

# PROSPETTIVE EVOLUZIONISTE NELL'EMBODIED COGNITION IL CERVELLO «INQUILINO DEL CORPO»

Antonino Pennisi

## **Evolution and Perspectives of Embodied Cognition. The Brain as a Tenant of the Body**

One of the classic problems of philosophy – the mind-body problem – has been revised by issues of «embodied cognition» primarily as a part of cognitive science. However, the division of this field of study in a series of internal approaches – the famous 4E cognitions: embedded, embodied, enacted, extended (Rowlands 2010, 51 ss.) which are often in contradiction each other – shows that the issue of embodied cognition continues to remain more a common background of problems rather than a set of solutions, at least for the moment. I think this sort of theoretical impasse is determined by the difficulty showed by of the cognitive core of the theory of mind to adopt a rigorous evolutionary perspective. In this paper I will try to prove that without adopting such a perspective, it's hard to solve the theoretical problems that embodied cognition drags itself.

**Keywords:** embodied cognition, evolutionism, mind-body problem, externalization.

«Etenim, quid Corpus possit, nemo hucusque determinavit, hoc est, neminem hucusque experientia docuit, quid Corpus ex solis legibus naturæ, quatenus corporea tantum consideratur, possit agere, & quid non possit, nisi a Mente determinetur. Nam nemo hucusque Corporis fabricam tam accurate novit, ut omnes ejus functiones potuerit explicare [...]. Quod satis ostendit, ipsum Corpus ex solis suæ naturæ legibus multa posse, quæ ipsius Mens admiratur»

(B. Spinoza, *Ethica Ordine Geometrico Demonstrata*, 1677:1320)

«Nessuno ha sinora determinato le capacità del corpo. L'esperienza non ha insegnato a nessuno che cosa, per le leggi della natura considerata solo in quanto corporea, il corpo possa e che cosa non possa, senza essere determinato dalla mente. Nessuno, infatti, conosce sinora la struttura del corpo così esattamente da poterne spiegare tutte le funzioni [...]. Il che dimostra abbastanza che il corpo, per le sole leggi della sua natura, può molte cose che suscitano la meraviglia della sua mente»

(Spinoza, *Ethica Ordine Geometrico Demonstrata*, 1677:1321)

Il deficit teorico segnalato più di tre secoli fa da Baruch Spinoza domina ancor oggi la filosofia della mente e le neuroscienze contemporanee. In particolare quell'insieme di studi che è stato rubricato proprio sotto il nome di «embodied cognition» sembra esser sorto per dare una risposta all'esigenza di definire le possibilità e i limiti della conoscenza corporea nel contesto di una nuova teoria della mente. I diversi modi in cui esso ha riempito e riempie tuttora di contenuti questa risposta non ha, tuttavia, dato vita a esiti definitivi. Lo sfrangiarsi di questo ambito di studi in una serie di articolazioni e sotto-articolazioni interne – le ormai famose *4E cognitions: embedded, embodied, enacted, extended* (Rowlands 2010, 51 ss.) – spesso in contraddizione tra loro, dimostra come, almeno per il momento, il tema della cognizione incarnata continui a restare più un comune sfondo di problemi che un insieme di soluzioni. Ritengo che questa sorta di stallo teorico sia determinato dalla mancata apertura del *cognitive core* della teoria della mente incarnata verso una rigorosa prospettiva evoluzionista. Cercheremo di contribuire a dimostrare in questo saggio che senza adottare tale prospettiva sarà molto difficile uscire dalle secche in cui è rimasta incagliata la nave della filosofia contemporanea della mente incarnata.

## I. LE ORIGINI DEL CEREBROCENTRISMO

Le scienze cognitive nascono come reazione all'egemonia comportamentista di metà Novecento. Nella celebre recensione al *Verbal Behavior* di Skinner (1959), Chomsky affermò per la prima volta in linguistica l'idea che descrivere i comportamenti e i modi di funzionamento del linguaggio non significa spiegarli. Più precisamente affermò l'idea che una teoria linguistica non può spiegare il suo oggetto di studi attraverso la ricognizione e la registrazione degli stimoli e delle risposte dei parlanti, ma che occorre

conoscere a fondo la struttura interna dell'organismo e i modi in cui elabora le informazioni e organizza i suoi comportamenti [...]: prodotto complicato di una struttura innata, di un processo di maturazione geneticamente determinato e dell'esperienza passata (Chomsky 1967, 142-143).

La svolta cognitiva impressa non solo alla linguistica ma a tutta la cultura scientifica del Novecento dall'omicidio del comportamentismo è uno di quei punti di non ritorno che caratterizzano la storia

della scienza. In questo certificato di nascita delle scienze cognitive si trova già espressa, tuttavia, la contraddizione fondamentale tra una filosofia internista e computazionalista della mente (la «black box» che elabora le informazioni provenienti dall'esterno) e la natura biologica ed evolutiva codificata attraverso la struttura filogenetica e realizzata negli individui attraverso la ricapitolazione ontogenetica.

Nell'ansia di liberarsi definitivamente dal comportamentismo, il paradigma delle scienze cognitive ha finito, tuttavia, con l'approfondire più il primo che il secondo obiettivo del manifesto chomskiano. La ricerca della struttura computazionale del funzionamento mentale ha attribuito un'importanza euristica sempre maggiore al ruolo del cervello svalutando proporzionalmente il contributo delle componenti sensomotorie dell'organismo vivente nella formazione dei processi cognitivi. Per Chomsky (2005, 10), ad esempio, il SM («sensorimotor system») e il CI («conceptual-intentional system»), ovvero i correlati morfologici e semantici del linguaggio, sono considerati semplici dispositivi di esternalizzazione («externalization device»), non specifici della GU e «language-independent» (*ibidem*). In una recente metafora egli li assimila a pure periferiche di output: «Come una *stampante attaccata a un computer*, più che come una CPU del computer» (Berwick, Chomsky 2016, 35, cfr. anche pp. 72 e 108).

Questa infelice metafora, che ritorna quasi cinquanta anni dopo la nascita del paradigma mentalista, incarna plasticamente la vecchia e mai sopita ipotesi dell'I.A. che aveva fatto dell'arbitrarietà dei simboli e della delegittimazione teorica dei processi di istanziazione delle procedure software in un hardware specifico i capisaldi del primo computazionalismo cognitivo. Per i sostenitori dell'I.A. forte (Woods, Winograd, Marcus, Hirst e tanti altri) ad esempio, erano ugualmente insignificanti la natura dei simboli usati, l'hardware che li manipola, il rapporto che collega i simboli alla loro interpretazione (Haugeland 1983, 10): il vero problema della simulazione dell'intelligenza stava nella struttura del software, nelle regole di elaborazione sintattica dei simboli. Una vera e propria riesumazione del modello di Turing:

per capire il modello di Turing del cervello, era cruciale rendersi conto che esso considerava la fisica e la chimica, incluse tutte le argomentazioni della meccanica quantistica [...], come essenzialmente irrilevanti. Dal suo punto di vista, la fisica e la chimica erano rilevanti solo in quanto sostanziano l'elemento che incorporava «stati» discreti, «lettura» e «scrittura». Soltanto lo schema logico di questi «stati» poteva essere realmente

rilevante. L'affermazione era che qualsiasi cosa che un cervello facesse, lo faceva in virtù della sua struttura in quanto sistema logico e non perché fosse nella testa di una persona, o fosse un tessuto spugnoso costituito da un tipo particolare di formazione biologica cellulare (Hodges 1983, 16).

Chomsky, ancor oggi, impone l'argomentazione artificialista all'interno di una biolinguistica senza più alcun connotato naturalistico (cfr. Pennisi, Falzone 2016). I sistemi di esternalizzazione di apprendimento e produzione vocale e quelli semantico-concettuali non hanno nulla a che vedere né con la definizione funzionale di una struttura morfologica specie-specifica né con i problemi di ricostruzione del quadro evolutivo. L'arbitrarismo computazionale si sposa con i principi di qualunque sistema semiotico e non è in alcun modo specie-specificamente connesso al linguaggio verbale: «l'esternalizzazione – infatti – può essere apparentemente realizzata tramite qualsiasi modalità sensoriale – suono, segno, o tatto» (Berwick, Chomsky 2016, 15). In particolare – secondo Chomsky – l'arbitrarietà dei processi di esternalizzazione sembrerebbe ben dimostrata dagli studi di lingua dei segni negli ultimi anni secondo cui

le proprietà strutturali delle lingue segnate e parlate sono molto simili. Inoltre, l'acquisizione segue lo stesso corso in entrambi, e la localizzazione neurale sembra essere simile. Ciò tende a rafforzare la conclusione che il linguaggio è ottimizzato per il sistema di pensiero, e che la modalità di esternalizzazione sia secondaria (*ibidem*, 70-71).

Le posizioni di Chomsky appaiono estremizzate ma riflettono fedelmente, in linguistica, l'orientamento cerebrocentrico generale di buona parte delle neuroscienze computazionali: ovvero di un paradigma ancora assai vitale nelle scienze cognitive contemporanee che vede nel cervello, e solo nel cervello, il principio esplicativo delle capacità mentali di uomini, animali e macchine e nel resto del corpo un principio esclusivamente esecutivo. Susan Hurley (2001) esemplifica questa idea utilizzando la metafora del «modello a sandwich»: in sostanza nei modelli cognitivisti tradizionali alla mente viene garantito il ruolo «più alto» di elaboratore delle informazioni mentre alla percezione spetta l'incarico di trasportare gli input e all'azione viene assegnato il solo compito dell'esibizione, dell'output dalla mente al mondo. Lawrence Shapiro (2004, 165 ss.) ha chiamato «*separability thesis*» l'ipotesi primaria delle neuroscienze cognitive secondo cui «dalla conoscenza delle proprietà mentali è impossibile predire le

proprietà dei corpi. Quindi, una mente come quella umana può esistere in corpi con proprietà molto diverse» (167). Da qui a convalidare la metafora del «cervello nella vasca» immaginata da Putnam (1981) per confutare l'illusione cartesiana del *sogno integrale della macchina* il passo è breve.

## 2. IL RUOLO DELL'«EMBODIED COGNITION»

Se qualcosa ha davvero dimostrato il paradigma dell'*embodied cognition*, al di là di qualsiasi differenziazione interna, è che nessuna intelligenza naturale può essere concepita come un cervello in una vasca, rappresentando, in tal modo, un possente movimento di profonda trasformazione delle scienze cognitive e della filosofia della mente.

Per la verità anche prima dell'*embodied cognition* è esistita una robusta tradizione filosofica e scientifica basata sulle proprietà conoscitive del corpo. La biolinguistica di Aristotele (cfr. Lo Piparo 2003), il panteismo filosofico di Lucrezio e della tradizione rinascimentale, la «nuova scienza dell'immaginazione» di Vico (cfr. Verene 1981) e la teoria della mente di Spinoza (Damasio 2003) costituiscono, ad es., alcuni eccellenti esempi, tra i tanti, di una filosofia della biologia fondata sulla centralità delle facoltà corporee e sulla stretta integrazione fra sistemi sensomotori e sistemi cognitivi. Non mi posso soffermare su questi interessanti modelli per ovvi motivi di spazio. Basterà qui ricordare come non si tratta di casi episodici ma di un vero e proprio paradigma naturalistico che si è sviluppato parallelamente alle prospettive physicaliste, idealistiche o matematizzanti – da Platone, a Cartesio a Chomsky – senza mai confondersi con esse, anzi rappresentandone l'alternativa epistemologica più importante nella storia delle idee prima dell'avvento delle neuroscienze. Si tratta anche, come vedremo in conclusione, di un pensiero implicitamente evoluzionista (o pre-evoluzionista) che ha cominciato oggi ad incontrarsi con le scienze cognitive e le neuroscienze senza ancora ispirare, tuttavia, una vera e propria teoria scientifica.

Il motivo di questo faticoso avvio di dialogo è che, in tutti questi casi, si tratta di filosofie della mente incarnata ma maturate in un mondo non ancora «tecnicamente» cerebrocentrico. Il caso di Aristotele è certamente il più eclatante. «Tutto della biologia non è che una nota a piè di pagina di Aristotele» scriveva iperbolicamente John Moore (1993, 33). Eppure nella grande sintesi biologica aristotelica, oggi fortemente

rivalutata in ambito scientifico (Gotthelf, Lennox 1987; Falcon 2005; Leunissen 2010; Gotthelf 2012; Tipton 2014), estremamente precisa e profonda nelle osservazioni e nelle ricostruzioni dell'ontologia cognitiva degli animali, fa scalpore un piccolo sconcertante particolare: l'assenza di ogni ruolo attivo del cervello. Sappiamo, infatti, dalla storia delle neuroscienze (Wickens 2014, 28 ss.; Gross 1998; Clarke, Dewhurst 1974) che la prima scoperta di una rete estesa dei nervi che collegano qualsiasi parte periferica al sistema nervoso centrale fu intuata dagli anatomisti alessandrini Erofilo ed Erasistrato (250-300 a.C.) solo dopo che la pratica della dissezione dei cadaveri – rigoroso tabù nella Grecia aristotelica – divenne permessa per un breve periodo di tempo. Da quelle antiche tracce Galeno (129-199 a.C.) arrivò a scoprire i nervi cranici e il tracciato del sistema nervoso centrale collocando a riposo l'imbarazzante ipotesi cardiocentrica di Aristotele che lo faceva «arrossire nel citararlo» (Gross 1998, 19), quando doveva spiegare agli studenti i principi della sua biologia. È vero, d'altro canto, che Vico, Spinoza, e, in generale, l'intero pensiero anticartesiano della filosofia moderna poteva già prendersela con l'antesignano del mentalismo, la dottrina dualistica che separava la *res extensa* dalla *res cogitans*. Nulla, tuttavia, di lontanamente paragonabile alla «*separability thesis*» delle neuroscienze cognitive contemporanee le quali, è bene ricordarlo, non fanno e non potrebbero mai fare ricorso nello spiegare i fenomeni mentali a qualcosa di diverso dal corpo stesso, seppur incarnato quasi esclusivamente nel cervello. Nessun cognitivista che si rispetti può mai dimenticare che il cervello è comunque un pezzo di corpo. Le antiche filosofie della mente incarnata, seppure si siano potute servire di un quadro epistemologico favorevole perché libero dall'ipotesi cerebrocentrica, non possono, quindi, che aspirare a svolgere oggi un ruolo di semplice sostrato ideale delle teorie scientifiche. Una miniera di spunti filosofici che, tuttavia, non può da sola rispondere alla necessità di costruire un quadro sperimentale e speculativo adatto a spiegare in termini non più dualistici il rapporto mente-corpo. Nell'era delle neuroscienze computazionali il paradigma delle teorie contemporanee basate sull'*embodied cognition* non può essere, insomma, una nuova filosofia della mente ma un ramo tecnico delle scienze cognitive.

In un certo senso le filosofie della mente incarnata hanno cercato di realizzare questa aspirazione a volte perseguendola intenzionalmente, altre volte considerandola implicita.

L'enattivismo (*enacted cognition*), ad esempio, ha esplorato in profondità le risorse performative degli organismi biologici, la loro ca-

pacità di sviluppare attività, a partire da quella motoria, attingendo anche a una prospettiva evuzionista. Secondo Alva Noë, ad esempio, «il vedere non è qualcosa che avviene dentro di noi. Non è qualcosa che accade a noi o nei nostri cervelli. È piuttosto qualcosa che facciamo. Si tratta di un'attività di esplorazione del mondo resa possibile dalla nostra familiarità pratica con i modi in cui i nostri movimenti guidano e modulano il nostro incontro sensoriale con il mondo» (Noë 2009, 64-65). Molti studi sui sistemi visivi, in particolare degli insetti, hanno dimostrato questa intuizione. L'occhio della mosca, ad es., si è selezionato seguendo da vicino il caratteristico moto zigzagante del suo volo grazie, probabilmente, alla struttura di fotorecettori visivi capaci di fornire una risposta velocissima e diretta al sistema nervoso (Hardie 2012; Hardie, Raghu 2001; Hardie, Juusola 2015). Allo stesso modo anche gli altri repertori sensoriali, uditivi, olfattivi o tattili, sarebbero causati «da configurazioni di interdipendenza sensorimotoria del tutto diverse. [...] Le modalità sensoriali sono veri e propri stili di esplorazione del mondo» (Noë 2009, 65). La peculiarità della posizione enattivista è data dalla sua capacità di giungere alle formulazioni più radicali di una filosofia della mente incarnata: quella, cioè, che propone brutalmente di considerare il corpo e le sue attività sensomotorie come veri e propri vincoli dell'attività cognitiva (Menary 2006). Nelle tesi più estreme come l'approccio dinamico alla cognizione di Chemero (2009) o i modelli post-artificialisti di R. Brooks (1991; 2002) questa tendenza rischia di configurarsi come una prospettiva neo-comportamentista che privilegia l'autoorganizzazione di sistemi in interazione continua.

Anche la teoria della mente incorporata (*embodied*) considera la cognizione come una funzione delle strutture biologiche. È possibile, quindi, come cerca di dimostrare Shapiro (2004; 2011), che una diversa strutturazione dei corpi possa dar vita a intelligenze diverse. La presenza di determinati tratti anatomici, ad esempio, o anche una loro grande o piccola differenza organizzativa nella meccanica funzionale che può realizzare performances o comportamenti vitali per la sopravvivenza o per la fitness degli organismi, è in grado di determinare profondi adattamenti cognitivi, mentali e forse anche culturali. Persino l'assenza, l'attenuazione o la perdita, di tratti geneticamente codificati può condurre a dispositivi cognitivi del tutto nuovi e imprevisi (Carroll 2006; Falzone 2014a, 2014b; Pennisi, Falzone 2011).

Diverso è il caso dell'*embedded cognition* e dell'*extended mind*. In queste due interpretazioni del paradigma della mente incarnata il

corpo, più particolarmente la sua dimensione strettamente biologica, è meno direttamente coinvolto. In particolare cambia l'oggetto di studio: non si cerca di capire com'è fatta la «tecnologia corporea» (Pennisi 2013a, 2013b, 2014a, 2014b, 161 ss.; Pennisi-Parisi 2013) che permette lo sviluppo di certe capacità cognitive, ma, semmai, di capire come le tecnologie digitali sviluppate a partire da certe capacità cognitive possano estendere i poteri del corpo. La mente è quindi «immersa» (*embedded*) in un contesto ambientale in cui operano agenti fisici, ecologici, culturali, unitamente a dispositivi digitali, che interagiscono tutti e co-evolvono con la coscienza individuale. Inoltre è «estesa» (*extended*) agli usi collettivi che allargano ben al di là della dimensione culturale dei singoli individui le potenzialità cognitive della mente umana (Rowlands 2003, 2010; Sheldrake 2003; Knappett, Malafouris 2008; Clark 2008, 2016; Menary 2010). Un caso tipico può essere considerato quello della memoria a breve termine che è stata fortemente condizionata dai progressi dell'informatica digitale determinando una drastica diminuzione delle capacità individuali a fronte di uno smisurato aumento di quelle collettive. Oppure dalle straordinarie prospettive aperte nell'*artificial life* in connessione con il gigantesco e non più misurabile incremento delle connessioni della rete globale.

Tutte queste declinazioni della mente incarnata, per quanto a volte incomparabili tra loro, hanno comunque contribuito ad intaccare, almeno sotto il profilo ideologico, il cerebrocentrismo delle neuroscienze computazionali. Dico sotto il profilo ideologico perché, in realtà, una teoria della mente incarnata non può neanche per un attimo omettere o dimenticare il fatto che il cervello – a differenza della mente – è comunque un organo del corpo. Ciò contro cui lotta, in realtà, l'*embodied cognition* è lo strapotere che viene conferito dalle neuroscienze cognitive ad un organo corporeo (il cervello) sugli altri organi corporei. Lotta, quindi, contro il fantasma del dualismo, di fatto ancora serpeggiante o inespresso in alcune teorie neuroscientifiche, ma, per lo più, ormai ai margini di tutte le filosofie naturalistiche che si ispirano al cognitivismo.

Se si limitasse ad una lotta contro il fantasma della mente nascosta dentro il cervello, il paradigma della mente incarnata, tuttavia, costituirebbe più l'ennesima ripetitiva critica filosofica al mentalismo che, come abbiamo già detto prima, l'edificazione costruttiva di un ramo tecnico delle scienze cognitive attorno al quale si può costruire un'ipotesi radicata nella struttura biologica degli individui e delle specie.

Per perseguire questa strada le alternative sono poche.

Una di queste, che è stata in generale la più battuta dal paradigma «incarnato», è quella di rifondare il dualismo su nuove basi tutte materialistiche: non più il corpo contro la mente ma quelle parti del cervello che si occupano delle funzioni superiori e calcolistiche contro quelle altre parti del corpo che si occupano delle funzioni percettive, motorie ed emozionali. Il cervello rettiliano, interno e primario contro il cervello corticale, esterno e secondario. L'attività razionale contro quella passionale, l'emisfero sinistro contro quello destro, il ruolo delle operazioni computazionali contro quello dei sentimenti, degli affetti, delle emozioni. È una soluzione che ha sedotto, come vedremo dopo, non solo molti filosofi ma anche diversi neuroscienziati che si rifanno all'eredità della «scienza romantica» di O. Sacks. Un genere di narrazione affascinante che esalta dualismi e dicotomie ma che non si presta a trasformarsi in programmi scientifici poiché, da un punto di vista biologico, tutte le facoltà animali provengono da uno stesso sistema fisiologico unitario: l'organismo vivente.

Un'altra soluzione può essere costituita dalla definizione sistematica dei tipi di vincoli biologici cui è sottoposto il cervello, in quanto specifica parte del corpo dell'organismo preposto a compiti di coordinamento e organizzazione globale degli input. Esisterebbero, in sostanza, una teoria dei vincoli biologici del resto del corpo (il sistema muscolare, scheletrico, respiratorio, digestivo, dei legamenti e dei rivestimenti, etc.), ed una teoria dei vincoli biologici del cervello. In questo caso occorrerebbe poi cercare di capire in che modo i due tipi di vincoli si condizionino a vicenda determinando effetti visibili nel comportamento cognitivo. Questo tipo di soluzione, tuttavia, pur essendo legittimamente percorribile e presentando non pochi aspetti positivi, non riuscirebbe nell'intento di dimostrare l'insostenibilità della «*separability thesis*» di Shapiro (2004). Di fatto studiando «in sincronia», quindi attraverso i metodi sperimentali tipici delle scienze cognitive, è davvero molto difficile, se non impossibile, capire dove comincia il ruolo del corpo-cervello e comincia quello del corpo-osseo o muscolare, o tissutale, etc. Sarebbe una sorta di fisicalismo applicato alla biologia, che resta, tuttavia, la scienza storico-naturale fondata sull'unità dell'organismo vivente e la sua intrinseca plasticità meccanica e neurocerebrale.

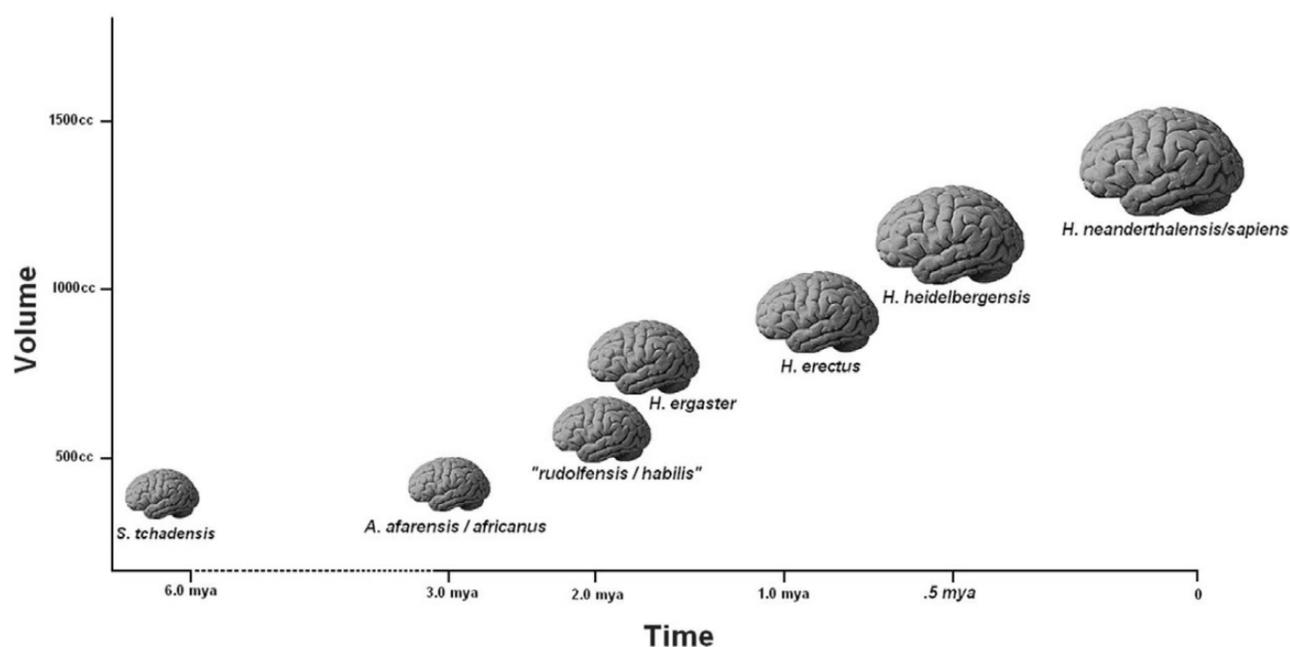


FIG. 1. Grafico dell'encefalizzazione; fonte: Bolhuis *et al.*, 2014.

Non resta quindi che un'ultima soluzione, quella di adottare una prospettiva radicalmente evuzionista, l'unica in grado di dare un senso causale alla cronologia interna delle trasformazioni corporee, alla loro virtuale «separability». È la strada che può farci capire l'unico possibile senso della distinzione tra ciò che viene prima e ciò che viene dopo, che è in grado di spiegare perché «il cervello è l'inquilino del corpo» (Leroi-Gourhan 1964).

### 3. IL CERVELLO «INQUILINO DEL CORPO»

L'efficace metafora è del fondatore della moderna paleoantropologia evuzionista: André Leroi-Gourhan che la usa per la prima volta in *Le geste et la parole. Technique et langage* del 1964, e che la ripeterà nella *Mécanique vivante* del 1983 (29):

Il cervello, il cui compito di coordinamento è evidentemente primordiale [...] funzionalmente si presenta come l'«inquilino» di tutto l'impianto del corpo (1964, 46).

Il cervello, modesto inquilino della cavità calvarica, rappresenta nell'insieme una parte meccanicamente passiva. [...] Su questo piano considero lo sviluppo del cervello come un elemento secondario dell'evoluzione generale» (*ibidem*, 57).

Per comprendere a fondo il senso del termine occorre ricordare che il suo autore è il primo studioso ad aver prospettato l'idea che anche l'evoluzione cognitiva, compresa la tecnologia litica umana e, più in generale, l'arte di modificare artificialmente la materia, è il risultato di una complessa trasformazione non solo dei cervelli ma di tutto l'organismo nel suo insieme a partire dall'apparato muscolo-scheletrico: «il punto di partenza dell'evoluzione umana non è stato il cervello ma i piedi» (Leroi-Gourhan 1964, 270).

Leroi-Gourhan voleva dimostrare che molte teorie evoluzioniste filosofiche o religiose – a partire da quelle del teologo Teilhard de Chardin, ma oggi diffuse anche in modelli modernissimi, come quelli schematizzati nella figura 1 – si erano incamminate, spesso involontariamente, verso un percorso finalistico abbracciando con poco spirito critico l'idea che l'evoluzione fosse caratterizzata da un progressivo aumento delle dimensioni del cervello che avrebbero causato un automatico sviluppo di sempre più complesse facoltà cognitive.

L'ipotesi finalistica che più si ingrandiscono i cervelli più si incrementa l'evoluzione cognitiva, secondo Leroi-Gourhan va invece sottoposta a profonde revisioni che devono tenere conto dell'inscindibile rapporto tra la morfologia strutturale degli organi meccanici, quella specifica del cervello e del sistema nervoso e quella degli adattamenti funzionali che rendono possibile la sopravvivenza delle specie. Ciò comporta la rinuncia al cerebrocentrismo imperante: «questo punto di vista «cerebrale» dell'evoluzione – scrive Leroi-Gourhan – oggi appare inesatto e sembra che esista una documentazione sufficiente a dimostrare che il cervello si è avvantaggiato dei progressi dell'adattamento locomotorio anziché provarli» (*ibidem*, 33).

Secondo un punto di vista puramente evoluzionista, lo sviluppo del cervello, non può mai essere la causa di quello del resto del corpo:

È impossibile, vedere nella forza di espansione del cervello il motore dell'evoluzione cranica come invece a volte è stato, almeno implicitamente, supposto. *L'aumento del numero delle cellule nervose non può essere antecedente all'ampliamento dell'edificio.* Anche ammettendo che espansione cerebrale e miglioramento spaziale dello scheletro costituiscono un fenomeno unico, *non si può fare a meno di ritenere che il cervello «segua» il movimento generale, ma non ne sia l'istigatore* (*ibidem*, 96).

Da un certo punto di vista questa nitida posizione sembra configurarsi come l'uovo di Colombo. Il motore di ogni cambiamento

evolutivo di grandi proporzioni va intanto ricercato nella storia dei mutamenti delle strutture meccaniche del corpo: ossa e muscoli. Le mutazioni genetiche che possono provocare queste variazioni saranno filtrate, ovviamente, dalla selezione popolazionale e quelli che sopravviveranno nel corso di moltissime generazioni avranno determinato un nuovo genotipo stabile e, al termine di una ristrutturazione morfogenetica completa, una nuova specie.

Nel caso della specie umana il punto di snodo attorno a cui ruota tutto questo complesso processo è il raggiungimento della stazione eretta. Essa provoca una serie di «catastrofi» a cascata:

- libera gli arti superiori instaurando un nuovo rapporto privilegiato tra questi e il cervello;
- aumenta le dimensioni della cassa cranica e del ventaglio corticale;
- rende possibile l'abbassamento della laringe e un tratto vocale sopralaringeo ricurvo a due canne con una proporzione 1:1 tra la prima e la seconda poste esattamente ad angolo retto;
- determina il cambiamento del campo anteriore e dell'orizzonte visivo.

A partire dai piedi, quindi, si sviluppa, a cascata, tutto il resto dell'organismo, compreso il cervello: *senza la rivoluzione ossea non sarebbe esistita la rivoluzione cognitiva.*

La liberazione delle mani ha permesso una raffinata tecnologia litica e, più in generale una tecnologia *tout court* sempre più precisa. Mani capaci di battere, tagliare, cucire, eseguire movimenti autonomi prima e poi micrometricamente controllabili da sempre più perfezionati ricablaggi sensomotori. Mani che smontano ordigni, orologi, dispositivi di precisione e che usano attrezzi grandi, piccoli e piccolissimi con un'accuratezza impensabile. Si aprono al cervello nuove possibilità di finalizzare aree corticali specifiche, divenute, infatti, estesissime nel sapiens moderno.

L'allargamento del ventaglio corticale allineato al *foramen* ha reso possibile l'accrescimento della massa cerebrale moltiplicando le possibilità di connessioni neurali. I sistemi di puro coordinamento e potenza di calcolo del cervello si sono estesi a dismisura.

La formazione del tratto vocale, consentita anche da un nuovo riassetto delle vie respiratorie, ha permesso la modulazione delle for-

manti e una sempre più precisa articolazione di elementi discreti che hanno consentito di comunicare con precisione e accuratezza spingendo al massimo la combinabilità e quindi la creatività verbale: trucco «segreto» della cognizione linguistica.

L'ampiamiento dell'orizzonte visivo ha eliminato, infine, i vincoli dei quadrupedi limitati nell'uso della vista dalla forma orizzontale del tronco rispetto alla testa, dall'inserzione dei muscoli del collo e dall'impossibilità di avere a disposizione una ampia rotazione degli assi visuali.

Insomma, per dirla ancora con Leroi-Gourhan, le condizioni dell'uomo «verticale» hanno provocato rivoluzioni nello «sviluppo neuropsichico che fanno dello sviluppo del cervello umano una cosa diversa dall'aumento del volume» (Leroi-Gourhan 1964, 27). Oggi sappiamo inoltre che assieme alle dimensioni del cervello gioca un ruolo fondamentale anche la sua più complessa morfologia interna. Cioè la girificazione corticale, l'iperconnettività, l'efficienza interneuronale, la lateralizzazione, anch'esse ereditate dai corpi sempre più sofisticati della storia degli ominidi (Rakic 2009; Garcia Moreno 2012; Clowry 2014).

Lungi, quindi, dall'essere meri dispositivi di esternalizzazione di algoritmi computazionali provenienti da una mente predestinata, le componenti meccaniche – ma più in generale tutto l'assetto corporeo, sensomotorio e macromolecolare dell'organismo – determinano in molti modi e direzioni quali saranno le nostre opportunità cognitive che il sistema neurocerebrale dovrà gestire nel migliore dei modi possibili.

#### 4. PERCHÉ CI SERVE UNA PROSPETTIVA EVOLUZIONISTA

Con Leroi-Gourhan ci troviamo in un territorio di mezzo.

Egli è già un protagonista della svolta evolucionista della cultura novecentesca, ma non ha ancora conosciuto l'egemonia delle neuroscienze cognitive contemporanee né gli sviluppi della moderna sintesi neo-darwiniana. Prima di lui – come abbiamo detto nel §.2 – il dibattito sul rapporto mente-corpo ha vissuto momenti importanti, ma quasi completamente liberi rispetto al dominio cerebrocentrico. Oggi, infine, l'idea di una scienza cognitiva incarnata si trova immersa in una strana prospettiva: quella dell'identificazione della corporeità con la

parte più «debole» della cognizione umana: il cervello emotivo, affettivo, percettivo, come negli affascinanti romanzi neurofilosofici di Antonio Damasio (1994; 1999; 2003), Joseph LeDoux (1998, 2003) Marta Nussbaum (2001) ma, per certi aspetti, anche nella filosofia della mente estesa (Robert Wilson, Andy Clark, David Chalmers) o nei tentativi neurofenomenologici di importanti filosofi come Alvar Noë, Shaun Gallagher o Dan Zahavi.

Cercherò in quest'ultima parte di chiarire perché ritengo non ancora sufficienti, per gli scopi che qui mi propongo, tutte queste prospettive che pure rappresentano un argine alla piena del cerebrocentrismo nelle scienze cognitive contemporanee. Dirò subito che, se non si considera la dimensione evoluzionista, la distinzione corpo-mente ed il rapporto di precedenza del primo sul secondo – così come è emerso nel modello di Leroi-Gourhan – non può più essere colto. Il limite, infatti di tutte le ipotesi contemporanee prima enunciate – che pure partono da filosofie dell'*embodied cognition* – è, a mio parere, quello di non cogliere *la causalità crono-logica del primato gradualistico dell'evoluzione delle strutture* (cioè del corpo) sul funzionamento a scatti velocissimi dei sistemi neurocerebrali. Senza una lenta evoluzione dei corpi non avremmo i rapidissimi cambiamenti dei sistemi cerebrali, poi mentali e, infine, culturali. Se ignorassimo l'essenza prima della teoria dell'evoluzione, che è quella di stabilire ciò che viene prima e ciò che viene dopo nella storia degli organismi, non potremmo mai capire la dialettica fra l'inesorabile lentezza del gradualismo delle strutture e la progressiva effimera rapidità dei cambiamenti cerebrali, mentali e culturali.

A nulla vale rivendicare l'importanza del corpo, delle emozioni, degli affetti, dei sentimenti, se non si comprende il ruolo che le parti strutturali dei nostri organismi (ossa, muscoli, nervi, pelle, etc.) hanno avuto sul percorso attraverso il quale si è formata una sede comune sia dei ragionamenti che delle emozioni: appunto il cervello. Questo ruolo non si può più cogliere – o si coglie solo con estrema difficoltà – negli stati sincronici nei quali i rapporti funzionali tra sistema sensorio-motorio e sistemi computazionali sono ormai completamente automatizzati. Si può dire che in questi stati di cose funzioniamo effettivamente come macchine che eseguono algoritmi biologici.

L'attività di tutte le specie animali è, tuttavia, interamente immersa in eventi ambientali che si affrontano senza disporre di tutte le informazioni e le istruzioni sufficienti ad eseguire azioni e mettere in

atto comportamenti che producano risultati efficaci. Per questo motivo la performatività enattiva è una struttura cognitiva dinamica che vive di continui cambiamenti e di una incessante pratica dialogica tra innovazione e stabilizzazione dei sistemi neuromotori e cognitivi. Ben presto dimentichiamo i percorsi con cui siamo arrivati ad automatizzare le nostre attività bio-cognitive. Correndo o giocando al calcio o andando in bicicletta nessuno si ricorda più di come abbiamo imparato a coordinare i nostri arti inferiori con le routines neurocerebrali che hanno portato a un set stabile di istruzioni locomotorie che non erano contenute nel nostro kit genetico innato. Tenendo una delle nostre elaborate lezioni, oppure leggendo il *Tractatus* di Wittgenstein o la *Divina Commedia* dantesca, nessuno di noi ricorda come abbiamo lottato contro le resistenze fisiologiche del nostro tratto vocale sopralaringeo per eseguire, a partire dai due anni, i percorsi performativi che hanno generato gli algoritmi delle nostre competenze fonetiche, sintattiche e semantiche, destinate col tempo ad accrescersi indefinitamente. È fatale, quindi, una volta maturata un'istanza corporea che si è completamente «mentalizzata» dimenticare – per dirla con Wittgenstein – la scala attraverso la quale siamo saliti sino a quel punto.

È solo studiando lo sviluppo ontogenetico che ci accorgiamo come la metafora del cervello inquilino del corpo sia una meccanica cognitiva concreta e misurabile. Ed è solo studiando l'evoluzione filogenetica delle strutture corporee che possiamo capire perché pensiamo, agiamo e immaginiamo in un certo modo e non in un altro. La nostra cognitività è *ab origine* incassata dentro la nostra evoluzione corporea. Come avremmo mai potuto sviluppare un cervello linguistico (e quindi simbolico, logico, rappresentazionale, formale, etc.) senza un tratto vocale *specie-specifico* che ci ha permesso – unico caso tra tutte le specie animali – di articolare suoni discreti, finiti e creativamente combinabili in un'infinità di modi? Come avremmo mai potuto sviluppare un cervello tecnomorfo senza un sistema muscolo-scheletrico che ci ha autorizzato la liberazione funzionale di arti superiori specie-specifici per realizzare micromovimenti precisissimi, esercitare forze muscolari differenziate per ogni singola falange, produrre protesi tecnologiche infinitamente complesse? Insomma nei processi evolutivi i sistemi cognitivi sono biologicamente, quindi indissolubilmente, vincolati ai sistemi corporei (strutturali). Il potere stesso della nostra immaginazione è sin dalla sua origine inseparabile dalla struttura dei nostri corpi e a ciò che essi consentono al nostro cervello.

Naturalmente, come abbiamo già visto nel § 2, anche il cervello è un pezzo del nostro corpo. Un altro «gancio di non ritorno» (Tomasello 1999) del pensiero scientifico è, infatti, il seppellimento dell'ipotesi dualistica che ha tormentato non solo il pensiero antico ma anche quello moderno: basti pensare alle imbarazzanti oscillazioni del Chomsky cartesiano (1968) che ha solo eluso il dualismo attraverso la scorciatoia mentalistica «aprendo un nuovo capitolo nella confusione tra pensiero e linguaggio» (Loritz 1999, 9). Di fatto – al di là dei residui inconsapevoli di *Intelligent Design* esibiti anche in molti esponenti del naturalismo contemporaneo (cfr. Pennisi, Falzone 2014) – dualismo e biologismo sono oggi totalmente incompatibili.

Il cervello, di fatto, produce una mente attraverso una complessa attività elettrofisiologica e biochimica che si comincia solo oggi a studiare con metodologie neuroscientifiche adatte. Questa mente può essere intesa come un sistema interconnesso di tecnologie corporee che inferisce, regola, coordina, organizza e connette insiemi di informazioni ed esperienze, formalizzandoli in schemi applicabili ai comportamenti. Questi schemi, o una parte di essi, possono forse essere simulabili da modelli computazionali e incorporabili in tecnologie applicate. In qualsiasi caso la storia degli schemi mentali, diversificati nell'ambiente antropico, geografico e sociale e distribuiti nel tempo e nello spazio, formano, infine, il *cognitive-core* della storia delle culture.

Sotto un profilo darwiniano tutti questi aspetti dell'evoluzione costituiscono un processo unitario: sono tutti momenti dell'evoluzione biologica analizzata a diversi stati di mediazione rispetto al susseguirsi delle trasformazioni corporee (strutturali). Tuttavia i tempi in cui si articolano questi differenti stati di mediazione sono molto diversi tra loro per la natura dei vincoli cui sono sottoposti.

Non tutti i vincoli biologici condividono, infatti, una medesima natura e rigidità e di conseguenza richiedono tempi di maturazione molto diversi nella storia evolutiva di qualunque specie. I vincoli strutturali che presiedono alle variazioni della forma richiedono processi selettivi lunghissimi e gradualissimi, poiché costringono ad una revisione degli assetti centrali del funzionamento degli organismi. I vincoli neurocerebrali che presiedono alla ricablatura continua degli interi organismi richiedono processi co-occorrenti alle selezioni strutturali e ne sono co-determinati. I vincoli mentali, le procedure computazionali derivanti dalla ricablatura neurocerebrale, seguono tempi di variazione più rapidi e mostrano una plasticità più accentuata dei primi,

dovendo adottare procedure adattative di continuo feedback con le strutture anatomiche e controlli neurocerebrali delle loro funzioni. I vincoli culturali che derivano dalla gestione sociale degli schemi mentali e dei comportamenti etologici, sono, infine, enormemente flessibili e cambiano in tempi evolutivamente impercettibili. Il tutto, però, costituisce una dinamica evolutiva unitaria, rozzamente esemplificata nella figura 2.

| Rapidità e peso dei cambiamenti rispetto a: | Stati |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    | n |
|---|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|---|
|   | 1     | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |   |
| Vincoli strutturali                         |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |   |
| Vincoli neurocerebrali                      |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |   |
| Vincoli mentali                             |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |   |
| Vincoli culturali                           |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |   |

FIG. 2. Schema sintetico di evoluzione degli stati cognitivi (fonte: elaborazione dell'autore).

È quindi certamente giusto dire che il cervello *inquilino-del-corpo* è, a sua volta, un pezzo di corpo. Ma si tratta di un pezzo con vincoli, strutture morfologiche, proprietà di adattamento e sviluppo diverse e molto più rapide da quelle di tutti gli altri pezzi di cui sono fatti gli organismi animali.

I nostri cervelli – scrivono Skoyles, Sagan (2002) sono assemblati nella materia grigia, non nella pietra; le loro parti sono predisposte ma non assolutamente allestite (formattate) per particolari funzioni. Sono costruiti con bioprocessori generici che, dopo essere stati originati, diventano specializzati in risposta ai loro ingressi e alle loro uscite – non con processori preevoluti e rigidamente indirizzati. È possibile che esista una protomappa tipica di default, ma questa è facilmente rimodulabile. Così, le abilità neurali possono essere predisposte, ma non sono mai fissate (26).

Questa differenza plastica strutturale, di natura citologica prima ancora che funzionale, tra quella parte di corpo che chiamiamo «cervello» e tutte le altre parti che in simbiotica interazione determinano la sopravvivenza e l'adattabilità degli organismi, riveste un'importanza

biologica decisiva sotto il profilo funzionale e, soprattutto, sotto quello evolutivo. Se il cervello e, più in generale, il sistema nervoso, dovesse essere sottoposto alla stessa lentezza di modificazione progressiva delle componenti meccaniche, gli organismi – infatti – non potrebbero sopravvivere. L'affermazione di quella che l'Evo-Devo contemporaneo chiama una «novelty», cioè una reale mutazione evolutiva, richiede, infatti, che durante la trasformazione dei diversi stati che portano all'affermarsi del nuovo vantaggio selettivo attraverso il ricambio del pool genico, l'organismo non muoia (Müller, Newman 2005; A. Wagner 2011; G. Wagner 2014; Love 2015; Pennisi, Falzone 2016). Ed un organismo che sta cambiando corpo deve essere continuamente assistito da un sistema neuro-cerebrale che senza tregua ne assicuri il radicamento senso-motorio e funzionale. Ciò richiede, a quest'ultimo, una rapidità negli adattamenti evolutivi mentali che solo la plasticità biologica specifica del cervello può assicurare. Come scriveva Henri Bergson il cervello è «l'organo dell'attenzione alla vita» (1916, 1210) sia dell'individuo che della specie (1913) o, per dirla con le parole più recenti del neuro-scienziato Vilyanur Ramachandran (2003), il cervello è sempre guidato dal «principio di isolamento modulare» che gli permette di fissarsi istantaneamente solo su ciò che occorre alla sopravvivenza.

L'evoluzione cerebrale è, quindi, così veloce perché il suo *loop* di monitoraggio continuo degli eventi sensomotori non può lasciare a lungo in balia dell'indeterminatezza performativa i comportamenti degli individui, pena la loro precarietà e lo stesso pericolo di estinzione senza l'intervento di un adattamento specifico a quel tipo di sollecitazione che proviene dall'attivazione del corpo modificato (da mutazioni endogene o inducibili da esigenze ambientali). I tempi di ricablaggio neurale e quelli dell'evoluzione strutturale sono incommensurabilmente diversi. Qualsiasi lieve modificazione corporea può richiedere milioni di anni, può passare per migliaia di stadi intermedi, contrassegnare una varietà di eventi evolutivi, palesi o silenti, ma, nel frattempo, sarà costantemente assistita, in ogni sua fase, dalla plasticità dei sistemi nervosi che non lasceranno scorrere neanche un attimo senza un'eternamente provvisoria riformattazione dei sistemi cognitivi nel loro complesso. La nascita di una nuova specie può essere immaginata come uno stato discreto di questo processo continuo, uno stadio contrassegnato dal raggiungimento di un nuovo e stabile assetto di tecnologia corporea ed ergonomia cognitiva. Tale stato non è iscritto in alcun processo storico prevedibile. La selezione naturale e la

variazione casuale popolazionale può aver modellato per un'enorme quantità di tempo le componenti meccaniche degli organismi sempre assistite dalla rifunzionalizzazione dei sistemi neuro-cerebrali. Solo quando queste strutture sagomate dal tempo e dall'ambiente, dall'uso individuale e socializzato, avranno raggiunto una certa combinazione casuale o, comunque, storicamente non prevedibile; quando una serie di ingranaggi biologici, leve, rotelle, camme, pistoni, lubrificanti e quant'altro possa supportare la meccanica vivente, si saranno incastrate tra loro in una struttura che permette agli organismi, grazie alla plasticità evolutiva dei sistemi nervosi, interazioni diverse col mondo, allora, e solo allora, un'inedita cognizione specie-specifica sarà entrata nella competizione con le altre specie.

Considerare la plasticità dei sistemi neuro-cerebrali come supporto permanente al continuum evolutivo delle strutture sino al raggiungimento di tappe discrete (le speciazioni) che costituiscono ganci di non-ritorno nella vita degli organismi biologici, può essere considerato un punto di partenza teorico davvero darwiniano, poiché riguarderebbe tutte le specie animali, indipendentemente dalla complessità dei loro sistemi cognitivi. Allo stesso modo potrebbe servire per spiegare anche la specificità, se non l'unicità funzionale di tutte le specie, non solo di quella umana. In altre parole la plasticità cerebrale sdrammatizzerebbe il quadro teorico evoluzionistico generale unificando in un solo processo ciò che le teorie hanno articolato e ramificato in dicotomie poco efficienti e coerenti (strutture/funzioni; natura/cultura; gradualità/saltismo; proprietà continue/proprietà emergenti, etc.).

Tutti questi vantaggi, tuttavia, pagano un significativo prezzo ad una nuova filosofia della biologia non più basata su modelli cerebrocentrici, come quelli ormai dilaganti per l'affermarsi delle neuroscienze all'interno della galassia cognitivista. I cervelli (i sistemi nervosi, più in generale) coprono infatti per intero la responsabilità di supportare senza tregua l'evoluzione delle strutture bio-meccaniche ma, proprio per questo, non possono determinarne le direzioni di sviluppo, né costituire la causa originaria delle loro funzioni d'uso. I cervelli non causano i cambiamenti evolutivi ma ne permettono l'affermarsi. I cervelli vengono sempre dopo i corpi.

È una specie di capovolgimento di ciò che abbiamo sempre pensato: l'«intelligente» cervello non crea i cambiamenti evolutivi ma assicura la loro sopravvivenza. L'«ottuso» corpo osseo crea i cambiamenti evolutivi senza saper a cosa mai serviranno. Se entrambi non

procedessero sempre in costante interazione l'organismo non giungerebbe a concretizzare il vantaggio evolutivo avviato con una mutazione genetica sempre casuale, cioè con l'imprevedibile variare della struttura dei corpi.

Potrebbe essere un buon punto di ripartenza per il paradigma della mente incarnata?

Antonino Pennisi  
Dipartimento di Scienze Cognitive  
Università degli Studi di Messina  
Via Concezione 6-8  
98122 Messina  
apennisi@unime.it

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Arthur B. (2009), *The Nature of Technology. What it is and How it Evolves*, New York, Free Press (citato da i-book); trad. it. *La natura della tecnologia. Che cos'è e come evolve*, Torino, Codice 2011.
- Bergson H. (1908), *Le souvenir du présent et la fausse reconnaissance*, in «Revue philosophique» 12, in Id., *L'énergie spirituelle. Essais et conférences*, Paris, PUF 1967; trad. it. *Il ricordo del presente e il falso riconoscimento*, in Id., *Il cervello e il pensiero*, a cura di M. Acerra, Roma, Editori Riuniti, 87-120.
- Bergson H. (1913), «*Fantômes de vivants*» et «*recherche psychique*», in Id., *Mélanges*, 1972, texte annoté par A. Robinet, Paris, PUF, trad. it., «*Fantasmii di viventi*» e «*ricerca psichica*», in Id., *Il cervello e il pensiero*, a cura di M. Acerra, Roma, Editori Riuniti, 50-68.
- Berwick R., Chomsky N. (2016), *Why only us. Language and evolution*, MIT Press, Cambridge.
- Bolhuis J., Tattersall I., Chomsky N., Berwick R. (2014), *How Could Language Have Evolved?*, in «Plos Biology», 12, 8, 1-6.
- Brooks R. (1991), *Intelligence Without Representation*, in «Artificial Intelligence», 47, 139-159.
- Brooks R. (2002), *Flesh and Machine: How Robots will change us*, New York, Pantheon.
- Carroll S. (2006), *The Making of the Fittest. DNA and the Ultimate Forensic Record of Evolution*, New York, Baror; trad. it., *Al di là di ogni ragionevole dubbio. La teoria dell'evoluzione alle prove dell'esperienza*, Torino, Codice 2008.
- Chemero A. (2009), *Radical Embodied Cognitive Science*, Cambridge, MA, MIT Press.

- Chomsky N. (1959), *A Review of B.F. Skinner's Verbal Behavior*, in L.A. Jakobovits, M.S. Miron (eds.), *Readings in the Psychology of the Language*, Prantice-Hall, 1967, 142-143.
- Chomsky N. (1968), *Language and Mind*, Harcourt Brace Jovanovich, Inc; trad. it., *Mente e linguaggio*, in *Saggi Linguistici*, vol. 3, Torino, Boringhieri 1977.
- Chomsky N. (1980), *Rules and Representations*, New York, Columbia University Press; trad. it., *Regole e rappresentazione*, Milano, Il Saggiatore, 1981.
- Chomsky N. (2005), *Three Factors in Language Design*, in «Linguistic Inquiry», 36, 1, 1-22.
- Chomsky N. (1995), *The Minimalist program*, Cambridge, MA, MIT Press.
- Chomsky N. (1959), *Review of Skinner's Verbal Behaviour*, in «Language», 35, 26-58.
- Chomsky N. (1975), *Reflections on Language*, New York, Pantheon Books; trad. it., *Riflessioni sul linguaggio*, Torino, Einaudi 1981.
- Chomsky N. (2000), *On nature and language*, New York, Cambridge University Press.
- Clark A. (2008), *Supersizing the Mind Embodiment, Action, and Cognitive Extension*, Oxford-New York, Oxford University Press.
- Clark A. (2016), *Surfing uncertainty: prediction, action, and the embodied mind*, Oxford-New York, Oxford University Press.
- Clarke E., Dewhurst K. (1974), *An illustrated history of brain function*, Berkeley-Los Angeles, University of California Press.
- Damasio A. (1994), *Descartes' Error: Emotion, Reason and the Human Brain*, NY, Penguin Books.
- Damasio A. (1999), *The Feeling of What Happens: Body and Emotion in the Making of Consciousness*, Mariner Books.
- Damasio A. (2003), *Looking for Spinoza: Joy, Sorrow, and the Feeling Brain*, New York, Harcourt.
- Falcon A. (2005), *Aristotle and the Science of Nature. Unity without Uniformity*, New York, Cambridge University Press.
- Falzone A. (2014a), *Structural constraints on language*, in «RSL. Italian Journal of Cognitive Sciences», 2, 246-265.
- Falzone A. (2014b), *Svelare il mistero dell'evoluzione del linguaggio, ovvero la facoltà linguistica alla prova della biologia*, in A. Falzone, S. Nucera, F. Parisi (eds.), *Le ragioni della natura. La sfida teorica delle scienze della vita*, Roma-Messina, Corisco, 15-28.
- Gotthelf A. (1987), *Teleology, First Principles, and Scientific Method in Aristotle's Biology*, Oxford University Press, 2012.
- Gross C.G. (1998), *Brain, Vision, Memory. Tales in the History of Neuroscience*, MA, MIT Press.
- Hardie R. (2012), *Polarization Vision: Drosophila Enters the Arena*, in «Current Biology», R12-R14.
- Hardie R., Juusola P. (2015), *Phototransduction in Drosophila*, «Current Opinion in Neurobiology», 34, 37-45.
- Hardie R., Raghu P. (2001), *Visual transduction in Drosophila*, in «Nature», 403, 13, 186-193.

- Haugeland J.C. (1983), *Artificial Intelligence: The Very Idea*, Cambridge, MA: Bradford/MIT Press.
- Hurley S. (2001), *Perception And Action: Alternative Views*, in «Synthese», 129, 3-40.
- Knappett C., Malafouris L. (2008), *Material Agency. Towards a Non-Anthropocentric Approach*, New York, Springer International Publishing.
- LeDoux J. (1998), *The Emotional Brain. The Mysterious Underpinnings of Emotional Life*, Touchstone, Simon & Schuster.
- LeDoux J. (2003), *Synaptic Self: How Our Brains Become Who We Are*, New York, Penguin Books.
- Leunissen M. (2010), *Explanation and Teleology in Aristotle's Science of Nature*, New York, Cambridge University Press.
- Leroi-Gourhan A. (1964), *Le geste et la parole*, 2 voll., Paris, Albin Michel.
- Leroi-Gourhan A. (1983), *Mécaniques vivants. Le crâne des vertébrés du poisson à l'homme*, Paris, Fayard.
- Lo Piparo F. (2003), *Aristotele e il linguaggio. Cosa fa di una lingua una lingua*. Roma-Bari, Laterza.
- Lo Piparo F. (2016), Intervento conclusivo a *Filosofia sintetica*, Palermo, 20-22/04 2016.
- Loritz D. (1999), *How the brain evolved language*. New York-Oxford, Oxford University Press.
- Love A. (2015), *Conceptual Change in Biology. Scientific and Philosophical Perspectives on Evolution and Development*, New York, Springer International Publishing.
- Menary R. (2006), *Radical Enactivism. Intentionality, Phenomenology and Narrative*, Amsterdam, Benjamins.
- Menary R. (2010), *The Extended Mind. New Edition*, Cambridge Mass., MIT Press.
- Moore J.A. (1993), *Science as a Way of Knowing. The Foundations of Modern Biology*, Cambridge, MA, Harvard University Press.
- Noë A. (2009), *Out of Our Heads. Why You Are Not Your Brain*, New York, Farrar-Straus-Giroux, trad. it., *Perché non siamo il nostro cervello*, Milano, Cortina 2010.
- Nussbaum M. (2001), *Upheavals of Thought: The Intelligence of Emotions*, Cambridge, Cambridge University Press; trad. it., *L'intelligenza delle emozioni*, Bologna, Il Mulino 2004.
- Pennisi A. (2013a), *Per una tecnologia dello speech making. Scienze cognitive e specie-specificità del linguaggio umano*, in E. Banfi, *Sull'origine del linguaggio e delle lingue storico-naturali. Un confronto fra linguisti e non linguisti*, Roma, Bulzoni, 169-183.
- Pennisi A. (2013b), *Origine e funzioni della tecnologia corporea del linguaggio*, in «S&F Scienza e filosofia», 10, 11-23.
- Pennisi A. (2014a), *La tecnologia del linguaggio tra passato e presente*, in «Blityri», II-2, 220-46.
- Pennisi A. (2014b), *L'errore di Platone*, Bologna, Il Mulino.

- Pennisi A., Falzone A. (2011), *Le scienze della natura e la natura del linguaggio umano*, Modena, Mucchi.
- Pennisi A., Falzone A. (2014), *Residuals of Intelligent Design in contemporary theories about language nature and origins*, in «HumanaMente», 27, 161-180.
- Pennisi A., Falzone A. (2016), *Darwinian biolinguistics. Theory and history of naturalistic philosophy on language*, Springer.
- Pennisi A., Parisi F. (2013), *Corpo, tecnologia, ambiente. Nuove tendenze naturalistiche dell'esperienza estetica*, in «Aisthesis», VI-2, 2013, 235-256.
- Putnam H. (1981), *Reason, Truth and History*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Ramachandran V. (2003), *The Emerging Mind*, Reith Lectures BBC; trad. it., *Che cosa sappiamo della mente*, Milano, Mondadori 2004.
- Rowlands M. (2003), *Externalism. Putting Mind and World Back Together Again*, Chesham, Acumen.
- Rowlands M. (2010), *The new science of the mind. From extended mind to embodied phenomenology*, Cambridge, Mass., MIT Press.
- Shapiro L.A. (2004), *The Mind Incarnate*, Cambridge, MA, MIT Press.
- Shapiro L.A. (2011), *Embodied Cognition*, London-New York, Routledge.
- Sheldrake R. (2003), *The Sense of Being Stared At*, New York, Three Rivers Press.
- Skoyles J., Sagan D. (2002), *Up From Dragons: The Evolution of Human Intelligence*, New York, McGraw-Hill.
- Spinoza B. (1677), *Ethica Ordine Geometrico Demonstrata*, in *Tutte le opere*, a cura di Andrea Sangiacomo, Milano, Bompiani 2010.
- Tipton J.A. (2014), *Philosophical Biology in Aristotle's Parts of Animals*, New York, Springer International Publishing.
- Tomasello M. (1999), *The Cultural Origins of Human Cognition*, Harvard, Harvard University Press.
- Verene D. (1981), *Vico's Science of Imagination*, Ithaca-New York, Cornell University Press.
- Wagner A. (2011), *The Origins of Evolutionary Innovations. A Theory of Transformative Change in Living Systems*, Oxford, Oxford University Press.
- Wagner G. (2014), *Homology, genes, and evolutionary innovation*, Princeton, Princeton University Press.
- Wickens A.P. (2014), *A History of the Brain From Stone Age Surgery to Modern Neuroscience*, London-New York, Psychology Press.

