e dei tessuti di un essere vivente così come la composizione chimica del sudore o delle lacrime forniscono numerose informazioni. Grazie a nuovi materiali, adattati in modo ottimale all'organismo, è possibile «leggere» la pelle e vari liquidi corporei scoprendo molti dettagli sulla costituzione fisica di una persona.

In linea di principio, ogni prodotto bioelettronico è formato da tre componenti: uno strumento di misura che trasforma una grandezza in entrata in una grandezza in uscita definita preliminarmente (ossia un trasformatore di misura), collegamenti elettrici e circuiti elettronici. Ciascuna di queste componenti può essere disegnata e prodotta partendo da svariati materiali e applicando svariate tecniche di fabbricazione. Vi sono così apparecchi in grado di rilevare anzitutto i flussi di ioni da e verso le cellule e lo stato elettrico dei tessuti, mentre altri misurano gas come l'ossigeno o l'anidride carbonica e altri ancora analizzano il tenore di minerali, acido lattico e acido urico nel sudore.

A loro volta, i vari trasformatori di misura sono in grado di elaborare, oltre a segnali (bio)chimici, acustici, ottici ed elettromagnetici, anche segnali termici e meccanici, come l'accelerazione, la pressione o la corrente.

La vita ha bisogno di flessibilità

A porre particolari sfide è il collegamento tra le varie componenti dei sistemi bioelettronici. Se tali sistemi devono adattarsi al corpo e ai suoi movimenti garantendo la massima comodità o addirittura essere impiantati nel corpo, cablaggi rigidi non sono l'ideale. Anche la concezione dell'intero sistema e la scelta del materiale pongono requisiti elevati: mentre la comunicazione biologica si basa su ioni, nell'attuale tecnologia dell'informazione a farla da padrone sono gli elettroni. I circuiti di commutazione e gli apparecchi elettronici devono essere protetti contro l'umidità per prevenirne la decomposizione; il corpo umano è però costituito in gran parte da acqua ed espelle umidità.

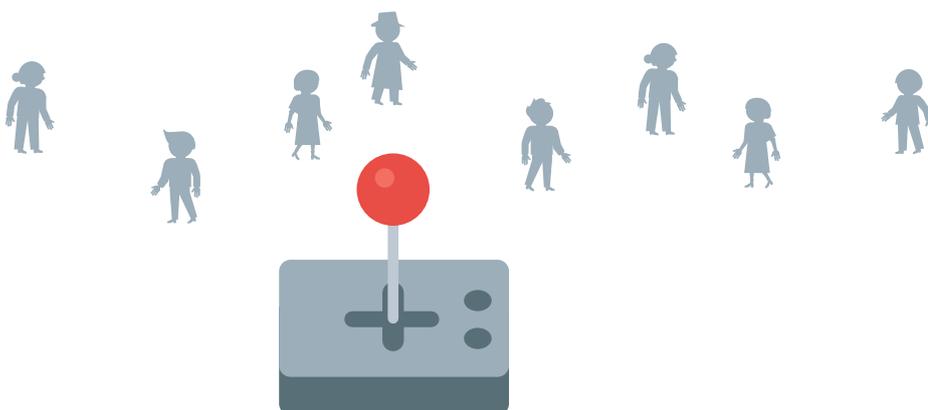
Oggi numerosi rami della ricerca stanno cercando di eliminare le incompatibilità tra i sistemi bioelettronici e il tessuto bersaglio. E i successi non mancano: sono già disponibili primi prototipi di display pieghevoli e sistemi bioelettronici miniaturizzati fino a raggiungere dimensioni piccolissime sono integrati in strati di materiale flessibile o morbide, oltre che lavabile e impermeabile.

È promettente anche lo sviluppo di idrogel – ossia materie sintetiche non idrosolubili, in grado però di legare l'acqua. Queste sostanze sono particolarmente ben compatibili con gli organismi viventi e sono impiegate ad esempio come lenti a contatto o impianti deformabili. Potrebbero trovare impiego anche come involucri di componenti bioelettroniche o addirittura sotto forma di sistemi elettronici a base di idrogel; esistono primi prototipi, che lasciano intravedere progressi promettenti.

Bioelettronica sottile, morbida e flessibile, che emette segnali senza fili, offre un comfort elevato a chi la indossa e potrebbe aiutare i molteplici gadget a incontrare il favore del pubblico.

Insetti telecomandati

Nell'aprile 2015, un gruppo di ricerca della Texas A&M University ha pubblicato un articolo scientifico, che ha avuto eco addirittura nei quotidiani e nei settimanali. Il gruppo è riuscito a dotare uno scarafaggio di elettrodi, una scheda e una batteria al fine di comandarlo mediante impulsi elettrici, eccitando i nodi nervosi che coordinano i movimenti. I ricercatori sono così riusciti a comandare le zampe e a guidare l'insetto in qualsiasi direzione: quanto maggiore era la frequenza di scosse di corrente, tanto più stretto era il raggio di curvatura. Al di là dell'interesse sul piano delle conoscenze, i ricercatori hanno messo in campo anche un possibile beneficio sociale del loro lavoro: potendo penetrare anche in fessure molto strette, gli scarafaggi telecomandati potrebbero servire a trovare i dispersi dopo un terremoto. Oggi su Internet sono offerti kit con il necessario per «costruire» scarafaggi bioelettronici e su Youtube si trovano tutorial dettagliati con le istruzioni per l'uso. Nel frattempo si è riusciti a telecomandare mediante un impianto cerebrale bioelettronico anche ratti. Anche per loro sono ipotizzate missioni di salvataggio di terremotati; potrebbero inoltre aiutare a disinnescare mine terrestri. Non mancano però le voci critiche, che mettono in guardia contro una strumentalizzazione degli animali, dubitando del fatto che il fatto di comandare bioelettronicamente il comportamento sia compatibile con la dignità della creatura, come chiede ad esempio la Costituzione federale svizzera. Una simile manipolazione degli animali potrebbe tutt'al più essere giustificata da un interesse degno di protezione, ad esempio se permette di salvare vite umane. La legislazione svizzera sulla protezione degli animali vieta per contro il telecomando di un ratto per semplice divertimento. Siccome però tale legislazione non si applica agli insetti, un loro condizionamento bioelettronico non è punibile nel nostro Paese.



Prodotti bioelettronici di consumo: la grande promessa

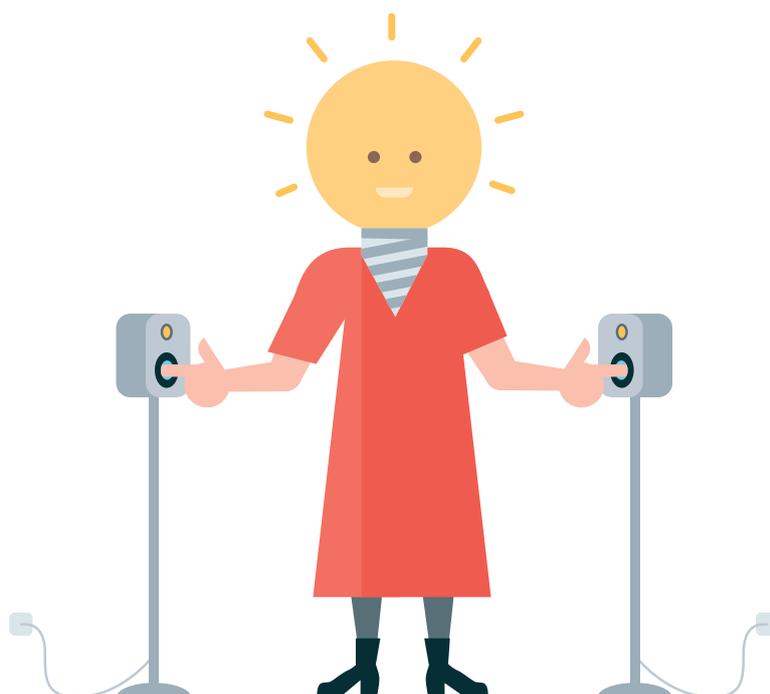
I dispositivi medici possono essere immessi sul mercato solo dopo che un esame approfondito ne ha dimostrato sia l'efficacia sia la sicurezza. Pur sfruttando conoscenze provenienti dalle scienze della vita e dalla ricerca medica, i sistemi bioelettronici impiegati nello sport o a scopo d'intrattenimento non devono superare rigorose procedure di test.

A fungere da precursori per la bioelettronica non medica sono apparecchi bioelettronici per uso medico: studi scientifici dimostrano ad esempio la capacità della stimolazione magnetica transcranica, ossia che passa attraverso il cranio, di contrastare gravi depressioni e i suoi effetti positivi su determinati disturbi dello sviluppo del sistema nervoso degli adolescenti. La ricerca fornisce quindi anche spunti per un uso efficace della bioelettronica a scopi non medici. La stimolazione magnetica transcranica potrebbe quindi effettivamente predisporre il cervello a svolgere certi compiti più rapidamente e più precisamente.

Elevati requisiti di precisione dei prodotti di consumo

Non per niente le aziende che si rivolgono direttamente alla clientela offrendo prodotti bioelettronici di consumo li pubblicizzano ricorrendo anche ad argomenti pseudoscientifici. Ben poche di queste aziende hanno però condotto studi sui loro prodotti; inoltre in genere fanno riferimento a condizioni di laboratorio, i cui risultati difficilmente possono essere trasferiti nella vita di tutti i giorni.

Numerose aziende promettono che, grazie ai neurofeedback, i loro prodotti aumentano l'attenzione e la concentrazione oppure riducono lo stress e favoriscono il riposo. Sono prospettati anche miglioramenti del rendimento cognitivo e sportivo come pure della capacità di apprendimento e di memoria. La concezione dei prodotti di consumo non consente tuttavia misurazioni dell'attività cerebrale precise e affidabili come quelle degli apparecchi medici, neanche lontanamente. Inoltre solo poche aziende



hanno analizzato scientificamente l'efficacia dei loro prodotti e i dati rilevati sono stati interpretati in forma molto semplificata. Manca quindi la prova che partendo dai flussi cerebrali rilevati sia effettivamente possibile identificare schemi di attività nel cervello – un presupposto per poter mantenere le promesse fatte nella pubblicità. Da un'indagine che ha coinvolto oltre 300 persone che avevano acquistato un sistema di stimolazione magnetica transcranica è emerso che il 40 per cento degli intervistati ha smesso di utilizzare tali prodotti, in particolare a causa dell'assenza di effetti tangibili.

Le reazioni dei clienti che hanno acquistato una neurocuffia su Amazon parlano chiaro: oltre alla mancanza di istruzioni o al fatto che le istruzioni fossero disponibili solo in inglese e alla parziale pressione dolorosa sulla pelle è stata criticata la continua interruzione del collegamento tra la cuffia e l'app di analisi sul cellulare nonché la voracità di dati.

Cervello plasmabile

Anche se l'efficacia delle neurocuffie risulta più modesta rispetto a quanto promesso dalla pubblicità, non si può concludere che i loro effetti siano innocui. Nella maggior parte dei casi compare un'alterazione della sensibilità nella regione della testa su cui interviene la stimolazione. In caso di permanenza prolungata – ossia per una durata superiore a un'ora – nello spazio virtuale possono manifestarsi disturbi. I sintomi della cosiddetta cybercinesosi sono vertigini, nausea fino al vomito, mal di testa, problemi a livello di acuità visiva o di riconoscimento degli oggetti e dei colori; in genere, questi effetti sono temporanei. Può risultare compromessa per un breve periodo anche l'interazione tra percezione e movimento – la sensomotricità. Sono particolarmente esposte al rischio di cybercinesosi le donne incinte, i pazienti affetti da emicrania e le persone con disturbi d'ansia.

Gli adolescenti potrebbero essere tentati di utilizzare prodotti bioelettronici come il cerotto di finzione che stimola l'attenzione (cfr. riquadro a pagina 15) per avere più successo a scuola. Gli effetti della stimolazione sul cervello sono poco studiati soprattutto per i giovani: è però a questa età che si sviluppa il sistema nervoso e il cervello è quindi plasmabile. Inoltre le ossa del cranio degli adolescenti sono più sottili di quelle delle persone più in là con gli anni e di conseguenza la stimolazione può penetrare più in profondità.

I bambini e gli adolescenti in età compresa tra i 9 e i 14 anni sono un importante pubblico target per i giochi che sfruttano la realtà aumentata o virtuale. Recenti indagini indicano che i bambini più piccoli fanno fatica a stare in equilibrio e a mantenere la posizione sotto controllo se s'immergono in un mondo virtuale pieno di stimoli visivi. Tra gli specialisti si sta inoltre discutendo di come le nuove tecnologie interattive possono ripercuotersi sulla formazione dell'identità dei più giovani nonché sulla loro autonomia e capacità di azione.

Dati per conoscere se stessi

Dai gadget molto diffusi indossati sotto forma di braccialetto o pendente per monitorare l'attività fisica non sono attesi effetti nocivi sulla salute. Possono anzi favorire uno stile di vita consapevole della salute, motivando gli utenti a praticare più attività sportiva.

Non mancano però i rischi in relazione alla gestione dei dati rilevati. Se tali dati sono condivisi sulle piattaforme dei fornitori, vi è la possibilità che siano analizzati da terzi e destinati ad altri scopi. La stessa riserva vale anche e soprattutto per i dati neurologici: si potrebbero infatti sfruttare caratteristiche neurologiche per ottenere indicazioni su tratti della personalità, come l'orientamento sessuale o l'umore momentaneo. Non può inoltre essere escluso il pericolo di sfruttamento della neurostimolazione per manipolare il comportamento delle persone.

Bioelettronica invasiva e rischi chirurgici

Attualmente, la maggior parte dei sistemi bioelettronici è indossata vicino al corpo. In futuro potrebbero tuttavia trovare sempre più impiego gli impianti bioelettronici. Ai rischi potenzialmente legati all'utilizzazione dei dati personali e agli effetti collaterali della stimolazione elettronica si aggiungerebbero quelli associati a un intervento chirurgico: quando viene impiantato un corpo estraneo, vi è sempre il pericolo di infezioni, cicatrici o effetti indesiderati di adattamento nel sistema nervoso. Possono anche manifestarsi reazioni di difesa del corpo, che potrebbero compromettere il buon funzionamento dell'impianto.

I nerd come popstar del presente

Dagli occhiali intelligenti ai fitness tracker, dagli smartwatch ai tatuaggi bioelettronici: oggi esiste tutta una serie di dispositivi indossabili («wearable»), che soddisfano i più svariati bisogni e spopolano all'interno del pubblico target. Non è però chiaro quali ripercussioni avrà la percezione aumentata grazie alla bioelettronica sull'immagine di sé a lungo termine.

Fino a pochi anni fa, una persona con lo sguardo fisso sul cellulare o su un altro gingillo tecnologico veniva subito inserito nella categoria dei nerd. Nel frattempo, la consultazione costante di fitness tracker e app sportive è stata sdoganata: nel 2020 possedeva un fitness tracker, uno smartwatch o un dispositivo simile il 10 per cento circa della popolazione svizzera. Una moda con il vento in poppa – nello stesso anno, nel nostro Paese la vendita di wearable è infatti cresciuta del 7 per cento. A ciò si aggiungono i cellulari che, grazie alle relative app, possono essere sfruttati anche per rilevare dati corporei. In Svizzera, più del 90 per cento degli adulti possiede uno smartphone.

Dare il meglio di sé

Nella nostra società orientata alla prestazione, dare il meglio di sé è la norma. Il monitoraggio costante della prestazione e dello stato fisico s'iscrive quindi in due tendenze sociali: quella verso uno stile di vita sano e quella verso l'ottimizzazione di sé.

Il ricorso ad apparecchi bioelettronici è inoltre promosso dalla democratizzazione della scienza. Sulla scia di movimenti come Citizen Science, la riflessione scientifica non incute più timore e sono sempre più numerose le persone che hanno familiarità con la gestione dei dati. Si formano nuove comunità, i cui membri si sostengono a vicenda nel rilevamento e nell'interpretazione dei dati. Gli stessi offerenti di wearable mettono a disposizione piattaforme di scambio, non senza perseguire interessi commerciali: grazie ai dati degli utenti possono infatti ottimizzare – e commercializzare meglio – i prodotti. La trasformazione digitale, che permea tutta la nostra quotidianità, accelera l'avanzata della bioelettronica.

Le conoscenze prodotte dalla ricerca sul cervello e la loro divulgazione in riviste scientifiche popolari o nella letteratura fantascientifica portano infine a una percezione mutata del cervello, visto come una risorsa plasmabile e ottimizzabile. I prodotti che promettono di migliorare la prestazione del cervello mietono quindi ampi consensi.

Dove finisce l'io e dove inizia la tecnologia?

L'uso di apparecchi bioelettronici non è privo di conseguenze per la percezione – compresa quella di sé. Chi fosse in grado, grazie a un impianto bioelettronico, di percepire ad esempio le radiazioni ultraviolette o infrarosse – e quindi di vedere colori al di fuori dello spettro «normale» – vivrebbe in un mondo tutto suo. Anche l'immersione in mondi virtuali, popolati da personaggi eminenti e influencer dall'aspetto perfetto che si muovono in ambienti lussuosi, dove ogni difetto fisico è stato cancellato con un ritocco, potrebbe influenzare la percezione di sé e l'espressione della propria identità; è in ogni caso un punto discusso in particolare nell'ottica degli adolescenti.

Oggi molti wearable sono costituiti da piccole apparecchiature, che vengono indossate vicino al corpo e rilevano dati fisiologici. Non mancano gli interrogativi sulla protezione dei dati e sul controllo dell'apparecchio: se il comando e il controllo dei dati e dell'apparecchio sono affidati all'utente, l'accettazione del loro impiego aumenta. I casi in cui le applicazioni bioelettroniche interagiscono con il cervello sollevano invece problemi specifici. Il cervello è infatti considerato – perlomeno nella nostra cultura – la sede della personalità e quindi dell'intelligenza, della capacità di giudizio, dell'identità personale e dell'autonomia di una persona.

Stampelle elettroniche per l'essere umano carente

Lo schema di pensiero secondo cui «l'essere umano carente» supera le sue limitazioni impiantando mezzi ausiliari tecnologici si ritrova in numerosi romanzi e film e, attraverso i mass media e Internet, ha raggiunto un ampio pubblico. Varie aziende stanno facendo del loro meglio per realizzare economicamente tali mezzi ausiliari (cfr. cap. 6). Le idee vanno da un organo di senso supplementare alla memoria «scorporata»: protesi, impianti o sistemi comandati attraverso un'app diventano parte dell'apparato di conoscenza umana. Le informazioni corrispondenti non sono quindi più salvate esclusivamente nel cervello, bensì affidate in parte all'ausilio tecnico o a una piattaforma in Internet. Il sistema tecnologico e il sistema biologico iniziano così a fondersi, ma non è tutto: che ruolo avrà in futuro il nostro cervello per la nostra immagine di sé e negli scambi internazionali?

Vi sono specialisti che accolgono favorevolmente il ricorso a «protesi» bioelettroniche quale possibilità per rafforzare l'autonomia personale ad eliminare propri deficit, mentre altri temono la limitazione dell'autodeterminazione individuale. Potrebbe così aumentare la pressione sulle persone ad aumentare le proprie prestazioni mediante mezzi ausiliari bioelettronici; vi è inoltre il pericolo che, senza volerlo o senza saperlo, queste persone approvino l'analisi dei loro dati neurologici. Si fa inoltre notare che il fatto che le informazioni sarebbero scorporate in un sistema bioelettronico e non dovrebbero più essere richiamate facendo appello alla memoria potrebbe anche favorire la pigrizia mentale. L'impiego di dispositivi bioelettronici è quindi un'arma a doppio taglio e può essere visto sia come un'opportunità sia come un rischio per l'autonomia dell'individuo.

Dal punto di vista etico entra inoltre in gioco un altro fattore: la distribuzione equa dei mezzi ausiliari bioelettronici. Se l'uso di gadget che favoriscono la prestazione fosse riservato a una piccola parte di popolazione, ciò sarebbe contrario al principio di equità dell'accesso. Alla stessa stregua bisognerebbe anche escludere la discriminazione delle persone che rinunciano volontariamente all'uso di mezzi ausiliari bioelettronici per compensare deficit fisici – o che non possono permettersi un apparecchio del genere.

L'applicazione di finzione «FocusUself» – un esperimento mentale

FocusUself è uno stimolatore dell'attenzione, che può essere acquistato in farmacia o nei negozi di elettronica specializzati. Siccome il suo impiego è autorizzato solo a partire dai 25 anni, al momento dell'acquisto bisogna dimostrare la propria età e firmare una dichiarazione. FocusUself è composto da un cerotto riutilizzabile da applicare sulla testa, un dispositivo di analisi e di comando, che funziona attraverso un'app sul cellulare, e una piattaforma in Internet, sulla quale sono salvati e analizzati i dati in entrata. Le impostazioni di fabbrica prevedono un comando e un'analisi automatici; gli utenti possono però disattivare questo automatismo. Lo stimolatore è utilizzato per aumentare la prestazione o mantenere la performance. Spesso è però impiegato anche per intensificare la qualità dell'esperienza durante una serata fuori, un viaggio o un gioco. Sono dimostrati e menzionati nella descrizione del prodotto determinati effetti collaterali, come vertigini, maggior irritabilità, capacità di percezione alterata nonché stati ansiosi durante l'impiego. In determinati settori, ad esempio nella scienza e in altre professioni creative, vi è una forte pressione sociale a impiegare FocusUself. Inoltre alcuni genitori cercano così di sostenere i loro bambini nello studio a casa. A loro volta, gli adolescenti si procurano il cerotto sul mercato grigio per migliorare il loro rendimento a scuola e durante il gioco.

Questo esempio di finzione mostra quanto sia difficile delimitare l'impiego dei gadget tecnologici; anche la definizione e il controllo di una fascia di età non garantiscono che l'uso dell'apparecchio sarà riservato alla cerchia di persone prevista. Dal punto di vista etico assume rilievo in particolare la possibilità o meno che l'uso frequente di FocusUself si ripercuota sui desideri individuali, sulle preferenze e di conseguenza sulle relazioni sociali. In caso affermativo e se tali effetti proseguissero durevolmente anche una volta tolto il cerotto, FocusUself porterebbe a un pregiudizio qualitativamente nuovo dell'autonomia personale; potrebbe essere minacciata anche la continuità individuale, intesa quale elemento essenziale della personalità.

Dalla visione idealistica al calcolo economico

Lo sviluppo di sistemi bioelettronici è portato avanti dalla ricerca medica. Ma parecchie aziende attive nel campo medico immettono sul mercato anche applicazioni e apparecchi bioelettronici non medici. Altre innovazioni bioelettroniche giungono da visionari della scena tecnologica.

In Svizzera vi sono vari fondi che investono in innovazioni farmaceutiche e mediche promettenti, mettendo a disposizione di società emergenti fino a dieci milioni. Nel nostro Paese, la bioelettronica gode di condizioni favorevoli. Le università e i politecnici svizzeri sono attivi sia nelle scienze della vita sia nell'informatica – compreso lo sviluppo di giochi. Vari programmi e progetti di ricerca nazionali presentano inoltre punti di collegamento con la bioelettronica, anche se l'accento è posto sulle applicazioni mediche.

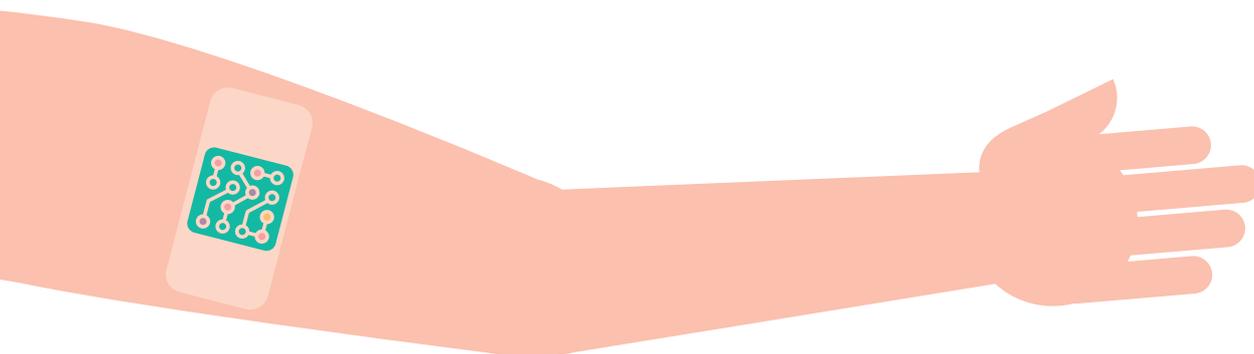
Utopisti con un occhio ai profitti

Se i programmi di ricerca della mano pubblica si concentrano sulle applicazioni mediche, nel settore privato la situazione è completamente diversa. Fino al 2019 Elon Musk, noto anzitutto per il suo impegno visionario nella mobilità terrestre e cosmica, ha iniettato complessivamente 158 milioni di dollari nella società Neuralink, che sviluppa tra l'altro impianti bioelettronici per il cervello. A breve termine i riflettori sono puntati sugli obiettivi medici, ma a più lungo termine le neuroprotesi dovrebbero anche servire ad aumentare la capacità del cervello.

Un altro peso massimo internazionale è Meta, l'azienda di Mark Zuckerberg, che oltre ad armeggiare su nuove interfacce uomo-computer sta anche sviluppando un «metaverso», una nuova realtà aumentata, che unisce elementi del mondo reale con contenuti di finzione e un giorno dovrebbe svolgere un ruolo importante nella vita di tutti i giorni dell'essere umano. Il metaverso è sviluppato nel Reality Lab di Meta; finora Zuckerberg ha investito nello sviluppo del suo cosmo artificiale dieci miliardi di dollari.

La Svizzera sul confine tra bioelettronica medica e non medica

Ha sede in Svizzera la startup MindMaze, che lavora su sistemi di neuroriabilitazione, che possono essere impiegati nelle cliniche e a casa per proseguire la riabilitazione. La società, costituita nel 2012, ha beneficiato di un aiuto iniziale elargito dalla Gebert Rüt Stiftung. Attraverso riprese video e sensori, che registrano le sequenze di movimento, nonché attraverso misurazioni dei flussi cerebrali, il sistema di MindMaze rileva dati, che confluiscono in un software di allenamento, che lavora molto con realtà virtuali. Recentemente, MindMaze sta compiendo ricerche anche sulla terapia del dolore e ha l'intenzione di rivolgersi direttamente ai consumatori con alcuni dei suoi prodotti. MindMaze aveva presentato un'applicazione per giochi per computer per la prima volta già nel 2015 e nel 2016 aveva raggiunto lo status di «unicorn», ossia di una startup con un valore superiore a un miliardo di dollari.



Anche Aleva Neurtherapeutics va classificata tra le imprese locali, dal momento che i principali investitori si trovano in Svizzera. Finora hanno investito 52 milioni di dollari nell'azienda, che lavora in particolare su una stimolazione profonda del cervello destinata a persone affette da Parkinson e tremore. A sua volta la spinoff dell'ETH Idun Technologies sviluppa cuffie che registrano l'attività cerebrale all'interno dell'orecchio e rilevano l'attività dei muscoli dell'occhio e della mascella; l'accento è posto sulla registrazione e sull'interpretazione dei dati e le cuffie potranno quindi aiutare a monitorare pazienti epilettici. L'azienda può contare sul sostegno – anche finanziario – di Sony. Altre aziende con prodotti bioelettronici in portafoglio, che operano o

hanno addirittura la loro sede principale in Svizzera, sono Dynavision, Neurosoft Bioelectronics e Onward Medical. Queste aziende si occupano prioritariamente di applicazioni mediche.

Anche l'industria tessile offre possibilità d'impiego della bioelettronica: sono ipotizzabili tessuti sportivi, protettivi e altri tessuti speciali dotati di interessanti funzionalità. La collaborazione tra informatica e settore tessile non ha tuttavia ancora preso veramente piede. Nel nostro Paese, lo sviluppo di prodotti non medici è ostacolato dal fatto che la regolamentazione e le strutture vigenti sono orientate in primo luogo alla bioelettronica medica.

Condivisione di responsabilità tra essere umano e tecnologia?

Agli occhi del filosofo italiano del Rinascimento Giovanni Pico della Mirandola, il tratto essenziale che caratterizza l'essere umano è il libero arbitrio. Ma quest'ultimo è ancora intatto se il nostro organo del pensiero è stimolato elettromagneticamente? Gli effetti bioelettronici sul cervello potrebbero alterare la nostra concezione dell'essenza dell'essere umano, con un impatto sui suoi atti e sulle loro conseguenze giuridiche.

Possiamo essere dichiarati colpevoli – di un misfatto o di un danno – solo se siamo imputabili. A tal fine dobbiamo essere in grado di esercitare il nostro libero arbitrio e di prendere una decisione. Ma che ne è di queste capacità se una stimolazione bioelettronica del cervello esercita un'azione sulle nostre percezioni sensoriali e sui nostri desideri? Se una persona potenzia la propria efficienza mediante la neurostimolazione non è escluso che perseguirà altri desideri ed esprimerà una volontà diversa rispetto allo «stato normale non alterato». Viste così le cose, con la bioelettronica ci si addentra in parte in un campo giuridicamente controverso, poiché interroga su quale sia in realtà l'essenza di una persona.

Quando s'intromette la tecnologia

L'articolo 16 del Codice civile menziona vari stati che compromettono la capacità di «agire ragionevolmente»: disabilità mentale, ebbrezza, turba psichica o l'età infantile. Gli effetti bioelettronici sul cervello potrebbero comportare effetti paragonabili a quelli delle caratteristiche menzionate nella legge, riducendo così la capacità di discernimento e di conseguenza l'imputabilità.

Le questioni in materia di responsabilità non chiamano però in causa solo gli utenti degli apparecchi bioelettronici. Potrebbero essere avanzate pretese di risarcimento anche nei confronti dei fabbricanti dei gadget. Mettiamo che una persona che indossa un esoscheletro esegua involontariamente un movimento di scarico rompendo un vaso prezioso o magari addirittura ferendo una persona – di chi è la responsabilità? Sorgono questioni in materia di responsabilità anche quando la parte lesa è colui che indossa un sistema bioelettronico. Secondo la responsabilità per danno da prodotti, il fabbricante risponde in ogni caso per i danni provocati da un prodotto difettoso. A causa della complessità dei sistemi bioelettronici potrebbe tuttavia essere difficile dimostrare che il danno è stato effettivamente causato da un difetto del sistema e non dall'uso scorretto.

Sono particolarmente problematici dal punto di vista etico e giuridico i sistemi bioelettronici che agiscono autonomamente, ossia indipendentemente dalle decisioni e dagli interventi di chi li indossa. Se il libero arbitrio è sostituito da un automatismo tecnologico, la questione della responsabilità va chiarita non da ultimo quando tale automatismo è difettoso.

Protezione dei dati e della personalità

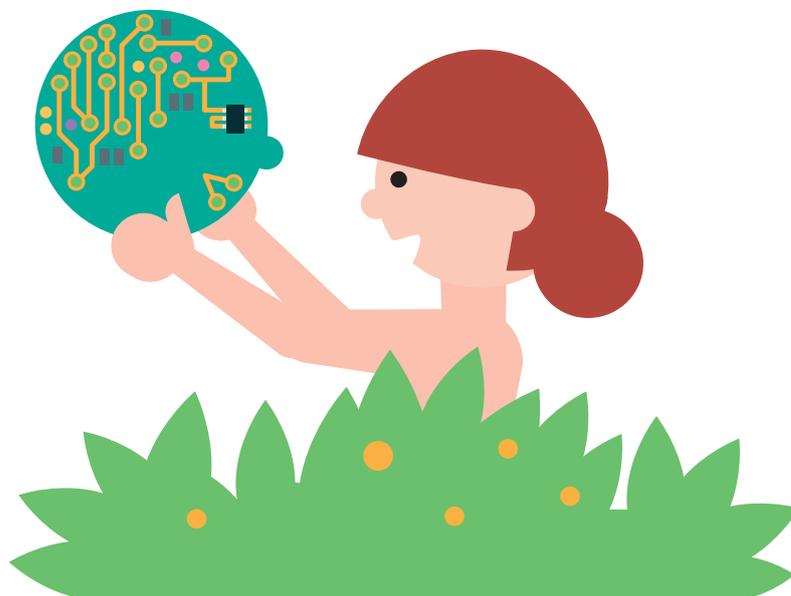
Se sistemi bioelettronici determinano i flussi energetici nel cervello e agiscono su di essi, vanno a toccare la dimensione più intima di una persona. Occorre quindi tutelare bene i dati neurologici rilevati e utilizzati. Tra gli specialisti vi è chi parla anche di «hackeraggio del cervello»: se persone non autorizzate si procurano l'accesso a un neuroimpianto bioelettronico, sono ipotizzabili molti scenari – dalla scoperta delle predisposizioni più intime di una persona al suo controllo continuo o addirittura alla manipolazione delle sue azioni.

Alcuni esperti si schierano pertanto a favore della protezione di un nucleo specifico della personalità a livello costituzionale. Di fronte agli sviluppi della neurotecnologia, altri chiedono che, oltre al diritto all'autodeterminazione mentale, in futuro possano essere fatti valere anche il diritto alla sfera privata mentale, il diritto all'integrità mentale e il diritto alla continuità psichica.

Reinterpretare la personalità

A medio termine, l'intreccio tra essere umano e tecnologia potrebbe far sorgere la necessità di adeguare alle nuove condizioni il concetto giuridico di «persona». L'artista daltonico Neil Harbisson è riuscito a ottenere il riconoscimento della bioelettronica quale parte del suo corpo e a fare in modo che essa sia visibile nella fotografia sul suo passaporto. Sulla scia dell'installazione e dell'aggiornamento di sistemi tecnologici nel corpo potrebbe diventare necessario introdurre una nuova categoria normativa, quella dell'«essere umano ingegnerizzato», che ammorbidirebbe le attuali opposizioni giuridiche tra cose (nel senso di proprietà) e persone.

Per poter svolgere la loro funzione, gli apparecchi bioelettronici hanno bisogno di tutta una serie di dati personali, che rilevano autonomamente. Nella valutazione della bioelettronica dal punto di vista giuridico occupano quindi ampio spazio gli interrogativi che ruotano attorno alla protezione dei dati sensibili. Siccome anche altri dispositivi indossabili («wearable») sollevano interrogativi analoghi, già trattati esaurientemente nello studio di TA-SWISS sul «Quantified Self» (2018), il presente studio non ha approfondito nuovamente la tematica della protezione dei dati.



Sfruttare i potenziali senza sottovalutare i rischi

Finora sono stati soprattutto gli specialisti a occuparsi della bioelettronica. È giunto il momento di avviare un'ampia discussione. La bioelettronica inizia infatti a diffondersi nella vita di tutti i giorni.

L'evoluzione futura della bioelettronica non medica cambierà i valori fondamentali della nostra società nonché la scienza, l'economia, il sistema sanitario e l'ambiente. Le raccomandazioni risultanti dallo studio puntano i riflettori sui relativi campi d'azione.

Né esaltazione né rifiuto

La bioelettronica non medica suscita reazioni contrastanti, tra entusiasmo e rifiuto. Punti di vista distorti – in una direzione o nell'altra – ostacolano una riflessione obiettiva sui potenziali e sui rischi che la bioelettronica non medica offre alla scienza, all'economia e non da ultimo agli utenti. Occorrono formati facilmente accessibili e comprensibili come video o podcast nonché conferenze e incontri di discussione, pensati per stimolare una riflessione obiettiva sulla bioelettronica all'interno della società.

Imparare dagli stupefacenti

L'effetto bioelettronico sul cervello può produrre effetti simili a quelli del consumo di stupefacenti o farmaci psicoattivi. Uno studio comparativo dovrebbe evidenziare quali regolamentazioni e raccomandazioni concernenti l'uso di sostanze psicoattive potrebbero essere applicate anche all'uso della bioelettronica.

Proteggere in modo particolare i giovani

Se gli apparecchi bioelettronici non sono utilizzati correttamente, vi è il rischio di mettere a repentaglio la salute. Sono difficili da valutare in particolare le conseguenze di una stimolazione elettromagnetica impropria del cervello. A essere particolarmente minacciati sono gli adolescenti, poiché il loro cervello in fase di maturazione è ancora plasmabile e potrebbe essere influenzato in modo permanente dagli impulsi elettromagnetici. Uno studio dovrebbe scandagliare le potenziali conseguenze a lungo termine sull'organismo dei giovani – in particolare sul cervello – partendo dalle conoscenze provenienti dal settore medico ed eventualmente fungere da base per ulteriori indagini.

Rendere concreto l'astratto

La bioelettronica non medica, in cui convergono gli sforzi delle più svariate discipline scientifiche e dei più svariati attori economici, fornisce materiale concreto per farsi un'idea dell'intreccio tra scienze e tecnologie che si osserva in molti contesti – una tematica spesso discussa in termini astratti nelle cerchie degli specialisti, ma raramente comunicata al pubblico. Applicazioni concrete come i «cerotti intelligenti» potrebbero fungere da spunto per una discussione sociale sulla gestione della convergenza tra scienza e tecnologia, raggiungendo anche un pubblico che finora non si è praticamente mai confrontato con questo fenomeno, ma che potrebbe subirne l'impatto.

Apertura normativa per le novità

La regolamentazione vigente per l'autorizzazione dei sistemi bioelettronici è orientata alla bioelettronica medica. Sempre più spesso si chiede che la bioelettronica non medica debba, per motivi di sicurezza, soddisfare gli stessi requisiti della bioelettronica medica. Piccole e medie imprese sarebbero però così fortemente ostacolate nella loro attività innovativa. Bisognerebbe pertanto chiarire se, per i prodotti bioelettronici non destinati inequivocabilmente a un uso medico o non medico, non sia opportuno un nuovo modello di regolamentazione, sia per quanto riguarda le prescrizioni giuridiche sia per quanto riguarda le norme tecniche e gli standard privati o usuali nel settore. Bisognerebbe anche verificare se non sia necessario formulare direttive etiche specifiche per la ricerca e lo sviluppo sui prodotti neuroelettronici.

Rafforzare la rete di competenze

Di fronte al potenziale notevole della bioelettronica sia medica sia non medica è indispensabile promuovere una riflessione su questo ramo interessante della ricerca e dell'economia. Occorre lanciare un'iniziativa che riunisca ricercatori provenienti dalle più svariate discipline scientifiche nonché rappresentanti della pratica e dell'economia al fine di rafforzare la rete di competenze in materia di bioelettronica. L'iniziativa, pensata per una durata di 7-10 anni, andrebbe orientata in modo particolare ai progetti che esplorano un terreno scientifico e imprenditoriale inesplorato e dovrebbe mirare a promuovere sia la bioelettronica medica sia quella non medica.

Mettere in discussione l'accesso agli animali

Per ora l'impiego di sistemi bioelettrici negli animali si limita perlopiù alla ricerca. Occorrerà valutare se la crescente ingegnerizzazione degli animali non richieda adeguamenti legislativi.



Gruppo di accompagnamento

- Prof. Dr. Christina Aus der Au, Medical Humanities, Université de Fribourg
- Peter Biedermann, Swiss Medtech, Bern
- PD Dr. Markus Christen, Digital Society Initiative, Universität Zürich
- Prof. Dr. Antoine Geissbuhler, Service de cyber-santé et télémédecine, Hôpitaux Universitaires de Genève, delegato dell'Accademia Svizzera delle Scienze Mediche ASSM
- Prof. Dr. Malte-C. Gruber, Rechtswissenschaftliche Fakultät, Universität Luzern
- Thomas Müller, redattore Radio SRF, membro del Comitato di direzione TA-SWSISS, presidente del gruppo di accompagnamento
- Dr. Tobias Ruff, Laboratory of Biosensors and Bioelectronics, ETH Zürich
- Prof. Dr. Giatgen Spinas, Prof. em. Universitäts-spital Zürich, membro del Comitato di direzione TA-SWSISS

Gestione del progetto presso TA-SWISS

- Dr. Elisabeth Ehrensperger, Direttrice
- Dr Adrian Rügsegger, Responsabile di progetto

Impressum

Brividi bioelettronici
Sintesi dello studio «Wenn Menschen ihren Körper mit Technik
vernetzen. Grundlagen und Perspektiven nicht-medizinischer
Bioelektronik»
TA-SWISS, Berna 2022
TA 78A/2022

Autrice: Dr. Lucienne Rey, TA-SWISS, Berna
Traduzione: Giovanna Planzi, Zurigo
Produzione: Dr. Adrian Rügsegger e Fabian Schluemp, TA-SWISS,
Berna
Grafica: Hannes Saxer, Berna
Stampa: Jordi AG – Das Medienhaus, Belp

TA-SWISS – Fondazione per la valutazione delle scelte tecnologiche

Spesso le nuove tecnologie portano netti miglioramenti per la qualità di vita. Talvolta nascondono però anche nuovi rischi, le cui conseguenze non sono sempre prevedibili in anticipo. La fondazione per la valutazione delle scelte tecnologiche TA-SWISS esamina le opportunità e i rischi dei nuovi sviluppi tecnologici in materia di «biotecnologia e medicina», «società dell'informazione» e «mobilità / energia / clima». I suoi studi si rivolgono sia ai decisori nella politica e nell'economia che all'opinione pubblica. TA-SWISS promuove inoltre lo scambio di informazioni e opinioni tra specialisti della scienza, dell'economia, della politica e la popolazione attraverso metodi di partecipazione. Siccome devono fornire informazioni il più possibile obiettive, indipendenti e solide sulle opportunità e sui rischi delle nuove tecnologie, i progetti di TA-SWISS sono elaborati d'intesa con gruppi di esperti composti in modo specifico a seconda del tema. Grazie alla competenza dei loro membri, questi gruppi d'accompagnamento coprono un ampio ventaglio di aspetti della tematica esaminata.

La fondazione TA-SWISS è un centro di competenza delle Accademie svizzere delle scienze.

TA-SWISS
Fondazione per la valutazione
delle scelte tecnologiche
Brunngasse 36
CH-3011 Berna
info@ta-swiss.ch
www.ta-swiss.ch

membro delle
 **accademie svizzere
delle scienze**

