

RICERCHE

Il sé minimale e la tecnologia ibrida bio-macchinale: un contributo alla fenomenologia dell'incorporazione tecnologica

Martina Properzi^(a)

Ricevuto: 26 dicembre 2023; accettato: 29 maggio 2024

Riassunto Questo articolo contribuisce alla ricerca in corso sul sé minimale, la configurazione più semplice dell'identità individuale che affonda le sue radici nelle strutture e negli schemi corporei di base. Il tema del sé minimale sarà trattato da una prospettiva fenomenologica, concentrando l'attenzione sulle problematiche relative all'incorporazione tecnologica. Alcuni tipi di tecnologia come le protesi sono vissute dall'individuo come parte del proprio corpo. Esiste una relazione rilevante, da un punto di vista fenomenologico, tra l'incorporazione di una macchina e l'esperienza minimale del sé? La domanda è cruciale per una nuova generazione di macchine incorporabili, nota come tecnologia ibrida bio-macchinale, che beneficia di significativi progressi nella modellazione digitale dei segnali corporei e nella ricerca sui materiali biointegrati. L'articolo approfondisce la relazione tra la tecnologia ibrida bio-macchinale e il sé minimale discutendo un caso di studio altamente informativo nel campo della tecnologia della visione (protesi visive biomimetiche).

PAROLE CHIAVE: Sé minimale; Incorporazione della tecnologia; Fenomenologia; Tecnologia ibrida bio-macchinale; Protesi biomimetiche

Abstract *Minimal self and bio-machine hybrid technology: A contribution to the phenomenology of technology incorporation* - This article contributes to ongoing research on the minimal self, i.e., the simplest configuration of individual identity, which is rooted in basic body structures and schemes. The topic of minimal selfhood will be treated from a phenomenological perspective, focusing on issues of technology incorporation. Some types of technology, such as prosthetics, are experienced by the user as part of her or his own body. Is there a phenomenologically relevant relationship between the incorporation of a machine and minimal self-experience? The question is crucial for a new generation of incorporable machines, known as bio-machine hybrid technology, which benefits from significant advances in digital modeling of bodily signals as well as research on bio-integrated materials. The article delves into the relationship between bio-machine hybrid technology and the minimal self by discussing a highly informative case study in the field of vision technology (biomimetic visual prostheses).

KEYWORDS: Minimal Self; Technology Incorporation; Phenomenology; Bio-Machine Hybrid Technology; Biomimetic Prostheses

^(a) Dipartimento di Filosofia, Pontificia Università Lateranense, Piazza San Giovanni in Laterano, 4 – 00184 Roma (IT)

E-mail: martinaproperzi@alice.it



1 Introduzione

Nella ricerca contemporanea il sé, l'esperienza di "essere qualcuno" (*being someone*), non è più visto come un tema esclusivamente filosofico. Teorie del sé di grande impatto scientifico e culturale radicate nella tradizione della filosofia moderna sono messe in discussione alla luce di aggiornate evidenze neuroscientifiche (METZINGER 2009). Alle critiche si accompagnano proposte che, proprio come le prime, beneficiano di una grande mole di dati raccolti dalla ricerca empirica nelle neuroscienze e in settori scientifici affini quali la psicologia comportamentale, la psicologia evolutiva e la psicopatologia. In questo contesto, l'interdisciplinarietà della ricerca, intesa come integrazione di e interazione fra concetti e metodi elaborati in diversi contesti disciplinari, appare come l'unico modo praticabile per affrontare la complessità del vissuto del sé. Come è stato osservato, infatti, «il "sé" è una nozione complessa, multilivello e sfaccettata» (FERRI 2013, p. 22).

Il nuovo paradigma di ricerca interdisciplinare discrimina tra diversi livelli di indagine e tra diverse configurazioni del sé. Gli studiosi individuano almeno tre livelli di indagine: (i) il livello fenomenologico; (ii) il livello funzionale e (iii) il livello biologico (LEGRAND 2010). Il livello (i) approfondisce la coscienza, la consapevolezza di essere qualcuno, raccogliendo caratteristiche, come il senso della durata o continuità temporale che sono distintive del modo in cui l'individuo vive la propria identità da una prospettiva soggettiva, in prima persona. I livelli d'indagine (ii) e (iii) si interessano alle basi organiche della coscienza di sé: all'elaborazione dell'informazione autoreferenziale da parte del cervello e del resto del corpo (livello (ii)) e al suo sostrato biologico di processi neurofisiologici (livello (iii)).

Numerose configurazioni del sé sono state identificate dai ricercatori, che hanno parlato o di dimensioni multiple dell'identità personale o di diversi "sé" (*selves*), tra i quali il sé cognitivo, il sé ecologico, il sé intersoggettivo, il sé narrativo e il sé minimale (*minimal self*) (STRAWSON 1999). Quest'ultimo coincide con la configurazione più semplice o minimale dell'identità dell'individuo radicata in strutture e negli schemi corporei di base. L'impatto della tecnologia protesica sul sé minimale è il fulcro di interesse di quest'articolo.

Più specificamente, l'articolo contribuisce alla ricerca in corso sul sé minimale da una prospettiva fenomenologica (livello di indagine (i)), concentrandosi su questioni di incorporazione tecnologica. Alcuni tipi di tecnologia come le protesi vengono vissute dall'individuo come parte del proprio corpo. Incorporando una macchina, il vissuto di essere incarnato (*embodied*), di essere "ancorato" a un corpo o di abitarlo, esperito dall'individuo, interessa un corpo tecnologicamente integrato, per esempio nelle sue funzioni motorie e sensopercettive. Esiste

una relazione fenomenologicamente rilevante tra l'incorporazione della tecnologia, in particolare della tecnologia protesica, e l'esperienza minimale di essere qualcuno?

La questione appena sollevata è cruciale anche e soprattutto in relazione a una nuova generazione di macchine biomimetiche che beneficiano di significativi progressi nella modellazione digitale dei segnali corporei nonché nella ricerca sui materiali biointegrati. La cosiddetta tecnologia ibrida biomacchinale pone un gran numero di questioni fondamentali riguardanti la vita e la soggettività dell'utilizzatore. Tra esse, si possono elencare le questioni riguardanti il rapporto tra incorporazione tecnologica e sé minimale.

Questo articolo è suddiviso in quattro sezioni: il §2 presenta lo stato dell'arte negli studi sul sé minimale. Il §3 tratta aspetti della fenomenologia dell'incorporazione tecnologica che riguardano l'identità individuale – segnatamente la sua configurazione minimale. Il §4 introduce un caso di studio altamente informativo sulla tecnologia ibrida biomacchinale riguardante la tecnologia della visione (protesi visive biomimetiche). Il caso di studio è discusso nel contesto tematico delineato nel §3, vale a dire nel contesto del rapporto tra incorporazione tecnologica e sé minimale (§5). L'articolo si conclude con una breve panoramica dei principali risultati raggiunti e con indicazioni per ulteriori ricerche che meritano approfondimento.

2 Lo stato dell'arte negli studi sul sé minimale

Il concetto di sé minimale appare all'inizio del secolo. In una serie di scritti Zahavi evidenzia come vivere il mondo ed essere consapevoli di quest'esperienza implichi una prospettiva in prima persona (ZAHAVI 1999, 2005, 2014).¹ La struttura di assunzione di prospettiva soggettiva è chiamata "essere-per-me" (*for-me-ness*). Zahavi ne sottolinea la natura tacita, implicita o preriflessiva. L'essere-per-me è la prima descrizione di una configurazione minimale del sé. Minimalità e universalità qui coincidono: «l'essere-per-me è una caratteristica universale dell'esperienza» (ZAHAVI & KRIEGL 2016, p. 36). In altre parole, sin tanto che è cosciente, ogni esperienza è "per" un soggetto che la sperimenta in prima persona. L'esperienza è sempre vissuta da un sé. Questo sé presente in ogni esperienza (universalità) è l'essere-per-me, secondo Zahavi, un sé minimale.

Gallagher (2000) distingue il sé minimale dalle configurazioni di livello superiore, come il sé narrativo risultante da pratiche discorsive e autobiografiche. Molte caratteristiche attribuite al sé, per esempio la durata o continuità temporale, sono caratteristiche non essenziali, le quali non qualificano il nucleo dell'identità individuale. Nell'analisi di Gallagher, il sé minimale mostra una sorta di "densità" materiale che è trascurata dalla descri-

zione di Zahavi dell'essere-per-me. Il sé minimale consiste infatti in una forma basilare di incarnazione vissuta fornita dal senso di proprietà del corpo (*body ownership*) e dal senso di controllo dei movimenti, la cosiddetta agentività corporea (*bodily agency*) (GALLAGHER & ZAHAVI 2020).

Più recentemente, il sé minimale è stato esaminato da una prospettiva interdisciplinare che combina intuizioni concettuali e metodologiche provenienti, tra gli altri, dalle neuroscienze, dalla psicologia, dalla filosofia fenomenologica e dalla filosofia della mente. In questo contesto interdisciplinare, il sé minimale non è più interpretato come una struttura universale di assunzione di prospettiva (l'essere-per-me di Zahavi). Esso viene descritto, piuttosto, come un'esperienza di incarnazione elementare costituita da un insieme strutturato di qualità corporee sensoriali e affettive e di schemi motori e percettivi elementari, in linea con il suggerimento di Gallagher. Gli articoli di revisione discriminano tra due poli di un ampio spettro di teorie che affrontano principalmente questioni riguardanti l'origine delle strutture e degli schemi corporei costitutivi del sé minimale: il minimalismo esperienziale, da un lato, e il costruttivismo sociale, dall'altro (ZAHAVI 2015; CIAUNICA & FOTOPOULOU 2017).

Il lavoro di Rochat sull'esperienza fetale e neonatale esemplifica al meglio il minimalismo esperienziale che considera il sé come una caratteristica intrinseca della coscienza individuale (ROCHAT 2004). Basandosi su ricerche aggiornate nel campo della psicologia dello sviluppo, Rochat sostiene che una forma minima di esperienza affettiva di sé e di autocoscienza affettiva è presente anche prima della nascita. È stato dimostrato infatti che il feto umano interagisce affettivamente con l'ambiente circostante e che distingue tra il sé affetto e l'Altro quale fonte di stimoli affettivi.²

Per i rappresentanti del costruttivismo sociale l'individuo crea attivamente la propria identità nel rapporto intersoggettivo. Ad oggi sono state sviluppate molte versioni del costruttivismo sociale, partendo da diversi insiemi di dati e da diverse metodologie di analisi. La teoria delle menti aperte sviluppata da Prinz su una base dati di tipo neuroscientifico e psicologico descrive il sé come prodotto di rispecchiamento sociale (*social mirroring*) (PRINZ 2012). Grazie a sistemi neurali specializzati, l'individuo "rispecchia" il comportamento di un Altro rilevante. Ciò significa che l'individuo attribuisce a sé stesso stati esperienziali espressi da altri corpi personali che con esso interagiscono. Nuove varietà di costruttivismo sociale centralizzano forme più primitive di intersoggettività e di scambio sociale rispetto a quelle a cui si richiama la teoria delle menti aperte di Prinz. Per esempio, il relazionalismo evolutivo di Ciaunica evidenzia la funzione auto-produttiva del tatto affettivo, un sistema fisiopsicologico specializzato che restituisce le

proprietà affettive del tatto associate alla carezza (CIAUNICA & CRUCIANELLI 2019).

Descritto come un tipo basilare di incarnazione vissuta, il sé minimale è attualmente impiegato come risorsa euristica in molti campi di ricerca, tra gli altri, in neuropsichiatria e psicopatologia (DIEGUEZ & LOPEZ 2017), cognizione 4E, intelligenza artificiale e robotica (FROESE & ZIEMKE 2009), neurofilosofia (NORTHOFF 2018) e post-fenomenologia (IHDE 2002).

Gli attuali studi interdisciplinari sulle radici corporee del sé minimale si basano su due paradigmi euristici. Il primo paradigma è orientato in senso sperimentale. Esperienze corporee illusorie, come l'auto-attribuzione di un corpo altro o di una parte corporea estranea, vengono attivamente suscitate nel soggetto partecipante all'esperimento attraverso la manipolazione dei segnali corporei. Ciò rende possibile parametrizzare e misurare i sensi fondamentali dell'essere incarnato e dell'essere se stesso. Il secondo paradigma studia gli stadi iniziali della coscienza corporea ovvero i suoi disturbi quali la delusione del senso di proprietà del corpo.³ Come verrà mostrato nella sezione successiva, la tematica evidenziata in questo contributo assume come conoscenze di base alcuni risultati empirici e teorici ottenuti nel contesto del primo paradigma di ricerca sperimentale su corpo e senso minimale del sé.

3 Incorporazione tecnologica e sé minimale

Abbiamo visto come gli studi più aggiornati sul sé minimale si concentrino su una forma elementare di incarnazione vissuta che è costituita dal senso di proprietà di un corpo (*body ownership*) e dal senso di controllo dei movimenti (*bodily agency*). Negli ultimi due decenni è emersa una linea di ricerca in cui il sé minimale appare tematicamente connesso all'incorporazione di oggetti estranei, segnatamente di artefatti tecnologici come le protesi. Questa linea di ricerca è supportata dal paradigma sperimentale noto come Illusioni Corporee (IC; *Body Illusions* - BIs).

Per molto tempo la scienza e la filosofia hanno considerato le illusioni percettive come rappresentazioni false dell'ambiente circostante, le quali mostrano i limiti del modo in cui l'essere umano sperimenta il mondo. Gli studi più recenti hanno cambiato questa prospettiva. Le illusioni percettive sono viste come risorse chiave per la scienza: esse consentono agli studiosi di rilevare e analizzare le caratteristiche costruttive della percezione sensoriale umana necessarie per dissolvere le ambiguità di un ambiente percettivo altamente indeterminato (CARBON 2014).⁴

Molte illusioni percettive di interesse scientifico e filosofico riguardano il corpo. Le IC sono illusioni indotte in laboratorio attraverso la manipolazione di segnali corporei. Un'illusoria sensazione cineste-

tica di allungamento degli arti, per esempio, può essere generata facendo vibrare i muscoli e i tendini del braccio e della gamba del soggetto partecipante all'esperimento (LACKNER 1988). *L'Illusione della Mano di Gomma* (IMG; *Rubber Hand Illusion* - RHI) e *l'Illusione dello Scambio Corporeo* (ISC; *Body Swapping* - BS) sono fenomeni di integrazione multisensoriale che ingannano la mente, la quale percepisce una parte del corpo estranea ovvero un intero corpo altro come se fossero propri.⁵ Queste illusioni consentono di studiare e comprendere i meccanismi con cui gli esseri umani costituiscono i loro corpi come entità esperienziali con cui si identificano.⁶ Il corpo è visto qui come un dominio plastico, malleabile, un territorio dai confini mobili aperto a intrusioni esterne.

La plasticità dei confini corporei è una precondizione per incorporare oggetti. Fra gli studiosi dell'incorporazione c'è chi sostiene un approccio bio-normativo alla plasticità del corpo e chi, invece, difende una prospettiva di regolamentazione sociale (Per una puntuale ricostruzione e discussione dello scenario contemporaneo della ricerca sul tema dell'incorporazione (tecnologica) e dei confini corporei si veda AAS 2021). Secondo i primi il corpo umano, nella sua realtà biologica (oggettiva) e fenomenica (soggettiva), esprime una norma, uno standard a cui l'oggetto esterno deve adeguarsi per essere incorporato – l'oggetto deve svolgere una funzione in qualche modo assimilabile a quelle del corpo organico (funzioni motorie, metaboliche, ecc.) e/o approssimare il corpo come vissuto soggettivo (esperienza di forme, dimensioni, ecc.). Stando ai secondi, i confini corporei e la loro ridefinizione plastica sono definiti da pratiche sociali che prescrivono le regole di una "normale" funzionalità e di una "normale" manifestazione corporea. Questo articolo non intende confrontare le due prospettive teoretiche appena introdotte che, peraltro, a un attento esame, potrebbero mostrare significativi punti di contatto.⁷ L'articolo vuole apportare un contributo all'approccio bio-normativo attraverso lo studio della fenomenologia del sé minimale in un contesto di uso che riguarda una nuova tecnologia incorporabile (tecnologia ibrida bio-macchinale). Come si andrà chiarendo, la tecnologia ibrida bio-macchinale è disegnata e sviluppata per conformarsi quanto più possibile alla norma corporea.

Ci sono evidenze che attestano effetti regolatori esercitati dagli schemi corporei elementari sulla plasticità del senso di proprietà corporea (TSAKIRIS 2010). Questo tipo di regolazione coincide con una sorta di selezione, di filtro dei dati sensoriali e affettivi in ingresso. Prendiamo come esempio lo schema percettivo della dimensione del braccio. Per poter essere incorporato, un oggetto simile a una mano deve condividere le dimensioni della mano che l'individuo abitualmente vede, tocca, sente, ecc. come propria. Lo stesso vale per la forma, il volume,

la struttura e le relazioni spaziali della mano, a cui l'oggetto incorporabile deve corrispondere. De Vignemont (2018) interpreta la norma imposta dagli schemi corporei elementari coinvolti nell'esperienza minimale del sé come una norma protettiva. Nel regolare la plasticità dei confini corporei e, di conseguenza, l'incorporazione di oggetti esterni, gli schemi corporei prevengono la perdita dei confini tra sé e mondo, quindi un'ibridazione dell'identità individuale. Su tali basi, de Vignemont elabora una fenomenologia affettiva del senso di proprietà corporea centrata sulla cura del corpo intesa come «la consapevolezza del significato del corpo per il soggetto» (DE VIGNEMONT & ALSMITH 2017, p. 156).

De Preester e Tsakiris propongono una caratterizzazione alternativa dell'aspetto normativo del sé minimale – più precisamente, della sua componente schematica (DE PREESTER & TSAKIRIS 2009). Secondo i due ricercatori, gli schemi corporei di base regolano la plasticità dei confini corporei secondo una precisa regola normativa che stabilisce un rapporto di proporzionalità diretta fra incorporazione e adeguazione alla norma corporea: più l'oggetto esterno corrisponde al corpo che sono abituato a vivere come mio, per esempio, in termini di dimensione e di forma, maggiore sarà l'auto-attribuzione dell'oggetto al sé minimale quale parte del "mio" corpo. In questa prospettiva, gli stessi schemi corporei sono descritti come norme, standard che devono essere approssimati dall'oggetto esterno perché esso possa essere incorporato.

In una serie di articoli De Preester (2011, 2012) focalizza l'attenzione sull'incorporazione della tecnologia, più precisamente sull'incorporazione delle protesi, sottolineando il rapporto tematico con il sé minimale. La ricercatrice traccia una distinzione concettuale tra l'incorporazione della macchina, da un lato, l'estensione del corpo attraverso la tecnologia, dall'altro. Esempi di estensioni del corpo sono quelli di ciclisti e automobilisti che sperimentano biciclette e automobili come un prolungamento degli arti. L'incorporazione consiste in un diverso movimento di introiezione, di auto-ascrizione o auto-attribuzione del dispositivo. De Preester discrimina tra diverse classi di protesi (protesi di arti, protesi percettive e protesi cognitive) e descrive la plasticità dei confini corporei nell'incorporazione della protesi come una condizione normativamente regolata da schemi corporei elementari.

Riguardo all'incorporazione di protesi, è importante attirare l'attenzione sull'aspetto dell'innovazione tecnologica. Nuovi dispositivi protesici possono "leggere" il linguaggio del corpo umano. Ciò significa che, grazie ad avanzate componenti software impiantate a livello locale (mano, gamba, occhio, ecc.) ovvero centrale (cervello), le protesi di nuova generazione elaborano le informazioni trasmesse dai segnali afferenti e efferenti del corpo consentendo all'utilizzatore di esperire *feedbacks*

sensoriali, affettivi e motori rispetto alla parte artificiale del corpo.⁸ Questa funzione, per così dire ermeneutica, della tecnologia protesica ha potenzialmente un forte impatto sull'identità individuale, nel senso che può facilitare l'incorporazione della macchina e l'identificazione dell'utilizzatore con un corpo tecnologicamente integrato. L'ermeneutica protesica richiede una stretta interazione tra il dispositivo e il corpo umano. Questo tipo di interazione è reso possibile da: (a) l'emulazione digitale di funzioni organiche, come i movimenti degli arti, la vista e il battito cardiaco, attraverso componenti informatiche ispirate al modo in cui il corpo umano elabora informazioni esterne e/o interne veicolate dai segnali corporei afferenti ed efferenti; (b) l'utilizzo di materiali biointegrati che dimostrano un elevato grado di biocompatibilità.

Sia gli strumenti di processamento delle informazioni di ispirazione biologica che i materiali biointegrati sono caratteristiche chiave delle protesi biomimetiche. Queste ultime offrono uno degli esempi più interessanti di tecnologia ibrida bio-macchinale, almeno per quanto riguarda il rapporto di questa tecnologia con il sé minimale. Come è stato notato, la tecnologia ibrida bio-macchinale mostra un «incontro tra biologia e ingegneria», che è cruciale

per replicare le prestazioni delle macchine viventi o per sviluppare componenti di macchine con un comportamento realistico, una migliore biocompatibilità e una migliore sostenibilità (MENCIASSI, TAKEUCHI & KAMM 2020).

È stato dimostrato che le protesi biomimetiche influiscono sulle dinamiche sensomotorie oggettive, come il *feedback* cinestetico, nonché sul modo in cui l'individuo esperisce soggettivamente il proprio corpo (FROESE 2014).

Nelle restanti sezioni di questo articolo, introdurrò e discuterò, nel contesto tematico appena delineato, un caso di studio altamente informativo nel campo delle protesi visive biomimetiche, dove il progresso nella traslazione clinica del dispositivo è accompagnato da un monitoraggio sistematico dell'esperienza dell'utilizzatore.

4 Un caso di studio di tecnologia ibrida bio-macchinale: le cornee biomimetiche

La cornea è la parte frontale protettiva dell'occhio umano responsabile della trasmissione e della rifrazione dei raggi luminosi incidenti. La perdita irreversibile della qualità ottica della cornea, cioè la perdita della sua trasparenza a causa di malattie e/o di danneggiamento, è la seconda causa di cecità nell'uomo (WHITCHER, SRINIVASAN & UPADHYAY 2001). Essa viene tipicamente affrontata con il trapianto di cornea o con l'uso di protesi. Tuttavia, il divario tra la disponibilità e la do-

manda dell'organo trapiantabile, da un lato, le complesse procedure di impianto e le frequenti complicanze post-operatorie, dall'altro, evidenziano la necessità di perseguire nuovi approcci terapeutici. I più promettenti approcci tentati sono quelli di medicina protesica rigenerativa.

Un gruppo di ricerca attivo da oltre un decennio tra Svezia, Canada e Stati Uniti ha sviluppato in laboratorio e poi testato su animali e uomo un metaplasma corneale, costituito da matrici extracellulari (MEC) corneali biomimetiche (FAGERHOLM *et alii* 2010). Una volta impiantate nell'occhio, le MEC biomimetiche hanno la capacità di rigenerare l'organo danneggiato, emulando le funzioni delle MEC naturali che costituiscono la parte dei tessuti non composta da cellule. Come quelle naturali, le MEC biomimetiche sono costituite da un biopolimero (collagene ricombinante di origine umana). Tuttavia, a differenza delle MEC naturali, esse sono prive di riempimento cellulare per garantire il ripopolamento da parte delle cellule dell'organo naturale e prevenire così reazioni di rigetto. Come suggerito dai risultati sperimentali, le MEC biomimetiche sono incorporate stabilmente dagli individui nel lungo termine (due anni di monitoraggio). È stato dimostrato che, in sei individui testati su dieci, le MEC biomimetiche hanno portato a un miglioramento della visione e del *feedback* visivo rispetto all'espressione prepatologica ovvero a quella precedente al danneggiamento. In tutti i soggetti coinvolti nello studio si è avuta la rigenerazione dell'epitelio, dei nervi, dello stroma e del film lacrimale.

Un altro gruppo di ricerca con sede presso l'Istituto di Medicina Genetica dell'Università di Newcastle è riuscito per la prima volta a produrre cornee umane biomimetiche perfettamente funzionanti utilizzando una tecnica avanzata di biostampa tridimensionale (ISAACSON, SWIOKLO & CONNON 2018).

Il passo avanti rispetto alla produzione di metaplasma corneale riguarda la realizzazione di intere protesi biomimetiche. A tal fine, il gruppo di ricerca ha realizzato un modello digitale di una cornea umana adulta. Il modello è stato poi utilizzato come base per riprodurre la microarchitettura dell'organo naturale, prodotta attraverso un processo avanzato di stampa 3D.

Dopo la stampa 3D delle microstrutture corneali, il gruppo di ricerca ha indotto un processo di autoassemblaggio del tessuto sfruttando la capacità naturale di produrre componenti della MEC propria di fibroblasti specializzati residenti nello stroma corneale (cheratociti corneali). La fase di traslazione clinica del dispositivo ha confermato risultati positivi nel miglioramento delle capacità visive dell'utilizzatore e nella rigenerazione di alcune componenti oculari. Ulteriori contributi allo sviluppo di tecniche di biostampa tridimensionale di cornee biomimetiche stanno venendo da

numerosi gruppi di ricerca, nonché da aziende specializzate in bio-oftalmologia (ZHANG *et alii* 2019).

5 Discussione del caso di studio: verso una fenomenologia del sé minimale nell'incorporazione di tecnologia ibrida bio-macchinale

Prima di discutere il caso studio introdotto nella precedente sezione (cornee biomimetiche) nell'ambito tematico della relazione fra incorporazione tecnologica e sé minimale, vorrei evidenziare due utili distinzioni concettuali riguardanti il carattere esterno e interno dei dispositivi protesici e le caratteristiche oggettive e soggettive del corpo umano. Per quanto riguarda la prima distinzione, un punto da sottolineare è che nell'attuale dibattito su incorporazione tecnologica e sé minimale l'attenzione dei ricercatori si concentra su casi di studio di protesi esterne. Le protesi esterne sono macchine che possono essere distaccate dal corpo senza conseguenze pericolose per la vita e la salute dell'utilizzatore. A differenza degli arti protesici o di altri dispositivi esterni, le protesi interne come le cornee biomimetiche sono innestate nel corpo, al suo interno: non possono quindi essere distaccate dal corpo dell'utilizzatore – se non mettendone a rischio vita e salute.

Alcuni studiosi sostengono che le protesi interne non sono vere e proprie macchine incorporabili dal momento che, nel caso dell'innesto intracorporeo, non sussiste alterità alcuna fra dispositivo e corpo dell'utilizzatore, un'alterità invece necessaria perché il dispositivo possa essere incorporato, attribuito o ascritto a un corpo vissuto come proprio (cfr. DE PREESTER 2011). In altre parole, le protesi interne, inserite all'interno del corpo dell'utilizzatore, non sono oggetti esterni al corpo passibili di incorporazione. Benché basata su di un solido argomento, questa posizione è carente di un'adeguata considerazione della molteplicità di forme dell'incorporazione tecnologica. Esistono infatti forme radicali di incorporazione in cui la macchina diventa tutt'uno con il corpo. Un esempio di incorporazione tecnologica radicale è la cosiddetta fusione.

Nella fusione uomo/macchina il dispositivo si “fonde” con il corpo dell'utilizzatore, si mescola con esso. La fusione fisica di corpo e dispositivo si riflette, a livello fenomenologico, in un sistema integrato in cui «l'uomo e la tecnologia formano una nuova entità esperienziale» (VERBEEK 2008, p. 391), in rapporto alla quale è dato ricomporre la dicotomia tra dispositivi incorporabili e dispositivi interni. La “nuova entità esperienziale” risultante dalla fusione uomo/macchina può essere interpretata come il polo di uno spettro di potenziali configurazioni del corpo coinvolto nell'incorporazione della tecnologia. In tale prospettiva, anche l'uso di protesi interne, per esempio di cornee biomimetiche, va considerata come una forma di incorporazione

tecnologica. Questa forma, per così dire estrema di incorporazione radicalizza l'esperienza di incorporazione di dispositivi che si ha nei casi di utilizzo di protesi esterne come le di protesi dell'arto superiore e dell'arto inferiore. Le protesi interne, proprio come quelle esterne, esemplificano allora forme diverse, tuttavia entrambe autentiche di incorporazione tecnologica. In quanto segue, questa interpretazione pluralistica dell'esperienza di incorporazione di un dispositivo viene assunta come punto di partenza della discussione del caso di studio.

Considerando la distinzione tra caratteristiche oggettive e soggettive del corpo, gli studi contemporanei sull'incorporazione delle protesi lasciano aperta una questione cruciale: che tipo di rapporto lega il corpo oggettivo e il corpo soggettivo dell'utilizzatore di protesi? Questa domanda è importante anche e soprattutto se posta in riferimento a protesi biomimetiche, il cui uso impatta profondamente sia sul corpo-come-oggetto che sul corpo-come-soggetto. Come concepire tale duplicità del corpo umano? In contesti tematici differenti da quello dell'incorporazione tecnologica gli studiosi suggeriscono di cogliere la natura oggettiva e soggettiva del corpo come un rapporto differenziale tra due facce della stessa medaglia. Bedorf (2017), per esempio, parla di una «differenza tra il corpo vissuto e il corpo materiale (*Leib/Körper*)» (p. 57). Si ritiene che questa «differenza corporea» trovi «un'origine sistematica nella fenomenologia» (*ibidem*).

La distinzione tra lato oggettivo e lato soggettivo del corpo umano è una delle principali acquisizioni della fenomenologia classica. L'analisi di Husserl del corpo come oggetto (*Körper*) e come soggetto (*Leib*) è accolta e portata avanti da altre figure di spicco della fenomenologia classica quali Scheler, Stein e Merleau-Ponty (JENSEN & MORAN 2013). Secondo i fenomenologi classici le scienze naturali oggettivizzano il corpo umano. Infatti, nelle caratterizzazioni fornite dalle discipline scientifiche naturali come la biologia e la medicina, il corpo umano appare come un oggetto spaziotemporale situato nel mondo: termine dello sguardo in terza persona di un osservatore esterno.⁹ Il corpo-come-oggetto, il corpo come *Körper*, mostra proprietà fisiche, chimiche e/o biologiche quali peso, temperatura, capacità metabolica e *fitness* evolutiva. In questa prospettiva il corpo umano appare come «una sostanza fisica, un organismo biochimico o un segmento di materia» (HEINÄMAA 2021, p. 237).

Il corpo umano è tuttavia anche un “potere”, per esempio una capacità di movimento, di espressione e di sviluppo: un “io posso”. Il corpo-come-soggetto, il corpo come *Leib*, coincide con una soggettività corporea che costituisce mondi dotati di significato, i quali possono essere toccati, affermati, sentiti emotivamente, ecc. Nella fenomenologia classica il rapporto tra corpo-oggetto e corpo-soggetto è tematizzato come rapporto di necessità costitutiva tra due facce della stessa medaglia:

l'una non può apparire senza fare riferimento all'altra. Secondo Husserl (2002) il corpo umano appare come

una cosa materiale con particolari modalità di apparenza, una cosa "inserita" tra il resto del mondo materiale e la sfera "soggettiva" [...] come centro attorno al quale è disposto il resto del mondo spaziale, e in relazione causale con il mondo reale esterno. D'altra parte, il corpo appare qui allo stesso tempo come un "punto di svolta" in cui le relazioni causali si trasformano in relazioni condizionate tra il mondo esterno e il soggetto corporeo-psichico. Ed in virtù di ciò, il corpo appare integralmente pertinente a questo soggetto e alle sue proprietà, sia quelle specificamente corporee, sia quelle psichiche ad esse legate. Ciò che è costituito nell'atteggiamento esterno è lì compresente insieme a ciò che è costituito nell'atteggiamento interno (p. 169).

La necessaria co-costituzione del corpo come *Körper* e del corpo come *Leib* è facilmente accessibile nel fenomeno detto delle doppie sensazioni. Si consideri il seguente esempio: quando la mia mano tocca la mia gamba, sono consapevole della posizione spaziale della mia mano. La parte del corpo che tocca organizza fondamentalmente la spazialità della mia coscienza della gamba. Il mio corpo non coincide con l'arto a cui accedo tramite esperienza tattile. Tocco la mia gamba come un segmento del mondo materiale grazie alla mia mano che mette in atto dinamiche sensomotorie (per esempio, integrazioni fra dato visivo e dato tattile e *feedback* cinestetico). La mano che tocca è l'organo della mia volontà soggettiva. Il processo può essere invertito, se scelgo di attirare l'attenzione sulla capacità di organizzazione spaziale della gamba. La gamba diventa allora la parte toccante del corpo e la mano incarna la condizione dell'essere toccato. In altre parole, posso toccare la mia gamba contro la mia mano. Sperimentando il corpo come dato tattile attraverso il fenomeno delle doppie sensazioni, faccio esperienza del rapporto di necessaria co-costituzione fra oggettività e soggettività corporee.

La descrizione fenomenologica del corpo soggettivo e oggettivo fornisce una risorsa essenziale per indagare l'autocoscienza minimale nel contesto dell'incorporazione tecnologica, segnatamente nel contesto dell'incorporazione di protesi biomimetiche. In effetti, la "differenza" *Körper/Leib* descritta dai fenomenologi classici consente di approfondire la complessità del corpo protesico che, proprio come il corpo non impiantato, rivela caratteristiche sia oggettive sia soggettive. A differenza del corpo non impiantato, tuttavia, il corpo protesico attraversa molteplici condizioni.

Una prima condizione coincide con lo stato pre-patologico ovvero con lo stato precedente al

danneggiamento dell'organo – la cornea nel nostro caso. In questo stato i processi biologici e funzionali della visione possono dirsi "normali", così come "normale" è la percezione visiva. Una seconda condizione corporea è data dallo stato di cecità che mina l'espressione biologica, quella funzionale e quella cosciente. Infine, una terza condizione corporea corrisponde allo stato post-operatorio caratterizzato dal recupero di una normalità visiva e, talvolta, dal miglioramento della capacità percettivo-visiva reso possibile dalla tecnologia. Entrambi i lati del corpo protesico, ossia il suo lato oggettivo e quello soggettivo, sono dunque più instabili, variabili rispetto a quelli del corpo non impiantato. Per esempio, nello stato post-operatorio, lì dove l'utilizzatore di cornee biomimetiche spesso migliora la propria capacità visiva, i processi di associazione passiva aumentano. Ciò avviene grazie al ripristino delle basi biologiche e funzionali della visione.

A livello fenomenologico si genera una esperienza di contrasto fra il flusso riacquisito di sensazioni legate alla vista e un senso di "assenza" vissuto dall'individuo nello stato di cecità. Questo contrasto esperienziale relativo alla presenza e all'assenza di dati visivi coincide con una sorta di iperstrutturazione del campo passivo della coscienza che altera abitudini, abilità e/o disposizioni percettive di base dell'utilizzatore della protesi.¹⁰ Ci si può allora chiedere se il sé minimale sia influenzato da questa e da simili alterazioni delle strutture e degli schemi corporei elementari. In altri termini, nel caso in questione di un corpo integrato da cornee artificiali biomimetiche, sussiste o meno una relazione cogente da un punto di vista fenomenologico fra identità individuale e corpo vissuto?

Il fatto di poter vedere di nuovo il mio braccio, per esempio mentre afferro una tazza, influisce sulla mia consapevolezza di possedere un corpo e di muoverlo, così come sulla mia identità minimale in base alla stretta connessione che sussiste tra l'esperienza del corpo come corpo proprio agente e l'esperienza del sé. Inoltre, il fatto di non essere più abituato a vedere il mio braccio afferrare un oggetto, a causa di uno stato di cecità più o meno prolungato, modifica la mia esperienza elementare del corpo e del sé.

La relazione fra identità individuale e corpo vissuto non si articola solo nel senso di un condizionamento del secondo rispetto al primo. Considerato nella sua configurazione minimale, il sé condiziona a sua volta il corpo, nel nostro caso il corpo protesico, che risulta infatti essere termine di un'azione di modulazione, di regolazione di strutture e schemi di base. Gli studi sulle IC dimostrano un effetto distorsivo nella percezione visiva della forma dell'oggetto incorporabile. Il partecipante all'esperimento attribuisce caratteristiche della mano naturale all'oggetto esterno (la mano di gomma) in rapporto a cui l'illusione di incorporazione viene generata. Riflettendo su questa evi-

denza sperimentale, Longo e colleghi (2009) suggeriscono un'analogia con la visione:

oltre ai noti effetti di percezione categorica nella percezione del colore, gli studi hanno dimostrato che la categorizzazione di un oggetto porta a cambiamenti percettivi tali che l'oggetto assume proprietà caratteristiche della categoria. È stato scoperto che il punto in cui i partecipanti all'esperimento giudicavano acromatica l'immagine di una banana (che è tipicamente gialla) era invece leggermente blu (il colore che contrasta con quello di una banana tipo). Un effetto analogo potrebbe verificarsi nel contesto dell'illusione della mano di gomma [...] i partecipanti all'esperimento che avevano sperimentato l'illusione della mano di gomma non sembravano basare i loro giudizi di somiglianza sulla forma effettiva della mano di gomma, dal momento che così facendo essi avrebbero percepito erroneamente la forma reale (p. 171).

L'analogia tra incorporazione e visione stabilita nel passaggio appena citato si basa su un carattere comune: la modulazione o regolazione cosiddetta dall'alto verso il basso (*top-down*). Un chiarimento su questo punto è opportuno.

Nella visione umana la rifrazione e la trasmissione dei raggi luminosi incidenti effettuata dalla cornea producono un'immagine sulla retina, che in poche centinaia di millisecondi è associata a un oggetto prominente del campo visivo. Questa connessione avviene tramite operazioni associative di raggruppamento (*grouping*) basate su di un diverso tipo di elaborazione dell'informazione sensoriale: un processamento dall'alto verso il basso. Più precisamente, singoli dati visivi vengono associati, formano gruppi o complessi sensoriali, grazie a processi di categorizzazione che conferiscono loro un significato specifico tramite il confronto con un modello (*template*) (TACCHETTI, ISIK & POGGIO 2018). In questo caso, il modello coincide con un'immagine mentale dell'oggetto visivo risultante da schemi percettivi e motori, nonché da capacità di interpretare le forme visive come determinate morfologie (*Gestalten*), capacità perfezionate nel corso dell'evoluzione filogenetica della specie. L'elaborazione dall'alto verso il basso dell'informazione visiva (i processi di categorizzazione) consente al percipiente di identificare rapidamente l'oggetto percettivo malgrado dati sensoriali spesso ambigui e/o incompleti. La categorizzazione mentale del dato ha un evidente vantaggio adattativo: rendere familiare un ambiente circostante altamente mutevole, soggetto a costante modificazione.

Sulla base dell'acuta osservazione di Longo e colleghi riguardo all'analogia tra incorporazione e visione, si può tentare di descrivere la fenomenologia del rapporto fra sé minimale e corpo protesico

come una fenomenologia normativa di modulazione o regolazione categoriale. In questa direzione, la fenomenologia classica, segnatamente quella husserliana della relazione mente/corpo offre un'utile risorsa concettuale: la regolazione nota come condizionamento ideopsichico (*selbstpsychisch*). Il condizionamento ideopsichico è un nesso determinante in prospettiva fenomenologica che riguarda stati corporei di basso livello (per esempio, le sensazioni), i quali mostrano una dipendenza da stati mentali di livello superiore che ne regolano l'espressione come momenti instabili di un'esperienza (relativamente) stabile. Come afferma Husserl (2002):

all'interno di una stessa psiche, le attuali esperienze vissute, come totalità, dipendono da precedenti esperienze vissute [...] anche quando una sensazione si presenta come "effetto di stimolazione esterna", la modalità della sua accettazione nella coscienza è co-determinata da questa nuova regolamentazione (p. 143 – corsivo nell'originale).

Il condizionamento ideopsichico è visto come un nesso opposto e complementare a quello psicofisico. Sempre secondo Husserl,

è noto che la psiche dipende dal corpo e quindi dalla natura fisica e dalle sue molteplici relazioni. Questa dipendenza esiste anzitutto per quanto riguarda la totalità delle sensazioni (comprese le sensazioni sensoriali del sentimento e dell'istinto) e poi anche per quanto riguarda le loro concomitanti *riproduzioni*, e quindi *la vita della coscienza nel suo intero è influenzata da questa dipendenza (ibidem - corsivo nell'originale).*

Seguendo Husserl, si può interpretare la relazione fenomenologica fra sé minimale e corpo protesico come una relazione normativa che esprime la dipendenza mente → corpo nei termini di un condizionamento ideopsichico esercitato dalla mente sul corpo. Nel caso dell'incorporazione di protesi biomimetiche, la mente determinante coincide con il sé minimale che stabilizza la consapevolezza del corpo protesico attraverso processi normativi di regolazione categoriale. Questi processi normativi allineano i dati sensoriali in ingresso con una coscienza minimale di sé che è pre-data rispetto allo stato corporeo attuale – lo stato senso-percettivo. Questo tipo di condizionamento ideopsichico della mente sul corpo è complementare al condizionamento psicofisico corpo → mente.

A tale proposito, si è visto come il corpo protesico condizioni l'identità individuale attraverso il ripristino delle basi biologiche e funzionali della visione e il riacquisto di una "normale" percezione visiva. Il tipo di normatività, di condizionamento

reciproco mente ↔ corpo descritto da Husserl pare dunque interpretare la relazione fenomenologica che sussiste tra incorporazione tecnologica e sé minimale, per lo meno laddove vengano presi in considerazione dispositivi protesici visivi avanzati (tecnologia ibrida bio-macchinale) come le cornee biomimetiche.

6 Conclusioni

In questo articolo è stata proposta una indagine sulla configurazione più semplice o minimale dell'esperienza del sé, dell'essere qualcuno, la quale dà rilievo a questioni fenomenologiche pertinenti al contesto tematico dell'incorporazione tecnologica. Incorporare una tecnologia significa, basilamente, vivere la macchina come parte del corpo proprio. L'articolo ha preso in esame una nuova generazione di tecnologia incorporabile, la cosiddetta tecnologia ibrida bio-macchinale. Segnatamente, è stata discussa l'incorporazione di cornee biomimetiche come caso di studio altamente informativo per indagare l'esistenza di una relazione potenzialmente rilevante da un punto di vista fenomenologico tra il sé minimale, da un lato, e l'incorporazione tecnologica, dall'altro.

Muovendo da una caratterizzazione aggiornata dell'identità individuale come una forma di incarnazione vissuta fondata su strutture e schemi di base del corpo oggettivo e del corpo soggettivo – il corpo-come-oggetto (il corpo come *Körper*) e il corpo-come-soggetto (il corpo come *Leib*) –, è stato evidenziato un nesso normativo di mutua determinazione o condizionamento tra il sé minimale dell'utilizzatore di cornee biomimetiche e il suo corpo protesico. L'analisi effettuata affonda le sue radici nella fenomenologia normativa della relazione mente/corpo elaborata da Husserl con le strutture opposte e complementari di dipendenza ideopsichica del corpo dalla mente e di dipendenza psicofisica della mente dal corpo.

I risultati conseguiti non sono certamente esaustivi considerata la complessità della tematica affrontata. Ulteriori ricerche si rendono necessarie alla luce anche e soprattutto della crescente quantità di studi ingegneristici e clinici dedicati alle protesi biomimetiche e all'esperienza dell'utilizzatore. Questo tipo di ricerca può estendere in modo significativo il numero di casi studio. In questo senso, nel prossimo futuro, insiemi di dati relativamente ampi potrebbero essere forniti da studi sulle protesi visive biomimetiche, in particolare sulle retine biomimetiche (GU *et alii* 2020). Altre opportunità per la raccolta e l'analisi dei dati potrebbero essere offerte da progetti di design bio-ispirato di valvole cardiache (SHAO *et alii* 2021). La sfida è aperta a nuovi contributi fenomenologici in grado di descrivere l'esperienza dell'utilizzatore di questi avanzati dispositivi di tecnologia ibrida bio-macchinale.

Note

¹ Quasi contemporaneamente a Zahavi, ma in un contesto di ricerca diverso (filosofia analitica della mente), Strawson caratterizza il sé come una entità esperienziale minima. Secondo Strawson l'accesso al sé avviene attraverso l'introspezione, osservando i propri stati mentali. Il sé minimale introspezione è un mero «*locus della coscienza*» (STRAWSON 1999, p. 492), il portatore di una mentalità vissuta a breve termine priva di durata e, quindi, di storia personale.

² Come sostenuto da Zahavi e Rochat (2017): «la ricerca fetale dimostra che entro la ventesima settimana di gestazione (a metà della gestazione), i feti umani mostrano segni di esperienza del dolore. Mostrano risposte autonome "evitanti" stimoli avversi. Inoltre, gran parte dell'apprendimento avviene durante l'ultimo trimestre di gestazione. Tale apprendimento viene messo in atto dai neonati che, per esempio, subito dopo la nascita prediligono l'odore del liquido amniotico della propria madre. I dati empirici richiamano un sé affettivo minimale» (p. 67).

³ Nel delirio relativo al senso di proprietà del corpo noto come somatoparafenìa l'individuo nega la proprietà di un arto o di un intero lato del corpo. Cfr. VALLAR & RONCHI 2009.

⁴ Come osserva Carbon (2014), la costruzione percettiva consiste nella costituzione di significati oggettivi in assenza di un'adeguata base di dati affettivi e/o sensoriali. Nel completare la lettura di una pagina di giornale su cui è stato versato del caffè il lettore costruisce, per lo meno in parte, il percolato visivo, interpretando come significative forme visive prive di significato (parole stampate ricoperte da macchie di caffè) tramite immaginazione, ragionamento inferenziale e altre funzioni psichiche all'occasione suppletive rispetto alla funzione della percezione visiva.

⁵ Nell'IMG sono coinvolti vista e tatto: il soggetto partecipante all'esperimento osserva una mano di gomma che viene accarezzata contemporaneamente alla sua mano, che è nascosta alla vista. Molti partecipanti riferiscono di provare sensazioni tattili localizzate non sulla mano reale che viene accarezzata, ma su quella di gomma. Riferiscono anche di sentire la mano di gomma come se fosse la loro – in altre parole, come una parte del corpo naturale. In termini simili, l'ISC, in cui il partecipante scambia il proprio corpo con uno artificiale, è suscitata da stimolazioni tattili-visive sincrone. Lo stato illusorio viene generato grazie all'utilizzo di un manichino umanoide, manipolando in questo caso anche la prospettiva visiva del partecipante.

⁶ Basandosi sull'ISC, Blanke e Metzinger (2009) mostrano, per esempio, che il senso di proprietà del corpo è costitutivo del sé, a differenza del senso di agenzialità corporea, che «appartiene solo allo sfondo causale del sé fenomenico minimale» (p. 8).

⁷ Aspetti di continuità fra le due prospettive del bio-normativismo e del costruttivismo sociale possono essere individuati a partire da una riflessione sulla complessità della descrizione fenomenologica del corpo, riflettendo in particolare sulla costituzione corporea nel vissuto di empatia. L'elemento normativo che regola la plasticità dei confini corporei non deve necessariamente essere o individuale o sociale. In questo caso, la normatività può configurarsi come una normatività empatica vissuta dall'individuo nell'altro come *alter ego*, co-

me un qualcuno differente ma simile a me – per esempio, quale soggetto corporeo.

⁸ Questo articolo non tratta il tema oggi molto dibattuto dell'intenzionalità della macchina. Possono le macchine (digitali) generare e/o esprimere significati indipendentemente dal progettatore e dall'utilizzatore umani? Se sì, come in quale modo? Per un'analisi approfondita di tali questioni cfr. BRIER 2008.

⁹ L'osservatore esterno gioca un ruolo fondamentale nella scienza moderna. Galileo ha introdotto questa figura come quadro di riferimento della realtà oggettiva indagata.

¹⁰ Come è stato osservato, «i pazienti sottoposti ad un potenziamento biosintetico eseguono la costituzione passiva come un processo iperstrutturato. L'iperstrutturazione è dovuta all'intreccio di dati visivi e propriocettivi derivati dall'oculomozione ripristinata con dati mnemonici e immaginativi prodotti da una sorta di memoria evanescente legata, rispettivamente, alla visione e alle immagini mentali. I dati mnemonici riguardano un senso di "assenza" avvertito dai pazienti nello stato anormale di cecità, un senso che contrasta con l'eccesso di immagini visive suscitato dal ripristinato stato funzionale» (PROPERZI 2022, p. 111).

Riferimenti bibliografici

- AAS, S. (2021). *Prosthetic embodiment*. In: «Synthese», vol. CXCVIII, n. 7, pp. 2193-2222.
- BEDORF, T. (2017). *Selbstdifferenz in Praktiken: Phänomenologie, Anthropologie und die korporale Differenz*. In: «Phänomenologische Forschungen», vol. II, pp. 57-75.
- BLANKE, O., METZINGER, T. (2009). *Full-body illusions and minimal phenomenal selfhood*. In: «Trends in Cognitive Science», vol. XIII, n. 1, pp. 7-13.
- BRIER, S. (2008). *Cybersemiotics: Why information is not enough!*, Toronto University Press, Toronto.
- CARBON, C.-C. (2014). *Understanding human perception by human-made illusions*. In: «Frontiers of Human Neuroscience», vol. VIII, Art. Nr. 566 – doi: 10.3389/fnhum.2014.00566.
- CIAUNICA, A., CRUCIANELLI, L. (2019). *Minimal self-awareness: From within a developmental perspective*. In: «Journal of Consciousness Studies», vol. XXVI, n. 3-4, pp. 207-226.
- CIAUNICA, A., FOTOPOULOU, A. (2017). *The touched self: Psychological and philosophical perspectives on proximal intersubjectivity and the self*. In: C. DURT, T. FUCHS, C. TEWES (eds.), *Embodiment, enaction, and culture: Investigating the constitution of the shared world*, MIT Press, Cambridge (MA), pp. 173-192.
- DE PREESTER, H. (2011). *Technology and the body: The (im)possibilities of re-embodiment*. In: «Foundations of Science», vol. XVI, n. 2, pp. 119-137.
- DE PREESTER, H. (2012). *Technology and the myth of "natural man"*. In: «Foundations of Science», vol. XVII, n. 4, pp. 385-390.
- DE PREESTER, H., TSAKIRIS, M. (2009). *Body-extension versus body-incorporation: Is there a need for a body-model?*. In: «Phenomenology and the Cognitive Sciences», vol. VIII, n. 3, pp. 307-319.
- DE VIGNEMONT, F. (2018). *Mind the body: An exploration of bodily self-awareness*, Oxford University Press, Oxford.
- DE VIGNEMONT, F., ALSMITH, A.J.T. (2017). *The subject's matter: Self-consciousness and the body*, MIT Press, Cambridge (MA).
- DIEGUEZ, S., LOPEZ, C. (2017). *The bodily self: Insights from clinical and experimental research*. In: «Annals of Physical and Rehabilitation Medicine», vol. LX, pp. 198-207.
- FAGERHOLM, P., LAGALI, N.S., MERRETT, K., JACKSON, B., MUNGER, R., LIU, Y., POLAREK, J.W., SÖDERQVIST, M., GRIFFITH, M. (2010). *A biomimetic alternative to human donor tissue for inducing corneal regeneration: 24-Month follow-up of a phase 1 clinical study*. In: «Tissue Engineering», vol. II, n. 46, pp. 46-61.
- FERRI, F. (2013). *The bodily self*. In: «Reti, Saperi, Linguaggi», vol. IV, n. 1, pp. 22-31.
- FROESE, T. (2014). *Bio-machine hybrid technology: A theoretical assessment and some suggestions for improved design*. In: «Philosophy of Technology», vol. XXVII, n. 4, pp. 539-560.
- FROESE, T., ZIEMKE, T. (2009). *Enactive artificial intelligence: Investigating the systemic organization of life and mind*. In: «Artificial Intelligence», vol. CLXXIII, n. 3-4, pp. 466-500.
- GALLAGHER, S. (2000). *Philosophical concepts of the self: Implications for cognitive sciences*. In: «Trends in Cognitive Sciences», vol. IV, n. 1, pp. 14-21.
- GALLAGHER, S., ZAHAVI, D. (2020). *The phenomenological mind. Third edition*, Routledge, London.
- GU, L., PODDAR, S., LIN, Y., LONG, Z., ZHANG, D., ZHANG, Q., SHU, L., QIU, X., KAM, M., JAVEY, A., FAN, Z. (2020). *A biomimetic eye with a hemispherical perovskite nanowire array retina*. In: «Nature», vol. DLXXXI, n. 7808, pp. 278-282.
- HEINÄMAA, S. (2021). *On the transcendental undercurrents of phenomenology: The case of the living body*. In: «Continental Philosophy Review», vol. LIV, n. 1, pp. 237-257.
- HUSSERL, E. (2002). *Idee per una fenomenologia pura e per una filosofia fenomenologica, vol. II: Ricerche fenomenologiche sopra la costituzione*, a cura di V. COSTA, traduzione di E. FILIPPINI, Einaudi, Torino (edizione originale: *Ideen zu einer reinen Phänomenologie und phänomenologischen Philosophie. Zweites Buch: Phänomenologische Untersuchungen zur Konstitution*. In: E. HUSSERL, *Gesammelte Werke*, Band IV, hrsg. von M. BIEMEL, Springer, Dordrecht 1991).
- IHDE, D. (2002). *Bodies in Technology*, University of Minnesota Press, Minneapolis (MN).
- ISAACSON, A., SWIOKLO, S., CONNON, C.J. (2018). *3D bioprinting of a corneal stroma equivalent*. In: «Experimental Eye Research», vol. CLXXIII, pp. 188-193.
- JENSEN, R.T., MORAN, D. (eds.) (2013), *The phenomenology of embodied subjectivity*, Springer, Dordrecht.
- LACKNER, J. (1988). *Some proprioceptive influences on the perceptual representation of body shape and orientation*. In: «Brain», vol. 111, pp. 281-297.
- LEGRAND, D. (2010). *Myself with no body? Body, bodily-consciousness and self-consciousness*. In: D. SCHMICKING, S. GALLAGHER (eds.) (2010). *Handbook of phenomenology and cognitive science*, Springer, Dordrecht, pp. 181-200.
- LONGO, M.R., SCHÜÜR, F., KAMMERS, M.P.M., TSAKIRIS, M., HAGGARD, P. (2009). *Self-awareness and the body image*. In: «Acta Psychologica», vol. CXXXII, n. 2, pp. 166-172.
- MENCIASSI, A., TAKEUCHI, S., KAMM, R.D. (2020). *Bio-hybrid systems: Borrowing from nature to make better*

- machines*. In: «APL Bioengineering», vol. IV, n. 2, Art. Nr. 020401 – doi: 10.1063/5.0014918.
- METZINGER, T. (2009). *The ego-tunnel. The science of the mind and the myth of the self*, Basic Books, New York.
- NORTHOFF, G. (2018). *The spontaneous brain: From the mind-body to the world-brain problem*, MIT Press, Cambridge (MA).
- PRINZ, W. (2012). *Open minds: The social making of agency and intentionality*, MIT Press, Cambridge (MA).
- PROPERZI, M. (2022). *Meaningful human-machine interaction: Some suggestions from the perspective of augmented intelligence*. In: «Studia UBB. Philosophia», vol. LXVII, n. 2, pp. 101-112.
- ROCHAT, P. (2004). *The emergence of self-awareness as co-awareness in early child development*. In: D. ZAHAVI, T. GRÜNBAUM, J. PARNAS (eds.), *The structure and development of self-consciousness*, John Benjamins Publishing, Amsterdam/Philadelphia (PA), pp. 1-20.
- SHAO, Z., TAO, T., XU, H., CHEN, C., LEE, I.-S., CHUNG, S., DONG, Z., LI, W., MA, L., BAI, H., CHEN, Q. (2021). *Recent progress in biomaterials for heart valve replacement: Structure, function, and biomimetic design*. In: «View», vol. II, n. 6, Art. Nr. 20200142 – doi: 10.1002/VIW.20200142.
- STRAWSON, G. (1999). *The self and the SESMET*. In: «Journal of Consciousness Studies», vol. VI, n. 4, pp. 99-135.
- TACCHETTI, A., ISIK, L., POGGIO, T. (2018). *Invariant recognition shapes neural representations of visual input*. In: «Annual Review of Vision Science», vol. IV, pp. 403-422.
- TSAKIRIS, M. (2010). *My body in the brain: A neurocognitive model of body-ownership*. In: «Neuropsychologia», vol. XLVIII, n. 3, pp. 703-712.
- VALLAR, G., RONCHI, R. (2009). *Somatoparaphrenia: A body delusion. A review of the neuropsychological literature*. In: «Experimental Brain Research», vol. CXCII, n. 3, pp. 533-551.
- VERBEEK, P.-P. (2008). *Cyborg intentionality: Rethinking the phenomenology of human-technology relations*. In: «Phenomenology and the Cognitive Sciences», vol. VII, n. 3, pp. 387-395.
- WHITCHER, J.P., SRINIVASAN, M., UPADHYAY, M.P. (2001). *Corneal blindness: A global perspective*. In: «Bulletin of the World Health Organization», vol. LXXIX, n. 3, pp. 214-221.
- ZAHAVI, D. (1999). *Self-awareness and alterity. A phenomenological investigation*, Northwestern University Press, Evanston (IL).
- ZAHAVI, D. (2005). *Subjectivity and selfhood: Investigating the first-person perspective*, MIT Press, Cambridge (MA).
- ZAHAVI, D. (2014). *Self and other: Exploring subjectivity, empathy, and shame*, Oxford University Press, Oxford.
- ZAHAVI, D. (2015). *Self and other: From pure ego to co-constituted we*. In: «Continental Philosophy Review», vol. XLVIII, n. 2, pp. 143-160.
- ZAHAVI, D., KRIEGEL, U. (2016). *For-me-ness: What it is and what it is not*. In: D.O. DAHLSTROM, A. ELPIDOROU, W. HOPP (eds.), *Philosophy of mind and phenomenology: Conceptual and empirical approaches*, Routledge, London, pp. 36-53.
- ZAHAVI, D., ROCHAT, P. (2017). *Embodied mentalization and selfhood: Commentary on “Mentalizing homeostasis: The social origins of interoceptive inference” by Fotopoulou and Tsakiris*. In: «Neuropsychologia», vol. XIX, n. 1, pp. 67-69.
- ZHANG, B., XUE, Q., LI, J., MA, L., YAO, Y., YE, H., CUI, Z., YANG, H. (2019). *3D bioprinting for artificial cornea: Challenges and perspectives*. In: «Medical Engineering & Physics», vol. LXXI, pp. 68-78.