



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MESSINA

DOTTORATO DI RICERCA IN SCIENZE COGNITIVE

CICLO XXXVI

Dipartimento di Scienze Cognitive, Psicologiche, Pedagogiche e Studi Culturali

SSD: M-FIL/05

Anno accademico: 2022/2023

LA NATURA SOCIALE DELLA RAPPRESENTAZIONE MENTALE

Per una formulazione sensorimotoria condivisa del contenuto mentale

Dottorando:

Joel Osea Baldo Gentile

Supervisore:

Prof.ssa Alessandra Falzone

Co-Supervisore:

Prof.ssa Donata Chiricò

LA NATURA SOCIALE DELLA RAPPRESENTAZIONE MENTALE

Per una formulazione sensorimotoria condivisa del contenuto mentale

Indice

Introduzione

Le premesse e l'ipotesi	4
-------------------------------	---

Capitolo 1

Socialità, embodiment ed evolucionismo	7
----------------------------------------------	---

1.1 Approccio embodied e cognizione sociale.....	11
--------------------------------------------------	----

1.2 Il percorso evolucionistico della socialità	15
-------------------------------------------------------	----

1.2.1 Evoluzione della cognizione sociale: da <i>Homo habilis</i> a <i>Homo sapiens</i>	19
-----------------------------------------------------------------------------------------------	----

1.2.2 La nascita dei gruppi.....	23
----------------------------------	----

1.3 Uno sguardo alle basi neurali della cognizione sociale.....	29
-----------------------------------------------------------------	----

1.4 Corollario: coscienza e soglia di emersione.....	50
------------------------------------------------------	----

Capitolo 2

La rappresentazione è ancora un costrutto utile per le scienze cognitive?	55
---------------------------------------------------------------------------------	----

2.1 La rappresentazione classica	57
----------------------------------------	----

2.1.1 La modalità della rappresentazione.....	60
-----------------------------------------------	----

2.2 La rappresentazione incarnata	62
-----------------------------------------	----

2.2.1 La rappresentazione corporea.....	64
-----------------------------------------	----

2.2.2 L'ipotesi simulazionista	66
--------------------------------------	----

2.2.3 La rappresentazione motoria	76
-----------------------------------------	----

2.2.4 La rappresentazione neurale	81
-----------------------------------------	----

2.2.5 Contro la rappresentazione	84
----------------------------------------	----

2.3 Ricollocare embodiment e computazione.....	91
------------------------------------------------	----

2.3.1 Computazionalismo oggi.....	95
-----------------------------------	----

2.3.2 Informazione, computazione e protocollo di comunicazione.....	97
---------------------------------------------------------------------	----

2.3.3 Il Protocollo di informazione sensorimotorio	104
2.3.4 Quale rapporto tra la struttura sensorimotoria e la rappresentazione?	109
Capitolo 3	
Prima della rappresentazione.....	111
3.1 Come e perché è necessario venire a patti con l'enattivismo.....	112
3.1.2 Autonomia enattiva: autopoiesi e cognizione sociale.....	116
3.1.3 Partire dai corpi sensorimotori	121
3.2 L'interazione.....	137
3.2.1 L'interazione come sistema emergente autonomo e regolatore.....	140
3.2.2 Interazionismo ed evolucionismo. Per una teoria della cognizione sociale precedente alla rappresentazione	143
3.3 La Simulazione prima della Rappresentazione	148
3.3.1 La mente pre-rappresentazionale: il <i>know-how</i> sensorimotorio e la competenza senza comprensione	151
3.4 <i>Competence e know-how</i> sensorimotorio. Basta questo a depennare la Rappresentazione?	154
Capitolo 4	
La pratica sensorimotoria condivisa come condizione necessaria per la rappresentazione	159
4.1 Dalla struttura sensorimotoria agli schemi sensorimotori condivisi	160
4.2 Dal movimento al significato passando per il gesto	166
4.2.1 Dal gesto alla parola	171
4.2.2 Dal gesto alla pratica condivisa	175
4.3 La rappresentazione e la sua genesi sociale	179
4.4 I vincoli della rappresentazione	192
Conclusioni.....	202
Bibliografia	204

Introduzione

Le premesse e l'ipotesi

Lo studio della cognizione è quanto di più complesso l'impresa umana potesse architettare di percorrere. Un tentativo tanto difficile da perseguire quanto da ignorare per ogni filosofia sviluppatasi nell'arco della storia umana a partire dal momento nel quale *Homo sapiens* ha iniziato a porsi interrogativi su sé stesso e sul mondo, cioè da quando la filosofia è andata determinandosi quale strumento condiviso della nostra cognizione.

Il tentativo di ricerca contemporaneo, che prende forma con la nascita delle scienze cognitive nella metà del secolo scorso, assume oggi innumerevoli declinazioni, divise da un profondo solco scavato dal ruolo del corpo nella cognizione.

L'ipotesi che muove il presente lavoro è che la rappresentazione sia radicata sul sensorimotorio ed emerga dall'interazione con gli altri umani. La ricorsività delle pratiche sensorimotorie condivise, risultato della continua interazione tra agenti, va incontro ad un naturale processo di ottimizzazione (inseguendo l'economizzazione degli sforzi motori, neuronali, cognitivi e temporali) che ripulisce i movimenti mantenendone l'informazione: il movimento diventa gesto, il gesto diventa prassi, la prassi diventa rappresentazione. Questo processo di astrazione che va dal movimento alla rappresentazione, frutto della capacità di costituire analogie e di mantenere l'efficacia del segnale comunicativo proprio in virtù della reiterazione di pratiche sensorimotorie di gruppo, costituisce il passaggio dall'informazione elettrochimica a quella semantica.

La tesi prenderà piede, nel primo capitolo, da una panoramica della letteratura selezionata al fine di possedere la mappa del dibattito contemporaneo delle scienze cognitive embodied e delle scienze della cognizione sociale, con un vasto

approfondimento evolucionistico e neuroscientifico, quest'ultimo particolarmente attento al ruolo del motorio nella cognizione sociale.

Tra i problemi centrali che verranno affrontati, quello della rappresentazione mentale è sicuramente il più illustre. Un problema epistemologico ed escapologico, per il suo mettere in scena la profonda ambiguità tra l'attribuzione di capacità rappresentazionale ai nostri molteplici oggetti di studio (analizzati singolarmente o tutti insieme: la cognizione, la mente, il cervello, il corpo, il neurone) da una parte, e il continuo tentativo di classificazione insito nello sforzo scientifico, che astrae in concetti le funzioni cognitive. La capacità rappresentazionale propria della cognizione, da una parte, contro lo sforzo ontologico di definizione della cognizione dall'altra, che talvolta finisce per rendere la mente rappresentazionale a posteriori. Nel secondo capitolo è affrontato questo dibattito con dovizia di particolari, esplorando con sguardo critico le varie definizioni di rappresentazione, il passaggio dalla sua formulazione classica analitica per rendere poi conto dello spostamento in chiave incarnata, che muove la sua attenzione dalla forma al contenuto rappresentazionale, radicato sul corpo, sulla sensorialità e sul movimento. Il secondo capitolo si conclude con una proposta teorica che prende il nome di *protocollo di informazione sensorimotorio*. Quest'ultima fiorisce, attraverso una rifisicizzazione della *teoria dell'informazione*, dalla *teoria dei vincoli biologici*, individuando i vari livelli dell'informazione (neurale e cognitiva), e stabilendo il primato del sensorimotorio sul piano cognitivo: i mattoni primi della cognizione sono informazioni di natura sensoriale.

Il terzo capitolo è un confronto serrato con l'enattivismo sensorimotorio. Nella presa d'atto che tale paradigma assorbe una massiccia parte dei punti lasciati oscuri dalle posizioni embodied rappresentationaliste, questo capitolo costituisce la "messa a terra" del *protocollo di informazione sensorimotorio* alla prova della continuità naturalistica. Si assumerà quindi uno sguardo compatibilista rispetto ad una consistente parte degli assunti dell'enattivismo sensorimotorio, ma se ne denuncerà, quando rilevato, un estremismo riduzionista non epistemologicamente fondato. Come suggeriscono Marraffa (2021) e Di Francesco e Tomasetta (2021), l'enattivismo, più che una rivoluzione, è una riforma. Una grande riforma, aggiungo io. In quanto tale, il

suo paradigma deve essere messo a confronto con il *minimal embodiment* e con i dati sperimentali, per raggiungere una sintesi prolifica e generare nuova conoscenza.

L'ultimo capitolo delinea una proposta di sintesi, un lavoro di cucitura che riposiziona il costrutto di rappresentazione, una volta rendicontata la necessarietà epistemologica attuale del costrutto. Il terreno dell'intersoggettività in continua interazione dinamica costituisce l'ambiente entro il quale emerge il significato. Il corpo in atto interagisce con l'ambiente e con altri corpi in atto, e nella comunanza di strutture si costituiscono pattern sensorimotori stabili utilizzati come segnali, proprio in virtù della loro adattività contingente rispetto ad un ambiente naturale e sociale che ne permette l'efficacia e la diffusione. La pratica è condivisa dal gruppo che ne fa esperienza sensorimotoria, istituisce prassi e infine costituisce rappresentazioni condivise, che finiscono per abitare le menti individuali. Per definire questo passaggio si sposteranno, assorbendoli, i concetti di *know-how sensorimotorio* alla maniera di Di Paolo, Barandiaran, De Jaegher e colleghi, e di *competenza senza comprensione* di Daniel Dennett.

La rappresentazione emergerà come processo radicato sulla sensorialità, così come illustrata nella proposta del *protocollo di informazione sensorimotorio*, ma la cui necessarietà si palesa sul piano non già neurale, né individuale, ma intersoggettivo, quale immagine manifesta la cui pregnanza informativa è fissata nelle invarianze sensorimotorie stabilite e sostenute nell'interazione tra gli agenti. Le pratiche sensorimotorie condivise stabiliscono il dente d'arresto nell'evoluzione della specie, che pone la base per l'emersione di una mente dotata di contenuto rappresentazionale. Esso, dunque, costituisce un'*exaptation* dispendiosa (sul livello neuro-computazionale), che libera e fa esplodere le possibilità della comunicazione determinando la comparsa del piano semantico, nel quale abita la nostra cognizione.

Capitolo 1

Socialità, embodiment ed evolucionismo

L'approccio embodied si presenta nel panorama delle scienze cognitive sul finire degli anni '80, portando con sé il tentativo di definire un nuovo paradigma per descrivere il funzionamento della cognizione. Alla base del programma delle scienze cognitive incarnate vi è «l'idea che i processi cognitivi dipendano, riflettano, o siano influenzati dai sistemi di controllo del corpo» (Caruana & Borghi, 2013, p. 23). Il motivo di tale riscatto del corpo sul cervello è dovuto al sempre crescente impatto che lo studio della componente agentiva e motoria ha avuto e continua ad avere sulla cognizione, sotto la grande spinta della scoperta di un particolare tipo di neurone, il neurone specchio (e successivamente del neurone canonico), fatta dal team di Parma guidato da Giacomo Rizzolatti agli inizi degli anni '90 (di Pellegrino et al., 1992), in congiunzione al testo inaugurale di Varela, Thompson e Rosch *The Embodied Mind* (Varela et al., 1993), considerato ormai il manifesto del movimento incarnato¹.

È ormai evidente che l'*embodied cognition* abbia trovato terreno fertile in molti settori della cognizione, e che talvolta ci sia stato il bisogno di rimodulare i precetti della sua impalcatura teorica, così da inseguire uno scenario eterogeneo che tende ad usare il tema della rappresentazione mentale come cuneo intorno al quale avvilupparsi. Thompson e Varela, difatti, sostengono una posizione cosiddetta “forte” all'interno del panorama delle scienze cognitive embodied, descrivendo quella che viene chiamata *prospettiva enattivista*, all'interno della quale la cognizione figura come complessa risultante di un sistema dinamico non-lineare composta dalla triade *brain-body-world* e che si basa su tre precetti fondamentali (Thompson & Varela, 2001):

¹ Molte delle idee insite nell'approccio embodied hanno chiaramente origini ben più datate: il primato della percezione nel mentale è, ad esempio, un tema caro alla fenomenologia di Husserl o di Merleau-Ponty, ma è evidente che alcune delle idee riformulate dall'approccio embodied sono riconducibili in qualche forma alla filosofia antica, ad esempio ad Aristotele. Allo stesso modo, anche il primato della componente motoria e agentiva ha una lunga tradizione nella filosofia pragmatista di Gibson, Ryle, Mead e James.

- 1) Comprendere la complessa relazione che intercorre tra il cervello, il corpo e il mondo richiede l'analisi applicata dalla teoria dei sistemi dinamici non lineari;
- 2) Le nozioni classiche di "rappresentazione" e di "computazione" sono inadeguate;
- 3) La suddivisione in moduli cerebrali (sottosistemi funzionali interni) è fuorviante.

Si capisce facilmente il perché la posizione enattivista faccia parte di quella che Chemero (2009) chiama *Radical Embodied Cognitive Science*. La cognizione qui diventa un processo emergente, *grounded* e corporificato (Thelen & Smith, 1998), non più simbolico e dalla intrinseca natura proposizionale. Gli enattivisti si scagliano contro la concezione classica che vuole un cervello produttore e manipolatore di rappresentazioni mentali del mondo esterno. Le posizioni radicali propongono invece di guardare all'insieme dinamico di interazione tra ciò che succede dentro al cervello e fuori da esso, nel contesto, nell'ambiente e nel corpo nei diversi attimi di tempo che si succedono, e di concepire questo insieme come sede del pensiero (Noë, 2004). Sotto l'ombrello dell'enattivismo radicale ricadono diverse prospettive, per la maggior parte rifiutanti il concetto di rappresentazione classica, e che arrivano talvolta dalla psicologia ecologica (come i sopracitati Noë, Thompson e Varela), ma anche da visioni fenomenologiche (Gallagher e Zahavi) o neo-wittgensteiniane versate sul narrativismo (Hutto). Si direbbe quindi che con le posizioni radicali si abbandona il concetto di rappresentazione, ma non è del tutto corretto. Anche all'interno di queste posizioni polarizzate si assiste talvolta al persistere di margini rappresentazionisti. Le rappresentazioni orientate all'azione descritte da Clark (1998), che si rifanno all'*animate vision* di Ballard (1991), sono rappresentazioni simultaneamente descrittive del mondo e prescrittive di un alveo di possibili risposte adattive. Sono quindi profondamente connesse alle competenze e ai bisogni dell'agente, al contesto, ma anche computazionalmente più economiche rispetto alle rappresentazioni classiche (un esempio di quest'ultime: i modelli interni della visione formulati da Marr), in quanto la loro intima relazione con specifiche contestuali li rendono agili e meno cariche di informazioni superflue al contesto. Clark rimodula il concetto di rappresentazione classica per aprire ad una pluralità di generi rappresentazionali:

A un estremo dello spettro vi sono stati interni che sono prossimi alla mera correlazione causale e al controllo ambientale. All'estremo opposto troviamo quel tipo di sostituto interno che consente di affrontare i problemi "affamati di rappresentazioni". In posizione intermedia si situano le rappresentazioni orientate all'azione. (Marraffa, 2021, p. 101)

Ma il fronte embodied non si caratterizza solamente per un approccio radicale. La posizione definita genericamente come *approccio debole* o *minimal embodiment* (Gallagher, 2011), tende a descrivere quadri teorici che conservano il costrutto di *rappresentazione*, anche se in forme che talvolta ne delimitano la portata: ecco che rappresentazione e cognizione incarnata non sono più mutualmente esclusive, ma convivono all'interno di una struttura teorica che prevede più di una possibile formulazione. A questo approccio può essere ricondotta l'opera recente di Alvin Goldman, che spinge a riflettere sul formato della rappresentazione piuttosto che sulla sua presenza/assenza. In questo senso, un ruolo causale nella cognizione hanno quelle rappresentazioni mentali in formato corporeo (*B-reps*) particolarmente importanti in funzioni primarie come l'interocezione e la motilità (A. Goldman, 2013; A. Goldman & de Vignemont, 2009). Dire che una rappresentazione può avere diversi formati significa rinunciare all'a-modalità della teoria classica, che deriva da una concezione di una rappresentazione quale traduzione, messa in atto dal cervello, dell'input sensoriale esterno in un linguaggio indipendente, appunto a-modale, di natura proposizionale che sottostà ad una propria sintassi.

Un approccio di questo tipo ha il vantaggio di conservare i grandi traguardi raggiunti dal cognitivismo classico, e allo stesso tempo di andare incontro a molta letteratura neuroscientifica che ci parla con sempre maggior forza del ruolo del sistema sensorimotorio in quei domini che tradizionalmente sono visti come votati ad una spiegazione computazionale, come il linguaggio.

In questa prospettiva risulta di particolare interesse la teoria nominata *Perceptual Symbol System* proposta da Barsalou (1999), secondo la quale il sistema di memoria conserva il materiale percettivo con il suo contenuto multimodale, permettendo una

riattivazione a posteriori di carattere simulativo delle caratteristiche sensoriali dell'oggetto "salvato" in memoria:

During perceptual experience, association areas in the brain capture bottom-up patterns of activation in sensory-motor areas. Later, in a top-down manner, association areas partially reactivate sensory-motor areas to implement perceptual symbols. The storage and reactivation of perceptual symbols operates at the level of perceptual components – not at the level of holistic perceptual experiences. Through the use of selective attention, schematic representations of perceptual components are extracted from experience and stored in memory [...]. (Barsalou, 1999, p. 577)

È chiaro che una simile proposta conferisce un peso rilevante alla componente sensoriale dei processi cognitivi non solo come un tramite tra il mondo esterno e la mente, ma ricercando all'interno del formato percettivo la condizione stessa dei processi cognitivi. Per Caruana e Borghi (2013, p. 37) «questo modello si è mostrato capace di spiegare processi cognitivi quali memorizzazione, linguaggio, ragionamento», dunque, quelle funzioni cognitive di alto livello generalmente ritenute dominio dell'approccio computazionale classico.

Oltre alla piccola diapositiva appena proiettata del panorama embodied nelle scienze cognitive, vi sono innumerevoli altri approcci che, per restituire una foto panoramica, sono state chiamate le quattro "E" della cognizione: "Embodied", "Enactive", "Embedded" ed "Extended" (Newen et al., 2018). Avrò modo di passare in rassegna le quattro "E", con particolare attenzione all'approccio incarnato, oggetto del presente lavoro, e dell'approccio enattivo, come metro di paragone di alcuni capisaldi dell'approccio classico che l'enattivismo riesce, talvolta con proposte acute, a mettere sotto una lente critica.

È però importante constatare che teorie embodied e approccio computazionale non sono sempre incompatibili, e che non sembra essere corretto interpretare come una battaglia il loro confronto e, ancor più, non appare epistemologicamente proficuo. Obiettivo di un approccio debole (approccio nel quale si inserisce il presente lavoro) è quello di riuscire a calibrare nel dettaglio pesi e domini di uno e dell'altro

orientamento, per riuscire a restituire un quadro quanto più adatto ad interpretare i dati sperimentali, gli stessi dati sperimentali che portano a corroborare talvolta l'una, talvolta l'altra concezione della mente, dirigendoci da subito verso la cognizione sociale.

1.1 Approccio embodied e cognizione sociale

Con lo sviluppo di una concezione incarnata della cognizione, il fattore “socialità” ha assunto nuova centralità nel dibattito delle scienze cognitive, talvolta fungendo da ponte interdisciplinare. Fintanto che l'approccio computazionale si è trovato a troneggiare sul panorama scientifico e filosofico del mentale, il costrutto di *teoria della mente* ha funto da perno alla spiegazione del “come” gli esseri umani riuscissero a comunicare efficacemente, a capirsi e a comprendere vicendevolmente credenze, desideri e intenzioni. Con il progressivo avanzamento di visioni embodied della cognizione, sostenute da sempre più numerosi dati sperimentali, sono andati via via moltiplicandosi quei “settori” della cognizione sociale che facilmente si adattavano ad una formulazione incarnata, o anzi che da essa traevano beneficio esplicativo.

Gli stessi Goldman e de Vignemont (Goldman e de Vignemont, 2009) affrontano la questione suddividendo quegli ambiti in cui la cognizione sociale può essere definita (almeno in parte) seguendo i precetti embodied: “imitazione del comportamento”, “attenzione condivisa”, “contagio emotivo”, “empatia”, “mindreading” e “comprensione del linguaggio” sono i sei candidati favoriti ad una formulazione incarnata. Utilizzando il costrutto di rappresentazione mentale in formato corporeo (B-reps in B-format) gli autori intendono sostenere che, se la cognizione sociale si trova ad essere pervasivamente incarnata, questo è senz'altro dovuto a questo specifico formato. Il B-format è definito come un formato associato a condizioni fisiologiche del corpo, ma comprende diversi “sotto-formati” come, ad esempio, il formato motorio, somatosensoriale o quei formati coinvolti in rappresentazioni interocettive o affettive. Questa tipologia di rappresentazione in formato corporeo può quindi essere sfruttata (*exploited*) per la socialità «*either during perception or during imagination of another*

individual in a specific state» (A. Goldman & de Vignemont, 2009, P. 156). Ma cosa sarebbe questo formato corporeo della rappresentazione? Le B-reps sarebbero definibili come formati *low-level*, informazioni dal contenuto corporeo, e quindi aventi una caratteristica multimodalità percettivo-sensoriale. La negazione di una necessaria a-modalità delle rappresentazioni mentali, così come sostenuto dall'approccio computazionale, diventa uno dei punti di maggior riflessione per Goldman, che ci dice al contempo che descrivere una cognizione incarnata è ancora perseguibile senza dover rinunciare ad un approccio rappresentazionale. Così anche Gallese (Ammaniti & Gallese, 2014) che definisce il formato corporeo come una rappresentazione avente uno specifico profilo motorio, visceromotorio e somatosensoriale. Queste rappresentazioni però sono particolarmente adatte in un quadro di suddivisione tra funzioni primarie, sostenute dalle nostre rappresentazioni corporee, e alcune funzioni secondarie (come il linguaggio, la teoria della mente o la concettualizzazione di matrice incarnata) che potrebbero essere frutto di un riutilizzo di rappresentazioni in più formati, tra cui quello prettamente corporeo:

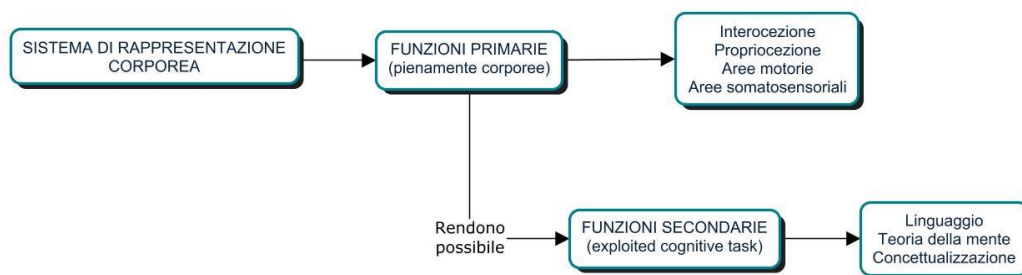


Figura 1. Schema riguardante i rapporti tra funzioni primarie (le cui rappresentazioni sono in formato corporeo) e funzioni secondarie che, seguendo l'ipotesi del riutilizzo massivo di Anderson sarebbero possibili anche grazie al formato corporeo della rappresentazione. Lo schema è frutto di una rielaborazione di quanto descritto in Goldman e de Vignemont (2009) e Goldman (2014).

Funzioni primarie sostenute da rappresentazioni in formato corporeo andrebbero a comporre funzioni più complesse, cosiddette secondarie, in accordo alla teoria della *Massive Redeployment Hypothesis*, formulata da (M. L. Anderson, 2007).

Spostandoci su un profilo prettamente neuroscientifico, Vittorio Gallese può essere identificato come lo studioso che, a partire dai neuroni specchio, ha maggiormente sviluppato una teoria della socialità di natura incarnata, o quella che lui preferisce chiamare “intersoggettività”: buona parte di ciò che esperiamo come sociale sarebbe il risultato di una simulazione incarnata atta a creare uno spazio “noi-centrico” che condividiamo con altri agenti in un *Sistema Multiplo di Condivisione dell’Intersoggettività*, reso possibile dall’attività di neuroni mirror intenti a mappare il complesso dinamico di azioni, emozioni, movimenti diretti a scopi e sensazioni eseguite ed osservate negli altri (Gallese, 2003a). Questi sistemi neurali alla base del processo di simulazione incarnata, che Gallese sostiene rendere possibili aspetti di base dell’intersoggettività e una forma diretta di comprensione degli altri, permettono la rievocazione di rappresentazioni interne di formato non-proposizionale ma corporeo (Ammaniti & Gallese, 2014) di stati del corpo correlati ad azioni, sensazioni ed emozioni anche quando il soggetto esperente si limita ad osservare un altro-simile-a-sé. «Le persone riutilizzano i propri stati o processi mentali, rappresentati in formato corporeo, per attribuirli funzionalmente agli altri» (ivi, p.31), creando un’intersoggettività basata sul riutilizzo degli stessi circuiti neurali su cui si fondano le nostre esperienze emozionali e sensoriali. Ne consegue un cambio di paradigma: guardare alle abilità di cognizione sociale come frutto di un processo computazionale eseguito da moduli specificatamente dedicati porta a cercare di localizzare nel cervello la sede di intenzioni, credenze e desideri, scontrandosi con seri problemi di natura filogenetica e ontogenetica ma anche metodologica, laddove il nostro obiettivo sia cercare di spiegare cosa veramente è la cognizione sociale (Gallese, 2007), ovvero un’abilità che al suo interno racchiude un complesso dinamico di numerose altre abilità più specifiche e nelle quali i neuroni mirror (e più in generale il sistema premotorio) giocano un ruolo fondamentale nell’esecuzione e nella comprensione delle azioni, delle intenzioni e nella comprensione del linguaggio.

È utile però guardare più nello specifico la relazione diretta che intercorre tra la concezione embodied della cognizione e le abilità di cognizione sociale.

Sempre Goldman e de Vignemont (2009) propongono tre esempi con diversi gradi di coinvolgimento di rappresentazioni in formato corporeo all'interno di alcune sfere della cognizione sociale. L'empatia rappresenta un esempio di abilità sociale che può essere definita di matrice corporea (*mirror empathy*) o metarappresentazionale (*reconstructive empathy*). La prima si basa sul sistema mirror, che ci permette una risonanza sul piano neurale degli stati emotivi osservati in altre persone: questo processo sarebbe dominato da un formato corporeo della rappresentazione; d'altro canto, l'empatia è un processo che si attiva anche per mezzo dei ricordi, e in questo differente processo occorrono in maniera più invasiva rappresentazioni non corporee (cfr. de Vignemont, 2010; Goldman, 2011). Diversamente, l'intera capacità di mindreading (all'interno della quale è facile capire che anche il mirroring continua a giocare un ruolo importante) è un processo più vasto entro il quale non è scontato sostenere l'estraneità di rappresentazioni in formato diverso da quello corporeo (Goldman & Sripada, 2005), seppur la questione sia ancora molto dibattuta. Si possono infatti dividere diversi gradi o capacità di mindreading in quelle che possono essere definite di *low-level*, in cui è facile immaginare un ruolo preponderante delle B-reps, e capacità di *high-level*, propriamente mentalistiche e metarappresentazionali, dove immaginare un esclusivo coinvolgimento di B-reps appare ancora troppo difficile (seppur i tentativi continuino a moltiplicarsi). Goldman e de Vignemont, ad esempio, rimangono dell'avviso che «high-level mindreading would standardly involve propositional attitudes like belief and desire» (A. Goldman & de Vignemont, 2009, p. 157).

Il problema della rappresentazione mentale, del come descriverla, della validità in quanto strumento epistemologico è centrale nel dibattito contemporaneo delle scienze cognitive e sarà oggetto di studio serrato nel secondo capitolo di questa tesi.

Oltre però ad accennare al punto di vista privilegiato che adottato personalmente per prendere posizione nel dibattito embodied (un certo tipo di *minimal embodiment*) come frame teorico della mia ipotesi, è importante chiarirne la metodologia.

Presupposto della mia analisi è quello di rimanere assolutamente ancorato al piano biologico-neuroscientifico nella consapevolezza che, senza tenere ben traccia dei limiti neurobiologici dell'organismo umano (di cui il cervello fa parte) c'è il concreto rischio di contravvenire a quel principio secondo cui sono i limiti del corpo a dettare le condizioni di possibilità della mente, 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» (Pennisi, 2016, p. 193). Da una parte, quindi, la dotazione biologica del nostro *brain-body*; dall'altra la storia evolutiva che ne ha plasmato la forma.

1.2 Il percorso evolucionistico della socialità

Il primissimo sforzo di ricerca filogenetica che siamo chiamati a comporre è quello di scovare i vantaggi evolutivi della socialità e come questa caratteristica possa essere emersa dalla nostra storia evolutiva. Il comportamento prosociale non è lo standard del comportamento nel regno animale, e nell'essere umano, oltre ad assumere forme complesse e radicali, si esprime quale caratteristica cardine della nostra specie.

Sono due gli approcci evolucionistici principali che in questo senso hanno cercato di indagare le ragioni della spinta evolutiva nell'essere umano dai suoi primordi: il primo fa riferimento alla *teoria della fitness inclusiva*² o *selezione parentale*; il secondo è più recente e si configura come una *teoria della selezione di gruppo*. Entrambe le teorie cercano di rendere conto del comportamento umano attraverso un'ottica evolucionista, in particolare del comportamento "altruistico" o socialmente finalizzato. Data la natura flessibile del comportamento umano (Peters, 1981; Mozer, 2006; Kamigaki et al., 2012) la spiegazione dei nostri gesti prosociali non può essere spiegata

²Si definisce fitness inclusiva il contributo complessivo fornito da un individuo alle generazioni successive; consiste nella somma dell'apporto individuale alla procreazione e di quello fornito alla sopravvivenza genetica di individui parentali diversi dai discendenti diretti. Risulta dalla somma della fitness diretta e di quella indiretta. Da *Medicina e biologia. Dizionario enciclopedico di scienze mediche e biologiche e di biotecnologie*, Zanichelli, Bologna, 2012 (3).

deterministicamente, così come succede per gli organismi eusociali, dotati di una comunicazione non flessibile, stile *modello del codice* (Shannon, 1948).

La teoria della selezione parentale può essere fatta risalire direttamente a Charles Darwin, che oltre a concepire la selezione naturale come meccanismo base dell'evoluzione, nel suo "*L'origine delle specie*" (1859) ipotizza che determinati comportamenti altruistici negli insetti sociali possano essere ricondotti ad una estensione del concetto di selezione naturale dall'individuo all'ambito comunitario, che negli insetti sociali coincide con il familiare³. Le basi di una teoria della fitness inclusiva organica furono poste da William D. Hamilton (1964) solo dopo che la teoria dell'evoluzione attraverso selezione naturale riemerse a seguito delle leggi dell'ereditarietà formulate dal padre della genetica Gregor Mendel. Hamilton formalizzò il pensiero secondo il quale le cause del comportamento sociale sono da rintracciarsi nell'idea che la trasmissione del patrimonio genetico giochi il ruolo maestro nell'evoluzione della specie così come nell'altruismo, e che quindi il comportamento altruistico verso gli individui imparentati (gli individui cioè con il medesimo patrimonio genetico) sia da spiegare in termini di vantaggio evolutivo del proprio corredo genetico (E. O. Wilson, 2012). Hamilton arrivò a determinare con una disuguaglianza il rapporto tra altruismo e parentela nel seguente modo:

$$rb > c$$

dove si descrive che la frequenza di un allele⁴ che prescrive geneticamente l'altruismo crescerà in una popolazione se e solo se b (il beneficio ricavato dal destinatario dell'atto altruistico) moltiplicato per r (il grado di parentela rispetto all'individuo altruista) sarà maggiore del costo c per l'altruista. Seguendo la teoria della selezione parentale quindi riusciremmo a spiegare l'altruismo attraverso un'estensione del concetto di "egoismo genetico" o, per meglio dire, di espansione della fitness

³ Sono note le gerarchie degli insetti sociali, dove solo l'elemento "regina" è predisposto alla fecondazione, e dunque tutti gli insetti di uno stesso alveare sono geneticamente imparentati.

⁴ "Attributo di due o più geni che occupano le stesse posizioni relative (loci genici) su cromosomi omologhi presenti nella medesima cellula, che sono capaci di appaiarsi durante la meiosi, la cui espressione provoca variazioni anche assai rilevanti sul carattere fenotipico che controllano e infine che possono mutare l'uno nell'altro." Da *Medicina e biologia. Dizionario enciclopedico di scienze mediche e biologiche e di biotecnologie*, Zanichelli, Bologna, 2012 (3).

individuale ai parenti prossimi (fitness inclusiva). Ancora oggi la teoria di Hamilton dimostra con buona efficacia che il grado di parentela è un importante parametro nella previsione di come opererà la selezione e come un certo tipo di comportamento altruistico possa essere spiegato in termini di selezione naturale. Ma non sembra però spiegare tutto, ad esempio il comportamento altruistico tra individui non imparentati.

Nel tentativo di coprire anche questa ulteriore dinamica extra-parentale, è stata formulata negli anni quella che prende il nome di *Teoria della selezione di gruppo*, teorizzata nel 1962 dal biologo statunitense Wynne-Edwards. Quest'ultima propone che il comportamento altruistico propenda verso il favoreggiamento del gruppo o della specie di cui l'individuo è parte, relegando la trasmissione genetica ad un ruolo di secondo piano. Tale approccio però si è dimostrato molto debole alla prova dei fatti (Dawkins, 1976), e solo successivamente, con il lavoro di Robert Trivers (1971), la teoria della selezione di gruppo ha potuto trovare nuove chiavi di lettura che ne rinforzassero la portata innovativa. La forza del lavoro di Trivers sta nell'aver applicato alcuni modelli della teoria dei giochi per validare la possibilità che l'altruismo svolga un ruolo determinante nell'evoluzione della specie umana. Nel marzo del 1971, nel *The Quarterly Review of Biology*, veniva pubblicato l'articolo in cui Trivers propone una ragione al comportamento altruistico tra animali non imparentati tra loro. Tale ragione consiste in ciò che chiama *altruismo reciproco*, ossia un tipo di altruismo vantaggioso nella misura in cui chi elargisce un atto altruistico si potrà aspettare un ricambio, un vantaggio successivo. Nell'articolo, il biologo americano espone tre esempi di comportamento altruistico reciproco: la simbiosi per pulizia in alcune specie acquatiche; i gridi di allarme tra gli uccelli; l'altruismo reciproco umano. Il modello di Trivers avanza principalmente seguendo tre punti:

- 1) Se assumiamo che un'intera popolazione di un determinato gruppo, prima o poi nell'arco della vita di ogni individuo, sia esposta a un rischio di morte, gli individui che rischiano le loro vite per salvarsi l'un l'altro avranno più possibilità di sopravvivere, e quindi saranno selezionati positivamente rispetto agli individui che non aiutano e non vengono aiutati.

2) Vi è la possibilità che il salvato non ricambi l'atto di altruismo, ma la selezione discriminerà l'imbroglione qualora quest'ultimo si trovasse nuovamente in pericolo di vita, non ricevendo aiuto a causa del suo comportamento sleale.

3) Se i benefici complessivi degli atti altruistici superano i costi complessivi degli stessi atti, l'imbroglione sarà selezionato negativamente rispetto a individui che scambiano molti atti altruistici, dato che nessuno di loro inganna⁵.

Una terza spiegazione evolucionistica dell'altruismo, forse meglio collocabile quale variante dell'*altruismo reciproco*, è nota come *mutualismo*. Per mutualismo si intende una cooperazione atta a trarre un beneficio reciproco, un bene maggiore che un individuo solitario non sarebbe in grado di raggiungere. È il caso della caccia cooperativa, che permette la conquista di prede ben più grosse di una caccia solitaria.

Selezione parentale, altruismo reciproco e mutualismo costituiscono la triade alla base della maggior parte delle spiegazioni evolutive dell'altruismo ma, come sottolineano Dunbar, Barrett e Lycett (2002), nessuna di queste può essere vista come una selezione di gruppo *tout-court*, anzi, al contrario, esse possono essere fatte risalire, in ultima istanza, alla selezione sul livello dell'individuo. D'altronde, è lo stesso Trivers a sostenere che non sia necessario il concetto di beneficio di gruppo per spiegare la funzione del comportamento altruistico. La soluzione dell'enigma individuale/gruppale ancora oggi perdura sotto alcune forme, ma il biologo evolucionista David Sloan Wilson, assieme al filosofo Eliot Sober, ha cercato di dipanare la nebbia instaurando il concetto di *selezione multilivello*.

Secondo gli autori (Wilson & Sober, 1998), anche se di per sé è improbabile che si manifesti una selezione di gruppo *tout-court*, non si può escludere che avvenga una selezione a livello di gruppo come conseguenza indiretta delle azioni dei membri del gruppo. La differenza fondamentale si troverebbe al livello su cui si svolge la

⁵Sul concludersi dell'articolo di Trivers (1971) il biologo si lancia in una dettagliata descrizione dei caratteri psicologici che ipotizza essersi evoluti a partire dal meccanismo dell'altruismo reciproco. Così risulta che l'amicizia, la simpatia e l'antipatia, l'aggressione moralistica, la gratitudine, il calcolo del rapporto costi/benefici, il senso di colpa e l'altruismo di riparazione, le varie tipologie di imbroglio, l'apprendimento, sino ad arrivare alle interazioni multiple e alle vere e proprie istituzionalizzazioni di partenariati altruistici siano la diretta conseguenza di un meccanismo evolutivo che selezionerà i tratti emotivi e comportamentali più raffinati nella lotta tra altruismo e individualismo.

competizione, ovvero se questa si verifica tra individui dello stesso gruppo (individuale) o tra gruppi differenti (intergrupale). Entrambe le situazioni prevedono che si abbia competizione al livello degli individui, come previsto dalla selezione naturale, ma, a livello di competizione tra differenti gruppi, gli individui dei diversi schieramenti si coalizzano dando vita a dinamiche di selezione che avvantaggiano l'intero gruppo, e dunque il gruppo sarà propriamente il veicolo di selezione (Dunbar, 1998; Nowak, 2012; E. O. Wilson, 2012). Perché ciò si verifichi è fondamentale che vi sia una competizione tra gruppi, e non che semplicemente esistano ognuno indipendentemente dall'altro, dato che altrimenti decadrebbe il vantaggio del gruppo altruista sul gruppo meno altruista. Sober e Wilson chiamano questo meccanismo con il nome di *selezione del carattere di gruppo*. La selezione multilivello è quindi costituita da «l'interazione delle forze selettive che prendono di mira i tratti dei singoli membri e altre forze selettive che prendono di mira i tratti di tutto il gruppo. [...] In generale, è prevedibile che la competizione tra gruppi influenzerà la fitness genetica di ogni membro» (Wilson, 2013, p. 63). Ad oggi la selezione multilivello è una delle teorie più promettenti nell'ambito dell'evoluzione sociale.

A questa divisione in livelli porta acqua la *teoria della costruzione di nicchia* (Odling-Smee, 1988; Odling-Smee et al., 1996), che esplora gli effetti che l'azione degli agenti nell'ambiente hanno sui parametri di selezione. L'idea è semplice quanto illuminante: se la selezione sui fenotipi è attuata dal filtro dei parametri ambientali, gli agenti che operano una modifica del proprio ambiente subiranno pressioni selettive differenti, causati dalla loro trasformazione della nicchia ecologica.

1.2.1 Evoluzione della cognizione sociale: da *Homo habilis* a *Homo sapiens*

La linea di discendenza degli ominidi, compresa la nostra, si configura come facente parte della famiglia delle Grandi Scimmie, comparsa circa venti milioni di anni fa (Tomasello, 2022). Secondo le più recenti datazioni, questa nostra linea di discendenza e quella degli scimpanzè si separarono circa cinque/sette milioni di anni fa (Barrett et al., 2002). Prima della divergenza tra le specie attuali di grandi scimmie (gorilla,

orango, bonobo, scimpanzè e uomo), nuove sfide sociali ed ecologiche presero forma, cambiando la conformazione dei gruppi:

[...] le singole antropomorfe non si foraggiavano più in grandi gruppi, come altri mimati cercopitecidi, ma di scindevano in gruppi di foraggiamento più piccoli. Gli scimpanzé e i bonobo attuali vivono ancora in gruppi sociali abbastanza grandi, la cui finalità sono il riposo e la difesa di gruppo, ma si foraggiano quotidianamente in piccole bande che, nel corso della giornata, si scindono e si fondono nei modi più disparati. Secondo la mia ipotesi, tali società di scissione e di fusione rappresentano l'organizzazione sociale originaria delle prime grandi scimmie. (Tomasello, 2022, p. 70)

Il genere *Homo* nacque però non prima di due milioni e mezzo di anni fa, ed era caratterizzato da un maggior volume cerebrale, da un aumento della statura, da un'andatura bipede (che sembra essere già attribuibile ad alcune *australopithecine* preumane), e dalla fabbricazione di utensili di pietra con un certo grado di elaborazione (ibidem). *Homo habilis*, tra i due e i tre milioni di anni fa, compì un grande salto nell'alimentazione passando al consumo di carne di piccole prede (Babbitt et al., 2010; Andrews & Johnson, 2020; Alt et al., 2022). Questa svolta dettò un grande vantaggio in termini di reperibilità di energia, in quanto, a parità di quantità, la carne possiede un valore energetico decisamente maggiore rispetto agli alimenti di origine vegetale. La paleoantropologia sembra inoltre suggerire che, a partire da *Homo habilis*, ebbe inizio una progressiva espansione e modificazione della morfologia delle aree frontali e parietali della corteccia cerebrale (Tobias, 1987; E. Bruner & Beaudet, 2023). Secondo l'ipotesi del cervello sociale, questa espansione seguirebbe le spinte selettive a favore di un'evoluzione sociale, quindi in seno ad una progressiva complessità dei gruppi sociali nei quali *habilis* viveva (Dunbar, 1998). A partire dai due milioni di anni fa fece la sua comparsa *Homo ergaster*, il quale sviluppò notevolmente la lavorazione di utensili già acquisita in certa misura da *habilis*, soprattutto riguardo l'oggettistica dedicata alla caccia. Fu allora che la maggiore competenza tecnologica, unita alla caccia cooperativa, permise la cattura di prede di media e di grossa taglia, così da apportare un ulteriore incremento di risorse nutritive in relazione ai costi energetici utilizzati per procacciare il cibo. Durante lo stesso

periodo i nostri progenitori si espansero in sistemi ecologici differenti dalla foresta: occuparono le savane e, oltre ad espandersi in tutta l’Africa sub-sahariana, uscirono dal continente madre avventurandosi verso l’Europa meridionale e l’Asia, sino all’attuale Cina. È proprio il ramo asiatico di questa razza ad assumere il nome di *Homo erectus*. Quest’ultimo esemplare di *Homo* sembra essere il fautore di due dei più decisivi passi verso il comportamento sociale moderno: la creazione di accampamenti e il controllo del fuoco (E. O. Wilson, 2012).

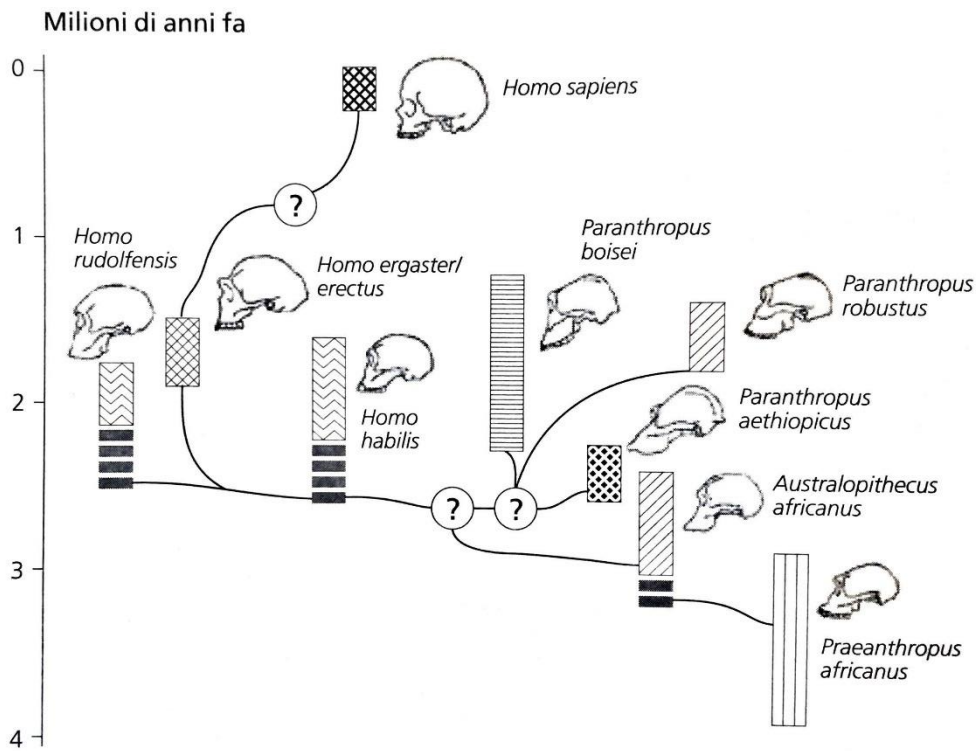


Figura 2. L’albero genealogico e la cronologia delle australopithecine e dei primitivi Homo fino alla specie umana moderna (Immagine tratta da Wilson E. O. (2013) *La conquista sociale della Terra*, Raffaello Cortina Editore, Milano, p.52).

Dato questo breve *excursus* possiamo ora sintetizzare i passaggi evolutivi fondamentali che hanno portato il genere Homo a sviluppare la socialità come vantaggio evolutivo. In *La conquista sociale della terra* (2012) Edward O. Wilson individua i preadattamenti che hanno portato l'uomo al livello più alto di socialità mai raggiunto: la vita sulla terraferma; la massiccia corporatura dei nostri progenitori; la comparsa di mani prensili; il passaggio a una dieta con una significativa presenza di carne; l'uso controllato del fuoco; l'instaurazione di bivacchi (ovvero veri e propri "nidi umani"); la divisione del lavoro.

Proviamo ora a capire punto per punto il perché ognuno di questi eventi portò, secondo Wilson, allo sviluppo della socialità:

1) La vita sulla terraferma: sembra banale dirlo, ma lo sviluppo della tecnica per come la conosciamo è subordinata all'uso del fuoco, elemento largamente incompatibile con l'acqua.

2) Una corporatura massiccia: qui si sostiene che, sotto una certa soglia di volume cerebrale (che abbisogna di un sostegno corporeo di una certa massa), le capacità cognitive potenziali siano troppo limitate per sviluppare un razicinio e una cultura di livello superiore. È un punto controverso, dato che la definizione di "corporatura massiccia" è relativa. Difatti, il processo di encefalizzazione sembra essere stato facilitato da un processo opposto, ossia dalla gracilizzazione del volto (Falzone, 2012) e dallo spostamento dell'angolo della base cranica (D. E. Lieberman et al., 2002). In linea generale possiamo essere d'accordo con Wilson, constatando la dimensione genericamente ridotta delle australopitecine, ferme restando le questioni di dettaglio che caratterizzano l'evoluzione del nostro fenotipo.

3) Comparsa di mani prensili con morbide dita a spatola e un tatto particolarmente sviluppato: dai tempi di *Ardipithecus* i nostri progenitori scesero dagli alberi e assunsero una postura eretta, diminuendo così il numero degli arti impegnati nella locomozione a discapito di una generale agilità e velocità. Così facendo riuscirono a sviluppare incredibili abilità di manipolazione degli oggetti, le cui facoltà cognitive necessarie si riverberarono in tutte le altre sfere dell'intelligenza.

4) Il passaggio a una dieta onnivora: mangiare carne ha permesso di dedicare meno tempo alla raccolta di alimenti molto meno performanti sotto il profilo energetico. Inoltre, presupponeva la caccia, disciplina nella quale la cooperazione portava enormi vantaggi a più individui, spingendo verso la formazione di gruppi organizzati.

5) Uso controllato del fuoco: ancora non ci appare cristallina la modalità con cui i nostri antenati si appropriano della facoltà di autoprodurre il fuoco. Si pensa che i tizzoni derivanti da eventi naturali accidentali (come la folgorazione di un albero) potessero essere conservati in uno stato di perenne combustione e trasportati all'evenienza. Il fuoco permise una maggiore forza di respingimento degli animali selvatici durante la notte assieme alla possibilità di cuocere gli alimenti, che apporta innumerevoli vantaggi in quanto a capacità di assimilazione e digeribilità, oltre ad alcuni benefici riguardanti la conservazione. Cuocere diventò una pratica umana diffusa, e lo scambio di cibi cotti un mezzo di socializzazione.

6) L'instaurazione di bivacchi: anche grazie all'uso controllato del fuoco, si instaurò quale pratica comportamentale il bivacco temporaneo talvolta prolungato ad alcuni giorni, abbastanza stabili da essere protetti, alla stregua di un nido. È proprio la creazione di un "nido umano" a risultare, per Wilson, un passo decisivo per la conquista dell'eusocialità da parte di tutti gli animali che ne presentano le caratteristiche. Le tracce a noi pervenute di bivacco risalgono a *Homo erectus*.

7) La divisione del lavoro: arrivata con i fuochi di bivacco, segnò il punto di svolta del carattere organizzativo della socialità. La divisione del lavoro si installava su livelli preesistenti di disposizione auto-organizzativa secondo gerarchie di dominanza, differenze di ruoli tra maschi e femmine e tra giovani e vecchi.

1.2.2 La nascita dei gruppi

Nelle società odierne è normale pensare a grandi agglomerati di *Homo sapiens* che vivono a stretto giro l'uno con l'altro. Le città che superano il milione di abitanti sono abituali, ma per la maggior parte della storia umana non è stato così. Ai tempi in cui

sapiens era ancora cacciatore-raccoglitore le società erano caratterizzate da piccoli gruppi relativamente instabili, e dispersi tra loro in aree molto vaste. Con la scoperta e la prassi dell'attività agricola, risalente a circa diecimila anni fa, divennero naturali e possibili insediamenti di più grandi dimensioni, costituiti da un numero maggiore di individui. È importante precisare che l'agricoltura in sé non costituisce il motivo dell'aggregazione sociale, ma soltanto una condizione che ne permette lo sviluppo. Robin Dunbar individua nel rischio di diventare vittima dei predatori l'incentivo ecologico alla socialità o, per meglio dire, all'unione di un piccolo numero di individui in un gruppo dove vige il patto implicito di rinunciare ai loro interessi individuali immediati, con il fine di ottenere vantaggi maggiori a lungo termine: in questo caso, come detto, l'individuazione dei predatori e la difesa da questi. Analizziamo meglio il perché dello sviluppo dei primati in senso sociale, gettando uno sguardo ad una delle teorie più impattanti.

L'ipotesi del cervello sociale (*The Social Brain Hypothesis*) fu proposta e formalizzata dall'antropologo Robin Dunbar nel 1998. Questa teoria sostiene che «[...] le richieste della vita in gruppi sociali permanenti hanno provocato la selezione di un tipo di intelligenza capace di sostenere le relazioni esistenti tra ciascun individuo e tutti gli altri membri del gruppo e, forse ancora più importante, mantenere traccia delle relazioni che altri animali nel gruppo hanno tra di loro» (Barrett et al., 2002, p. 139). A sostegno di questa ipotesi Dunbar e collaboratori pubblicarono una serie di studi in cui emerge che il volume relativo della neocorteccia, ossia lo strato più esterno della corteccia cerebrale che nelle proscimmie costituisce il 50% del volume cerebrale totale e negli esseri umani moderni circa l'80%, correla con varie misure di complessità sociale tra i primati (Barrett et al., 2002), intendendo con questa la dimensione del gruppo sociale (figura 3) e la quantità di gioco sociale all'interno del gruppo, in aggiunta all'utilizzo di inganni strategici e al numero di individui nei gruppi di *grooming* o cooperativi. Sulla correlazione tra la grandezza dell'encefalo e il grado di socialità dei primati si sono avvicendati negli ultimi anni studi che tendono a ridimensionare questa ipotesi: utilizzando un ampio campione di primati, DeCasien e colleghi (2017) individuano nella tipologia di dieta (in particolare nel cambio da folivoria a frugivoria) un predittore delle dimensioni dell'encefalo, mettendo in

discussione le ipotesi sociali a favore di quelle ecologiche. Una conclusione simile è stata raggiunta in un'altra analisi su un modello metabolico (González-Forero & Gardner, 2018) anche se, va sottolineato, questi ultimi esprimono più cautela nello scoraggiare le ipotesi sociali, sottolineando come gli aspetti culturali abbiano influenzato quelli ecologici.

Un esempio di questa influenza reciproca tra la vita di gruppo e i parametri ecologici è l'evidenza di una relazione inversa tra la grandezza dei gruppi nei primati e il rischio di predazione (Hill & Dunbar, 1998; R. A. Hill & Lee, 1998; Schaik, 1983); la vita in ampi gruppi va così costituendosi come un vantaggio evolutivo determinante. A partire dalla minaccia predatoria i nostri antenati hanno trovato nella cooperazione un modo per affrontare al meglio il pericolo, e una qualità è diventata sempre più necessaria: la sempre maggiore domanda sociale in termini di coordinazione e sincronizzazione del comportamento tra individui cooperanti. Secondo l'ipotesi dello studioso di Oxford, il crescente costo cognitivo che impose questa sempre maggiore richiesta di coordinamento comportamentale (soprattutto tra coppie di individui e in funzione della protezione della prole: basti pensare al coordinamento nella divisione del lavoro tra chi ha il compito di stare in prossimità dei cuccioli e chi invece si allontana per procurare il cibo necessario al sostentamento), è ipotizzato essere la molla per l'espansione della neocorteccia cerebrale nei primati. Facilitare il comportamento sociale significava facilitare l'individuazione di un partner affidabile e la protezione propria e della prole dai predatori. Ma sviluppare il comportamento sociale fino a quella che, in ultima istanza, conosciamo come *teoria della mente*⁶, significava anche poter permettere la vita di gruppo e l'espansione numerica dei suoi membri.

⁶In Dunbar R. (2009) *The social brain hypothesis and its implications for social evolution*, *Annals of Human Biology*, n° 36, lo studioso esplicita di star parlando di tutte quelle facoltà che preludono alla teoria della mente.

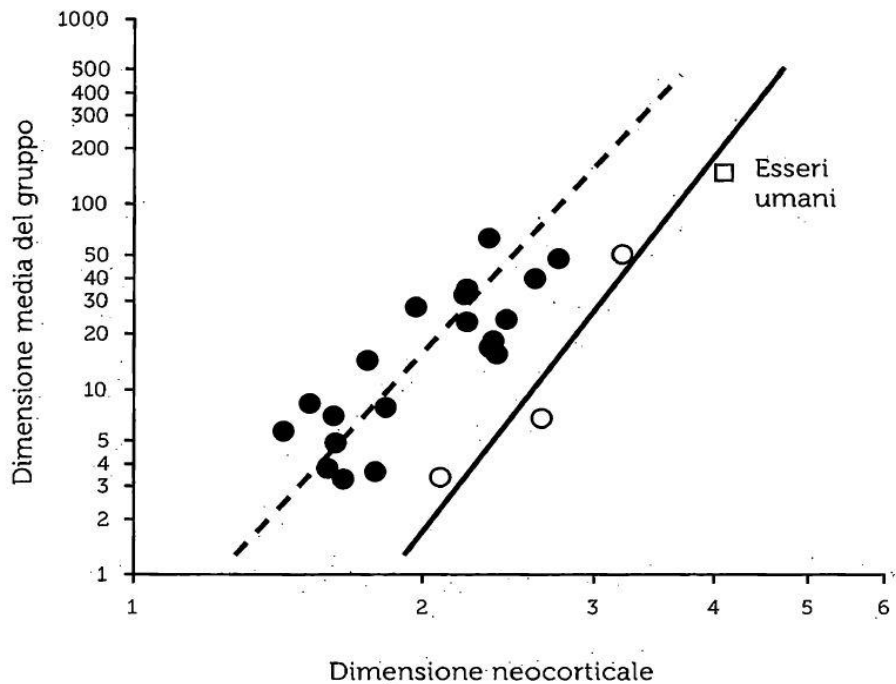


Figura 3. Schema di correlazione tra le dimensioni della neocorteccia e la dimensione media dei gruppi. Con i cerchi vuoti si indicano le scimmie antropomorfe, con quelli pieni le scimmie (da Dunbar R., Barrett L., Lycett J., *L'evoluzione del cervello sociale*, 2012, p.140).

Per Tomasello (2022) un contributo significativo allo sviluppo della capacità di mentalizzazione deriva da contesti di competizione: in periodi di carenza di cibo particolarmente intensa, l'attribuzione di stati capacitivi e intenzionali verso i conspecifici restituisce maggiori probabilità di accesso a risorse ostiche da raggiungere. Un esempio è l'utilizzo di un ramoscello sfrondata per stanare le termiti: tenere nascosta l'abilità di sfrondata il ramoscello adatto e nascondere lo strumento una volta utilizzato, ma anche il nascondere la posizione del termitaio monitorando l'essere osservati da un altro individuo, e ancora inibire l'azione di andare verso la fonte di cibo quando ci si accorge di essere osservati da un competitore, sono tutte abilità alla cui base giacciono capacità cognitive di mentalizzazione non banali, che le grandi scimmie dimostrano di possedere in varia misura. Parallelamente, l'imitazione e l'apprendimento sociale si andavano instaurando quali elementi caratteristici della vita di gruppo delle grandi scimmie. Alla base di entrambe le capacità cognitive stanza lo

sviluppo di simulazioni mentali migliori quali elementi fortemente adattivi, che ha determinato la coevoluzione delle capacità cooperative e competitive. Il contesto di questa spinta alla socialità si esprime in seno ad un'aggregazione di gruppo dapprima riguardante coppie di umani fortemente cooperanti in gruppi debolmente strutturati (forte cooperazione di coppia, scarsa cooperazione di gruppo) poi, circa centocinquantamila anni fa, la continua espansione e proliferazione dei gruppi quale organizzazione di vita di *Homo sapiens* inasprì la lotta tra gruppi e, come effetto conseguente, spinse e selezionò naturalmente quei gruppi il cui grado di cooperazione interna era più alto (Boyd & Richerson, 2005; Bowles & Gintis, 2011; Turchin, 2016). Aumentando da una parte la collaborazione e, come suggeritoci già da O. Wilson, catalizzando i vari utilizzi del fuoco come elemento di difesa, di luce e di trasformazione del cibo, gli umani moderni iniziarono ad accumulare (quando possibile) le fonti di foraggiamento in un luogo centrale rispetto all'espansione territoriale del gruppo, per meglio proteggere la loro fonte di sostentamento, e spingendo sempre di più verso la cooperazione di gruppo, quindi verso la fiducia e la lealtà dell'*ingruop* (Tomasello, 2022). La progressiva espansione delle aree cerebrali prefrontali negli esseri umani sarebbe quindi una risposta adattiva alla complessità dei sistemi sociali dentro i quali ci siamo evoluti (Adenzano & Enrici, 2005) o meglio, alla luce di quanto osservato da studi più recenti (ma non ancora in via conclusiva), l'ambiente sociale sarebbe stato il catalizzatore di molti cambiamenti della nicchia ecologica all'interno della quale si sarebbe giocata la partita della selezione naturale relativa a molte delle capacità che ci contraddistinguono come *Homo sapiens*.

Sul piano delle neuroscienze dell'ontogenesi, è stata presa in considerazione la correlazione tra il volume della neocorteccia e la lunghezza del periodo di sviluppo che intercorre tra l'infanzia e la pubertà, ovvero il periodo di socializzazione. Una sempre maggiore richiesta di materia cerebrale mal si accorda con il sistema di riproduzione dell'uomo: un volume così ampio della testa avrebbe reso impossibile la gravidanza e il parto. La soluzione selezionata in *Homo sapiens* fu partorire prima che il cervello fosse completamente formato (Dunbar, 2009). Questa lunga ontogenesi ha reso possibile la dilatazione dello sviluppo della corteccia, la cui maturità negli scimpanzé è raggiunta intorno ai 2-3 anni, ma non prima degli otto anni negli esseri

umani (Coqueugniot et al., 2004). Particolare divergenza di dimensioni sussiste tra la corteccia prefrontale e l'insula negli umani e nelle grandi scimmie, la prima genericamente indicata come la sede delle funzioni esecutive, e la seconda fortemente correlata alle emozioni sociali (Tomasello, 2022).

Un'altra interessante teoria che incrocia evolucionismo, neuroscienze e corpo è quella condotta da Insel (Insel, 2010). Lo studioso ha suggerito che una decisione sociale naturale di base (fare amicizia con l'altra persona, evitarla o attaccarla) è alla base della cognizione sociale di ordine superiore. Insel ha notato che gli androgeni e gli estrogeni, i due ormoni gonadici, controllano quasi tutte le forme di espressione sociale. Egli notò che gli studi che esaminavano l'espressione dei recettori steroidei gonadici nel cervello avevano rivelato la localizzazione delle aree cerebrali che controllano i comportamenti sociali espressivi e, poiché era stato stabilito attraverso gli studi che i recettori steroidei controllano determinati geni, era ora possibile identificare i geni controllati, aprendo la strada allo sviluppo di un modello molecolare del comportamento sociale. I recettori steroidei sono proteine che rispondono agli ormoni steroidei e ad altre sostanze chimiche all'interno delle cellule. Insieme ad altre proteine, le proteine dei recettori steroidei controllano l'espressione genica, favorendo la crescita di un individuo, nonché la funzionalità e la stabilità del suo metabolismo. Insel ha evidenziato una serie di attività sociali espressive, tra cui il comportamento sessuale, le cure parentali, l'affiliazione, il gioco sociale, la comunicazione, l'aggressività e la predazione, che sono note per essere controllate dagli steroidi gonadici.

1.3 Uno sguardo alle basi neurali della cognizione sociale

Disegnare una mappa generale delle aree coinvolte in compiti di cognizione sociale non è molto eloquente, di per sé, per l'elevato numero di compiti sociali immaginabili, e per il loro indissolubile rapporto con funzioni cognitive non necessariamente (o apparentemente) sociali, a denotare una tassonomia delle funzioni tutt'altro che discreta. Per riportare parte della discussione presente in letteratura relativa a questa difficoltà, si pensi a chi, come Pessoa, si è schierato contro la metodologia di localizzazione dei processi emotivi e cognitivi nel cervello, affermando che:

The current view of brain organization supports the notion that there is a considerable degree of functional specialization and that many regions can be conceptualized as either 'affective' or 'cognitive'. Popular examples are the amygdala in the domain of emotion and the lateral prefrontal cortex in the case of cognition. This prevalent view is problematic for a number of reasons. Here, I will argue that complex cognitive–emotional behaviours have their basis in dynamic coalitions of networks of brain areas, none of which should be conceptualized as specifically affective or cognitive. Central to cognitive–emotional interactions are brain areas with a high degree of connectivity, called hubs, which are critical for regulating the flow and integration of information between regions. (Pessoa, 2008, p. 148)

In maniera simile si esprimono Cromwell e Panksepp (2011):

Importantly, the choice of conceptual terms used to describe and study mental/neural functions can also constrain research by forcing the results into seemingly useful 'conceptual' categories that have no discrete reality in the brain. (Cromwell & Panksepp, 2011, p. 2026)

Gli stessi sostengono, nello stesso articolo, che la cognizione si è evoluta dall'elaborazione delle emozioni, evidenziando come le aree neurali umane di più recente evoluzione, generalmente deputate alle abilità cognitive-concettuali di ordine superiore, rimangono profondamente ancorate a più antichi processi cerebrali di controllo dello stato affettivo.

È però utile avere un'idea ad ampio spettro di quali aree cerebrali siano in genere maggiormente coinvolte, perché questo ci permetterà di porre attenzione agli *hub* di più significativa importanza, così da poter scendere talvolta in picchiata e approfondire, nel corso della tesi, cosa comporti localizzare un'area (o più probabilmente un network), e a quali specifici compiti questa sia correlata, nonché cercare di intenderne le implicazioni. Questi costanti “voli in picchiata” caratterizzeranno l'intera tesi, per perseguire il preciso e importante intento di un ancoramento sul livello cerebrale e neuroscientifico dello studio cognitivo.

La disciplina che si occupa dell'indagine neurale delle capacità sociali è detta *neuroscienza sociale*, e il suo intento è quello di indagare quei processi cognitivi che ci permettono di percepire, elaborare e rappresentare mentalmente informazioni relative all'ambiente sociale e agli agenti che lo compongono e lo creano (Ferrari, 2022). I dati neuroscientifici in questo ambito iniziano a diventare consistenti solo a partire dalla fine degli anni '80 del secolo scorso, con l'importante studio di Perrett e colleghi (1989) che individua neuroni del solco temporale superiore nei macachi la cui attivazione è selettiva rispetto alla presenza di stimoli umani in movimento. A stretto giro, Brody, Ring e Kling (1990) presentano uno studio nel quale si descrive la selettività agli stimoli sociali di neuroni dell'amigdala dei macachi. Di lì a poco, grazie alla già citata *Social Brain Hypothesis* (Dunbar, 1992, 1998), alla prima individuazione dei correlati neurali della *teoria della mente* (Fletcher et al., 1995), e alla pietra miliare del team di Parma sulla scoperta dei neuroni specchio (Rizzolatti et al., 1996; Gallese et al., 1996; Iacoboni et al., 1999), le neuroscienze sociali acquisiscono sempre più dati e dunque maggior forza e indipendenza, sino al 2000, anno in cui la risonanza magnetica funzionale diventa parte fondamentale dello strumentario delle neuroscienze (Phelps et al., 2000). È la svolta neuroscientifica, quella che consegue a conquiste tecnologiche quali il neuroimaging, l'elettroencefalogramma e la stimolazione magnetica transcranica. In pochi decenni i dati sono esplosi, e con essi la complessità della materia, facendo presto venire a galla limiti e compromessi delle neuroscienze sociali.

Oltre a constatare che non vi è una sola area cerebrale ben delineata relativa alle capacità sociali, anche solo definire quel complesso di caratteristiche cognitive funzionali che compongono la cognizione sociale costituisce di per sé un problema di un certo rilievo. Per fornire un esempio: è ormai chiaro che la percezione del Sé svolge un ruolo fondamentale nella cognizione dell'Altro e viceversa, come sostenuto da Gallese (Ammaniti & Gallese, 2014) attraverso il suo “approccio in seconda persona”. Tuttavia, sembrerebbe che il Sé si componga di più processi separati che attingono dalle più svariate fonti, sia interne che esterne al soggetto. Un ruolo fondamentale nella manipolazione mentale del Sé è svolto dalla corteccia prefrontale. Più nel dettaglio, si ritiene che le regioni coinvolte nell'elaborazione autoreferenziale siano la corteccia prefrontale dorsolaterale, la corteccia prefrontale ventrolaterale, la corteccia cingolata posteriore e parte della corteccia parietale (mediale e laterale) (Gazzaniga et al., 2015).

Il sistema emotivo gioca chiaramente un ruolo centrale nella comprensione dello stato d'animo altrui e nell'empatia, e quindi chiama in causa gran parte del sistema limbico, con particolare riferimento all'insula, l'amigdala, il talamo, l'ipotalamo e l'ippocampo. Particolare rilevanza ha il riconoscimento delle emozioni attraverso il volto dell'altro. Difatti, il riconoscimento dei volti ha un ruolo chiave nell'empatia, stimolo sociale per eccellenza, elemento corporeo maggiormente carico di informazioni relative all'ambiente sociale. Dapprima studiato nelle scimmie (Leonard et al., 1985; Perrett et al., 1992), un circuito neurale esclusivamente votato al riconoscimento dei volti ci rivela una specializzazione dedicata, la quale implica l'importanza adattiva della comunicazione per espressioni facciali a livello neuroanatomico. Diversi studi con fMRI hanno confermato l'attivazione selettiva di cellule del lobo temporale (solco temporale inferiore e giro temporale superiore) nell'esposizione di alcuni soggetti all'immagine di volti (Rolls et al., 1992; Tsao et al., 2006), con particolare rilevanza nel giro fusiforme dell'emisfero destro (McCarthy et al., 1997). Una sottoarea del giro fusiforme prende per l'appunto il nome di *Fusiform Face Area* (FFA), proprio per la sua selettiva attivazione nell'elaborazione delle caratteristiche statiche dei volti (Parvizi et al., 2012). Ancor prima di passare attraverso la FFA, lo stimolo proveniente dalla corteccia visiva viene elaborato a livello della *Occipital Face Area* (OFA), che

analizza le caratteristiche strutturali grezze dei volti (Pitcher et al., 2011). A chiudere il “*face network*” corticale abbiamo il *Superior Temporal Sulcus* (STS) che, lavorando in parallelo alla FFA, analizza le caratteristiche dinamiche dei volti, come le espressioni e il movimento delle labbra e dello sguardo (Beauchamp, 2015; Deen et al., 2015). Interessante è sapere che alcuni studiosi hanno ipotizzato che l’amigdala riceva direttamente l’informazione relativa ai volti attraverso regioni sottocorticali, in particolar modo il collicolo superiore e il pulvinar (de Gelder et al., 1999; Celeghin et al., 2015), dunque bypassando la classica via corticale OFA – FFA/STS.

Altri studi con EEG e potenziali ERPs hanno correlato una risposta (onda negativa) del tracciato (risposta N170) alla percezione visiva di un volto, in particolare per volti umani (Sagiv & Bentin, 2001; Carmel & Bentin, 2002; Hadjikhani et al., 2009). È infine utile riportare la ricerca di Blank, Anwander e von Kriegstein (2011), che osserva circuiti diretti che collegano le aree sensibili alla voce del STS e la FFA: gli studiosi hanno sostenuto che i loro risultati indicano che il riconoscimento di un’altra persona può avvenire in una fase molto precoce dell’elaborazione percettiva, e che questo link migliora il riconoscimento delle caratteristiche di una persona per mezzo dell’integrazione tra il sistema visivo e quello uditivo.

Sono noti anche i rapporti profondi che intercorrono tra espressione facciale e credenze: in uno studio di Strack, Martin e Stepper (1988) è stato imposto a dei soggetti di mantenere una penna chiusa tra i loro denti in un caso (che costringeva i muscoli facciali ad una sorta di sorriso obbligato) o a mantenere la penna tra le labbra (che costringeva all’inibizione del sorriso) nell’altro. I soggetti in questione sono stati poi chiamati a giudicare alcuni video animati. Il risultato ha evidenziato un giudizio maggiormente tendente al “divertente” nei casi in cui i muscoli del sorriso erano attivati dalla posizione della penna nella bocca, rispetto al caso opposto in cui la penna obbligava ad un’espressione facciale avversa al sorriso. Questa dinamica, alla base della *teoria del feedback facciale* (S. Tomkins, 1962; Ekman, 1993), era, per la verità, già stata ipotizzata da Darwin ai tempi del suo “*L’espressione delle emozioni nell’uomo e negli altri animali*” (1872). Egli notò infatti che:

La libera espressione di un'emozione, con segni esteriori, la intensifica. La repressione, nei limiti del possibile, di tutti i segni esterni affievolirebbe le nostre emozioni. La persona che compirà gesti violenti incrementerà la propria rabbia; chi non riuscirà a controllare i segni di paura si spaventerà in misura molto maggiore; e chi resta passivo quando è sopraffatto dal dolore perde una grande occasione per recuperare l'elasticità mentale⁷. (p. 256)

Molti altri studi successivi hanno rimarcato il grande rilievo dell'espressione corporea nell'elaborazione cognitiva (Adelmann e Zajonc, 1989; Havas et al., 2010; Havas, Glenberg e Rinck, 2007; Ping, Dhillon e Beilock, 2009; Söderkvist, Ohlén e Dimberg, 2018) delucidando con più forza l'importante collegamento tra il motorio e le aree limbiche, con particolare riferimento all'amigdala e all'insula anteriore. Su questo solco si muove lo studio di Hennenlotter et al. (2009), che dimostra che il feedback facciale modula l'attività neurale nell'amigdala. Utilizzando la fMRI, gli studiosi hanno rilevato un'attivazione attenuata dell'amigdala durante l'imitazione di espressioni facciali arrabbiate in partecipanti con paralisi dei muscoli corrugatori indotta dal botox. Un successivo studio (Kim et al., 2014) ha ulteriormente corroborato l'ipotesi secondo la quale il feedback facciale modula l'attività dell'amigdala, studio nel quale i partecipanti sono stati esposti passivamente a immagini di espressioni facciali felici e arrabbiate, e analizzati con fMRI. L'attività dell'amigdala è risultata attenuata quando i muscoli corrugatori sono stati paralizzati con il botox, rispetto ai test prima delle iniezioni e anche ai test dopo che gli effetti erano svaniti. Al netto del sicuro ruolo derivante dai benefici osservati dalla manipolazione dei muscoli facciali nel trattamento di stati umorali patologici, come nella depressione (Finzi & Rosenthal, 2014; Magid et al., 2014; Wollmer et al., 2014), non è ancora chiaro il preciso ruolo del feedback facciale nell'emotività: Dimberg e Söderkvist (2011), ad esempio, dimostrano una maggior efficacia del feedback facciale nel modulare le emozioni piuttosto che innescarle, o ancora Söderkvist, Ohlén, e Dimberg (2018) rilevano che il feedback facciale influisce principalmente sulle emozioni qualora queste si trovino in uno stato di incongruenza con il primo, mentre non vi è un effetto di potenziamento

⁷ Tratto dall'edizione italiana C. Darwin, *L'espressione delle emozioni nell'uomo e negli altri animali* (1872), Milano, Newton Compton, 2006, p. 256.

dell'emozione nei casi di congruenza tra feedback facciale e valenza dell'emozione. La spiegazione alla teoria del feedback facciale più diffusa afferma che il feedback che scaturisce dai modelli propriocettivi muscolari, attivato dai muscoli facciali, inneschi i corrispondenti programmi affettivi, ma altre proposte sono state avanzate riguardo l'apporto causale del feedback sensoriale della pelle, piuttosto che muscolare (Tomkins, 1980), o dell'alterazione del flusso d'aria nasale sulla temperatura del sangue cerebrale, e conseguentemente sullo stato emotivo (Zajonc et al., 1989).

La relazione che intercorre tra la comunicazione sociale attraverso le espressioni facciali e i suoi correlati neurali non è però lineare come pare risultare da un'analisi superficiale: alcuni studi mettono in dubbio il coinvolgimento della corteccia motoria della bocca nel controllo del sorriso e della risata spontanea (Wild et al., 2003; 2006). Questo tipo di espressioni impiegherebbero differenti vie neurali rispetto al riso intenzionale, e quindi dalla componente emotiva minore, con una distinzione netta proprio per quanto riguarda la corteccia motoria primaria della bocca, attivata in maniera significativamente minore per la risata spontanea ed altamente emotiva (Kern et al., 2019). Questi risultati stanno a testimoniare una complessità marcata della corteccia motoria, la cui attivazione specifica differisce talvolta per sfumature non sempre categorizzate correttamente in fase di studio e di interpretazione dei dati.

Per quanto concerne i substrati anatomici della *teoria della mente*, al netto della vasta articolazione funzionale che la capacità di lettura della mente comporta, le regioni maggiormente associate a compiti di inferenze su pensieri e credenze altrui risultano essere: la corteccia prefrontale mediale, associata alla formazione di impressioni sugli stati interiori di altre persone o esseri animati (Mitchell, 2009); la giunzione temporoparietale dell'emisfero destro, specializzata nel ragionamento riguardo a informazioni sugli stati mentali degli altri (Saxe & Baron-Cohen, 2006; Saxe & Wexler, 2005) e implicata nell'orientamento dell'attenzione (Scholz et al., 2009; Graziano, 2019); il solco temporale superiore, coinvolto nell'identificazione della posizione della testa e della direzione dello sguardo dei soggetti osservati, e dimostratosi sensibile al contesto (Pelphrey et al., 2003; Perrett et al., 1992), nonché alle analisi motorie di occhi, labbra, mani e corpo (Frith et al., 2003).

Dal momento della loro scoperta, una particolare importanza è stata attribuita ai neuroni specchio, che identificano *networks* cerebrali che si attivano principalmente in risposta di atti motori finalizzati. Il sistema mirror introduce ad una visione incarnata della capacità di determinare scopi e intenzioni altrui. Organizzati grossolanamente a livello somatotopico (Ammaniti & Gallese, 2014), i neuroni specchio sono distribuiti prevalentemente nella corteccia parietale (premotoria, motoria primaria, intraparietale laterale e parietale posteriore), con qualche segnale di distribuzione nella corteccia temporale (ibidem). Ne parleremo più nel dettaglio nel prossimo paragrafo, focalizzato sul rapporto neurale tra motorio e sociale.

Vi è infine da considerare l'ipotesi secondo la quale esisterebbero circuiti neurali appositamente ed esclusivamente dedicati alla percezione sociale. Kling e Steklis (1976) indagarono l'esistenza di un circuito simile nei primati non umani, e i loro risultati sembrerebbero confermare l'ipotesi di partenza: dal loro studio emerge che lesioni localizzate nell'amigdala, nella corteccia orbitofrontale e temporale in alcune specie di scimmie del vecchio mondo (*Old World monkeys*) sono associate ad un deperimento del comportamento sociale e una tendenza verso l'isolamento. In questa direzione si muove anche lo studio di Walter e colleghi (2004) che proposero, testando sperimentalmente attraverso risonanza magnetica funzionale, una differenza nella comprensione di stati mentali di agenti immersi in interazioni sociali rispetto ad agenti che agiscono in contesti privati. Il risultato ha evidenziato un'attivazione di alcune aree prefrontali solo in risposta a stimoli di interazione sociale.

Da questo breve volo si conferma quanto detto a inizio paragrafo, ossia l'impossibilità di tracciare una mappa pedissequa che sia possibile ripercorre con esattezza ogni volta che si voglia trovare l'abitazione neurale di una funzione cognitiva sociale. Nondimeno emergono come nodi di particolare importanza alcuni *hubs* di concentrazione di elaborazione di informazioni riguardanti la cognizione sociale.

Un particolare interesse in questa tesi ricopre il rapporto tra cognizione, corpo e socialità. È chiaro che, come accennato precedentemente, la scoperta dei neuroni specchio ha posto in tal senso un dente di arresto dal quale non è possibile svincolarsi. Dato il ruolo fondamentale che sensoriale e motorio hanno nella postulazione

dell'ipotesi centrale di questa tesi, è utile ora concentrarci su un aspetto neuroscientifico preciso, relativo al ruolo del cervello motorio nella cognizione sociale.

La riscoperta del ruolo centrale del motorio nella cognizione ha dato vita ad una sua declinazione in ambito sociale, con quella che Jacob e Jeannerod hanno poi chiamato la *teoria motoria della cognizione sociale*:

[...] the discovery of the mirror system in humans have raised the prospects of a 'motor theory of social cognition', whose goal is to derive human social cognition from human motor cognition. (Jacob & Jeannerod, 2005, p.21)

I due studiosi prendono in considerazione l'impatto che il motorio, con particolare riferimento alla scoperta dei neuroni specchio, ha avuto negli studi sulla cognizione sociale vagliando i principali campi di indagine: il *mindreading*, la comprensione delle intenzioni motorie, sociali e quindi comunicative sotto la macrocategoria di *motor simulation*, proponendo alcune acute critiche di cui parleremo tra un attimo.

Già protagonisti del dibattito, Goldman e de Vignemont (2009), con il loro approccio moderato e minimale all'*embodied cognition*, tentano di localizzare i segmenti privilegiati all'interno dei quali analizzare sotto la lente motoria, somatosensoriale, affettiva e interocettiva varie capacità cognitive, individuate nell'*imitazione*, nell'*azione congiunta*, nell'*empatia*, nella *teoria della mente* e nella *comprensione degli elementi linguistici concreti*, sottolineando, a detta loro, i limiti di un approccio corporeo alla cognizione:

The literature on mirroring and related phenomena provides support for a limited-scope version of embodied social cognition under the B-format interpretation. It is questionable, however, whether such a thesis can be extended. We show the limits of embodiment in social cognition. (Goldman & de Vignemont, 2009, p. 154)

È chiaro poi che i neuroni specchio hanno attirato su di loro molta dell'attenzione che gli studi sulla cognizione sociali stavano dedicando al motorio. Interpretati infatti come la base neurale per la comprensione dell'altro (Gallese et al., 2004), i neuroni

mirror si sono posti al centro delle spiegazioni naturalistiche a pre-rappresentazionali delle capacità cognitive sociali:

I show that this system is involved in different aspects of social cognition like action and intention understanding and social communication. I also show that the premotor system is at the basis of different aspects of the faculty of language. I conclude by introducing that the 'neural exploitation hypothesis', according to which a single functional mechanism, embodied simulation, is probably at the basis of various and important aspects of social cognition. (Gallese, 2007, p. 660)

Probabilmente la più diffusa e impattante strategia formulata dai teorici della cognizione motoria è stata quella di fare affidamento sul concetto di *simulazione* (Gallese e Goldman, 1998; Blakemore e Decety, 2001): simulare un'azione all'interno del proprio sistema motorio permette a chi simula di comprendere le azioni eseguite da altri.

Accennavamo prima alle critiche mosse da Jacob e Jeannerod (2005) riguardo al far derivare la cognizione sociale da quella motoria. Potremmo sintetizzare in due punti salienti gli argomenti dei due autori.

1) Comprendere l'intenzione motoria non significa comprendere l'intenzione sociale (uno stesso movimento può avere significati radicalmente diversi a seconda dell'autore del movimento, del ruolo che ricopre in un dato momento, del contesto e via dicendo), dunque, se ne deduce che intenzione sociale e intenzione motoria sono cose ben distinte.

2) Da alcuni dati sperimentali (Heider e Simmel, 1944; Kuhlmeier et al., 2003) emerge che gli esseri umani sono capaci di attribuire intenzioni sociali anche a oggetti geometrici in movimento, le cui strutture e dinamiche motorie poco hanno a che fare con quelle umane. Anche da qui si potrebbe dedurre che ricaviamo cognitivamente l'intenzione sociale da un dominio correlato ma differente da quello dell'intenzione motoria.

Alcune di queste obiezioni sono apparse superabili a fronte di un ripensamento della gerarchia tra motorio e sociale: se, ad esempio, postuliamo un'architettura della cognizione motoria primaria e abilitante rispetto alla cognizione sociale ne potremmo delineare meglio il ruolo adattivo, andando incontro alla spiegazione naturalistica di un riutilizzo neurale (Gallese, 2007). Possiamo dunque configurare una cognizione sociale che non si sovrappone alla cognizione motoria (cfr. Goldman, 2009). Permangono però problemi di natura concettuale nel cercare di catturare una grana unica per compiti radicalmente complessi. Partendo dai dati sperimentali, si pongono grandi interrogativi nell'interpretazione del ruolo svolto dal sistema specchio. Esso, infatti, è talvolta interpretato come sintonizzato su funzioni di alto livello, come il riconoscimento dell'intenzione altrui (Gallese, 2007), o viceversa recluso a funzioni di basso livello (Heyes e Catmur, 2022), come il matching sensorimotorio di una specifica azione motoria (cfr. Mahon e Caramazza, 2005). Facciamo ora un passo indietro e guardiamo dall'alto. Come è strutturata la componente motoria del nostro cervello?

La corteccia motoria, situata nel lobo frontale, si divide al suo interno in: corteccia motoria primaria (area 4 di Brodmann), sul giro precentrale, porzione posteriore del lobo frontale in prossimità del solco centrale; corteccia premotoria (area 6 di Brodmann), situata sulla parte laterale e suddivisa a sua volta in corteccia premotoria ventrale e corteccia premotoria dorsale; l'area motoria supplementare, nella sua porzione mediale. La corteccia motoria primaria (M1) riceve gli input della quasi totalità delle aree corticali coinvolte nel controllo motorio, e la sua struttura efferente, che prende piede a partire dal quinto strato corticale, costituisce buona parte (circa il 40%) del tratto corticospinale (Kandel, Schwartz e Jessell, 2014). Nella corteccia M1 assistiamo ad una organizzazione somatotopica, similmente a quanto accade per la corteccia somatosensoriale: specifici tratti di corteccia motoria primaria influenzano specifici gruppi muscolari. Il tutto è ben rappresentato dal famoso *homunculus motorio* (Penfield & Rasmussen, 1950), dove si può osservare la restituzione grafica della correlazione tra estensione della superficie corticale devoluta a specifiche parti del corpo, e maggior capacità di controllo motorio di quella stessa parte corporea. Ne consegue, ad esempio, che le dita della mano coprono una grande porzione della

corteccia motoria primaria, nonostante la loro dimensione corporea ridotta, in quanto il rapporto dimensionale corteccia motoria-effettore riflette la possibilità di controllo delle dita della mano, che tipicamente è molto alta nell'uomo. È da evidenziare che, seppur mantenendo la relazione tra rappresentazione dell'effettore sulla corteccia e importanza del controllo dell'effettore (similmente a come accade tra corteccia somatosensoriale e recettori), la corteccia motoria primaria presenta una organizzazione somatotopica più grezza rispetto a quella della corteccia sensoriale primaria (Gazzaniga, Ivry e Mangun, 2014). Le informazioni motorie del tratto cortico-spinale sono modulate da informazioni provenienti da altre aree chiave: le informazioni sensoriali costituiscono il feedback necessario alla progettazione dei movimenti volontari, e zone sottocorticali quali i gangli della base e il cervelletto risultano essenziali per la fluidità del movimento e per l'apprendimento motorio. La corteccia premotoria, area 6 di Brodmann, ha la funzione di preparare al movimento, mentre l'area motoria supplementare, sulla superficie mediale della fessura longitudinale, presiede a funzioni di stabilizzazione posturale e coordinazione corporea (Yip & Lui, 2022).

Nonostante il ruolo nettamente definito (la corteccia motoria presiede al controllo motorio) e il principio somatotopico che governa la corteccia motoria primaria, un consenso unanime sul contributo funzionale della M1 non è ancora stato raggiunto, soprattutto per quanto riguarda il livello del controllo motorio praticato da questa porzione di corteccia (Omrani et al., 2017). Rizzolatti, Lupino e Matelli (1998), revisionando la concezione classica e, a detta loro, troppo semplicistica dell'organizzazione della corteccia motoria, puntano l'attenzione sulla parcellizzazione di un mosaico di sotto aree motorie e sulle connessioni parieto-frontali che trasformano le informazioni sensoriali in azioni, rappresentando quindi, con specifici circuiti anatomici segregati, il *core* delle unità funzionali di base del sistema motorio. In questa sede stiliamo una breve rassegna dei ruoli della corteccia motoria in compiti di cognizione sociale. La scelta di partire quindi descrivendo il circuito specchio appare, in questo senso, obbligata.

Intorno alla metà degli anni '90 la scoperta di proprietà singolari di alcune popolazioni neurali nella parte rostrale inferiore dell'area 6 di Brodmann nei cervelli di due scimmie macaco porta all'identificazione di quello che verrà chiamato *sistema specchio* (Gallese et al., 1996; Rizzolatti et al., 1996). Questi neuroni, a tutti gli effetti classificati come neuroni premotori, dimostrano attivarsi sia all'esecuzione, da parte della scimmia, di una determinata azione, sia alla sola osservazione della stessa azione, determinando una singolare situazione di corrispondenza tra azione e percezione: la maggior parte dei neuroni specchio presenti in quest'area si attiva seguendo il rapporto che intercorre tra l'azione visiva a cui rispondono e la risposta motoria che codificano (Gallese et al., 1996), con il risultato che lo scopo dell'azione assurge a comune denominatore dell'attivazione tra azione eseguita e azione osservata. Questa scoperta rivelerà il sostrato neurale di manifestazioni studiate, facendo emergere una indipendenza dall'effettore (che sia la mano o la bocca) dell'attivazione del circuito mirror, suggerendo come determinante la codifica dell'obiettivo dell'atto motorio, e non tanto i singoli movimenti che lo vanno a formare (Rizzolatti et al., 1988). Vi è senz'altro da mettere in luce un dibattito articolato riguardo l'interpretazione della corrispondenza tra l'osservazione di un'azione e la corrispettiva rappresentazione motoria, non essendo questa una lettura sposata unanimemente. La critica mossa da Csibra (2007) ha fatto emergere il dubbio che la dinamica di specchiamento fosse non già opera diretta dei neuroni specchio, ma una conseguenza del processamento top-down di ricostruzione cognitiva dell'azione: una interpretazione neuralmente dislocata rispetto al circuito motorio, un modulo anticipatore di tracciamento predittivo per la coordinazione di azioni congiunte⁸. Una critica simile è mossa da Pierre Jacob (2009), che invita a non dare per scontato che il meccanismo di risonanza esista effettivamente, potendosi potenzialmente trattare di meccanismi già metacognitivi, dove è il concetto ad innescarsi prima per poi restituire la risposta corporea:

The fact that the same brain areas are active in a human brain when an individual experiences disgust and when he or she sees the face of another who is experiencing disgust also suggests that these brain areas constitute the neural basis

⁸ Per un'ulteriore critica sulla corrispondenza diretta tra osservazione e rappresentazione motoria vedi Jacob (2009) *The tuning-fork model of human social cognition: a critique*.

of the concept of disgust. Arguably, natural selection may have favored individuals with brain structures underlying the concept of disgust because it is highly advantageous for such omnivorous creatures as humans to be able to detect potentially poisonous food from recognizing others' experience of disgust. If so, then the emotional resonance whereby an observer empathizes with the experience of another's disgust might also be an evolutionary by-product, not the direct result of natural selection. (Jacob, 2009, p.242)

Studi più recenti tendono tuttavia a sgonfiare queste critiche, portando acqua al mulino di una risonanza immediata e non-mediata: Mazurek et al. (2018), con uno studio con elettrodi impiantati in scimmie macaco, dimostrano che, sebbene i singoli neuroni specchio nella corteccia premotoria mostrino diversi gradi di somiglianza tra esecuzione e osservazione nei tempi e nell'ampiezza della loro attività, se guardiamo il fenomeno in termini di popolazione neurale, questa tende a mostrare sequenze di stati neurali simili durante l'esecuzione e l'osservazione dell'azione, rappresentando intere sequenze comportamentali, simili per esecuzione e osservazione. Con risultati simili, Papadourakis e Raos (2019) confermano la natura connessionista delle proprietà specchio, con una congruenza ottenuta sul livello della popolazione neurale e una codifica motoria invariata sia durante l'esecuzione che durante l'osservazione di un'azione finalizzata, nella corteccia premotoria dorsale (PMD).

Per ciò che riguarda la corteccia premotoria ventrale, uno studio di Umiltà e colleghi (2008) mostra che neuroni della sezione rostrale (PMVr) e parte dei neuroni della corteccia motoria primaria della mano presi in esame (misurati anche qui su campioni di singoli neuroni in scimmie macaco) si attivano in relazione all'obiettivo dell'atto motorio, agevolando l'interpretazione secondo la quale il sistema motorio corticale possiede una cablatura diretta dell'obiettivo dell'atto motorio, come ad esempio raggiungere, tenere, afferrare (Rizzolatti e Fabbri-Destro, 2008), e suggeriscono che la visione di un'azione appresa inneschi una simulazione motoria degli aspetti dell'attività della corteccia motoria primaria necessari per eseguire l'azione osservata, riflettendo un'elaborazione legata alla comprensione, all'apprendimento o alla ripetizione mentale dell'azione (Dushanova e Donoghue, 2010).

È rilevante ricordare che la corteccia premotoria ventrale è connessa con l'area della mano nella corteccia motoria primaria (Matelli et al., 1986), e che microstimolazioni intracorticali nella PMVr evocano movimenti della mano e della bocca a soglie generalmente più elevate rispetto alla corteccia motoria primaria. La corteccia premotoria dorsale (PMD), diversamente, è associata alla pianificazione e all'esecuzione dei movimenti degli arti anteriori (Wise et al., 1997). La scarica dei neuroni della PMD è fortemente modulata in relazione a parametri di *raggiungimento* (Caminiti et al., 1998; Messier e Kalaska, 2000), corroborando la lettura secondo la quale la PMD costituisca un nodo cruciale del circuito mirror (Bonini, 2017) sia nelle scimmie (Raos et al., 2007; Bruni et al., 2018; Papadourakis e Raos, 2019) che negli umani (per una metanalisi su studi fMRI: Molenberghs et al., 2012). Ulteriori studi hanno individuato attivazioni di neuroni mirror nell'area motoria primaria (Tkach et al., 2007; Vigneswaran et al., 2013) e nella corteccia premotoria dorsale (sezione caudale – PMDc) del macaco, anche in assenza di un effettore osservabile (come mano o bocca), ossia in esclusiva presenza del raggiungimento dell'obiettivo (Cisek e Kalaska, 2005).

A partire dalla loro caratterizzazione generale, particolarmente incline a tracciare ponti nel terreno dell'intersoggettività, sono stati suggeriti⁹ meccanismi neurofisiologici basati sui *mirror networks* che potrebbero essere alla base di molte delle capacità afferenti alla cognizione sociale: nell'apprendimento delle azioni (Cook et al., 2014), nell'imitazione (Molenberghs et al., 2009), nel riconoscimento delle emozioni ed empatia (Iacoboni, 2009; Keuken et al., 2011) e nella teoria della mente (Gallese, 2013; Le Petit et al., 2022). Passiamo ora brevemente in rassegna le linee di tendenza relative alle aree motorie dei circuiti mirror coinvolte nell'identificazione dell'obiettivo, dell'intenzionalità motoria e dell'empatia, con l'aspro dibattito che le accompagna. Anche se andremo ora ad osservare il ruolo del circuito mirror nelle aree motorie, deve essere chiaro a chi legge che le aree coinvolte nell'attività dei neuroni mirror non si limitano alla corteccia motoria e premotoria, come illustrato da Giese e

⁹ Per alcune trattazioni di carattere generale: Frith e Frith 2007, 2012; Gallese 2007, 2013; Rizzolatti e Fabbri-Destro 2008.

Rizzolatti (2015), ma si estendono significativamente al giro frontale inferiore (IFG – includendo l'area di Brodmann 44), al lobulo parietale inferiore (IPL) e al solco temporale superiore (STS) (Sadeghi et al., 2022). In diverse specie di primati, i circuiti dei neuroni mirror includono, oltre alle regioni precedentemente menzionate, anche l'insula, l'amigdala e la corteccia cingolata, supportando le funzioni empatiche incarnate e la sincronizzazione comportamentale, come rilevato da Tramacere e Ferrari (2016). Durante l'imitazione e l'osservazione di specifici schemi motori legati alla bocca e associati a emozioni primarie (come felicità, tristezza, rabbia, disgusto, sorpresa e paura), vengono attivate specifiche aree mirror nella corteccia motoria primaria, nella corteccia premotoria, nella corteccia sensoriale e nella corteccia motoria pre-supplementare (Carr et al., 2003).

A partire dagli studi sui primati non umani, la ricerca si è focalizzata sull'individuazione di catene di neuroni cablate per la codifica di atti motori intenzionali che, attivandosi nella doppia occorrenza di azione o osservazione degli atti mirati ad uno scopo, permetterebbero di attivare a cascata l'intera catena neurale al verificarsi degli elementi preliminari di un atto, dunque stimolando il programma motorio ancor prima che questo venga interamente attuato, permettendo all'osservatore di comprendere predittivamente l'azione (Fogassi et al., 2005; Kilner et al., 2007). Studi successivi confermano tale meccanismo anche negli essere umani (Cattaneo et al., 2007; Molenberghs, Cunnington e Mattingley, 2012; Rizzolatti et al., 2014) alimentando la proposta di posizionare questo circuito neurale alla base della capacità di comprensione delle emozioni, dei desideri e delle intenzioni altrui (Gallese, 2007; Kilner e Lemon, 2013; Oberman, Pineda e Ramachandran, 2007).

Ciononostante, il dibattito sull'implicazione dei neuroni specchio nella comprensione delle intenzioni altrui rimane aperto e controverso. Hasson e Frith (2016) hanno sollevato questioni critiche riguardo all'attribuzione di capacità di lettura delle intenzioni ai neuroni specchio. Essi evidenziano una dicotomia: da un lato, se un neurone specchio risponde a un atto motorio specifico, allora la sua capacità esplicativa si dovrebbe limitare a quel contesto preciso e non estendersi alle intenzioni. Dall'altro lato, se un neurone specchio risponde a un obiettivo in modo più generale,

potrebbe perdere il suo ancoraggio alla base motoria a favore dell'intenzione. D'altra parte, gli studi sperimentali, in particolare quelli basati su analisi multivoxel attraverso fMRI, indicano chiaramente che i neuroni specchio, compresi quelli nella corteccia premotoria, hanno un ruolo fondamentale nella comprensione delle azioni osservate, anche quando variano le specificità dell'azione (come la dimensione dell'oggetto coinvolto nell'azione motoria). Tuttavia, è più complesso affermare che gli stessi neuroni siano causalmente coinvolti nella rappresentazione degli obiettivi e delle intenzioni delle azioni (Wurm e Lingnau, 2015; Wurm e Caramazza, 2019), come sostenuto invece da Rizzolatti e Fogassi (2014), che nella loro review hanno evidenziato l'esistenza di diverse classi di neuroni specchio, alcune delle quali codificano atti motori a un livello più astratto. Questo aspetto è stato sottolineato anche da Heyes e Catmur in una recente rassegna sul ruolo dei neuroni specchio, dove hanno rimarcato che, sebbene il contributo dei neuroni specchio sia ben consolidato nel processamento di basso livello delle azioni osservate, lo stesso non si può dire per l'interpretazione di azioni di alto livello, come l'inferenza sulle intenzioni motorie dell'agente osservato (Heyes e Catmur, 2022). Ciò costringe ad un approccio più cauto rispetto all'entusiasmo iniziale. In questa direzione, gli studi di neurostimolazione della corteccia premotoria, come quelli condotti da Michael e colleghi (2014), hanno mostrato che questa area è necessaria per l'identificazione delle intenzioni soggiacenti all'azione osservata. Tuttavia, Catmur (2014), suggerisce che questa identificazione potrebbe non essere diretta o causale per la comprensione delle intenzioni altrui. Di conseguenza, si propende per assegnare ai neuroni specchio un ruolo di livello inferiore, ovvero quello di supporto al riconoscimento e alla discriminazione dell'azione osservata, come sottolineano Thompson e colleghi (2019) nel loro articolo *“Conceptualizing and testing action understanding”*.

Un'ipotesi derivante dalle scoperte sui neuroni specchio sostiene che essi abbiano un ruolo cruciale nella rappresentazione dell'azione per comprendere le emozioni altrui. Nell'esperimento di Carr e colleghi (2003), utilizzando la risonanza magnetica funzionale, è stata osservata una notevole sovrapposizione dei network attivi sia durante l'osservazione sia durante l'imitazione muscolare di espressioni facciali emotive. In entrambi i contesti, si è registrato un intenso coinvolgimento delle aree

premotorie corticali, supportando l'idea che la rappresentazione dell'azione medii il riconoscimento delle emozioni negli altri, anche in fase di osservazione. Un ulteriore aspetto rilevante del sistema mirror, dal punto di vista sociale, emerge dalla maggiore attivazione corticale rilevata quando l'agente osservato appartiene allo stesso gruppo sociale dell'osservatore. In uno studio condotto da Molnar-Szakacs et al. (2007), mediante stimolazione magnetica transcranica a singolo impulso, è stata misurata l'eccitabilità corticospinale e del sistema mirror dell'area fronto-parietale in due condizioni: nella prima, i soggetti erano esposti all'osservazione di atti motori dotati di scopo eseguiti da membri del proprio gruppo culturale; nella seconda condizione, i soggetti erano esposti all'osservazione degli stessi atti motori eseguiti da membri di un gruppo culturale differente. I risultati mostrano una maggiore eccitabilità del tratto corticospinale (interpretata come fenomeno di risonanza motoria) negli individui che osservano azioni eseguite da membri del proprio gruppo, un comportamento riscontrato anche nel circuito specchio, indicando una sensibilità al gruppo etnico di appartenenza oltre che agli elementi di un repertorio motorio condiviso. È interessante notare che, quando venivano mostrati gesti tipici di un gruppo eseguiti da attori di un altro gruppo, si verificava una minore eccitabilità del tratto corticospinale, suggerendo una risposta di mis-matching piuttosto che di matching, il che implica che il sistema mirror modula il proprio comportamento anche in base a differenze culturali. Risultati simili sono stati osservati nella modulazione sensorimotoria del rispecchiamento del dolore verso membri dell'ingroup o dell'outgroup (Avenanti et al., 2010).

La recente metanalisi di Bekkali e colleghi (2021) sul ruolo del sistema specchio nell'empatia rivela però che gli studi empirici non sono omogenei nei loro risultati. Per quanto riguarda il coinvolgimento del sistema motorio, sono state proposte varie ipotesi. Il modello della *simulazione incarnata* (Gallese e Goldman, 1998; Gallese, 2003a) suggerisce che il sistema specchio permetta un meccanismo "come se", attraverso il quale si può simulare internamente un'azione osservata, creando un legame implicito tra osservatore e osservato. Il modello *percezione-azione* (Preston e de Waal, 2002; de Waal e Preston, 2017) postula un collegamento fisiologico tra l'osservatore e l'agente osservato, grazie a una "mappatura" dei modelli di attività fisiologica sugli stati motori ed emotivi. In entrambi i casi, le aree sensoriali e motorie

contribuiscono a rappresentazioni comuni tra chi agisce e chi osserva, facilitando l'empatia e la comprensione reciproca. Il centro di queste proposte è posizionare un meccanismo simulativo interno, con supporto strutturale da individuare nel *mirror network*, per definire un collegamento diretto tra l'empatia e la comprensione dell'intenzionalità altrui, basandosi dunque sulle proprietà motorie dei corpi in azione.

Tuttavia, la letteratura scientifica sulla relazione tra i neuroni specchio e l'empatia rimane controversa a causa delle variazioni nelle definizioni e nelle misurazioni del costrutto di *empatia* utilizzate negli studi, nonché delle incertezze metodologiche e dei limiti pratici delle tecniche impiegate per misurare l'attività dei neuroni specchio. Inoltre, la maggior parte delle evidenze sull'associazione tra neuroni specchio e processi cognitivi sociali legati all'empatia è di natura correlazionale, rendendo incerto il ruolo causale del sistema specchio nell'empatia. La ricerca in neuroscienze spesso si basa su campioni di dimensioni ridotte e poco diversificati, affidandosi eccessivamente all'interpretazione dei risultati (Button et al., 2013). Infine, sebbene le teorie attuali siano plausibili, mancano di una solida validazione empirica (Bekkali et al., 2021).

Un'altra area di interesse cruciale nella comprensione degli elementi minimi di cognizione sociale è il rapporto tra azione congiunta, una forma intrinsecamente sociale di azione, e i modelli motori sottostanti. Le azioni congiunte, definite come azioni che richiedono la coordinazione dei movimenti personali con quelli di altri individui (Tomasello et al., 2005), necessitano del monitoraggio e dell'integrazione del proprio comportamento motorio con quello altrui per raggiungere un obiettivo comune (Gallotti et al., 2017; Pezzulo et al., 2021; Cardellicchio et al., 2020). Sebbene si sia già discusso dei neuroni specchio, è fondamentale riconoscere il loro ruolo essenziale anche nelle azioni congiunte (Bekkering et al., 2009). Nelle interazioni tra agenti, compiti cognitivi chiave includono la capacità di prevedere e riadattare le proprie aspettative motorie in base alle informazioni percettive sul comportamento dell'altro e, di conseguenza, saper riformulare rappresentazioni integrate delle azioni proprie e altrui in tempo reale (Novembre et al., 2014). In questo senso, si assume che il cervello attui *simulazioni motorie* (Jeannerod, 2001), o *rappresentazioni motorie* (Wilson e Knoblich, 2005; Goldman e de Vignemont, 2009; Ménoret et al., 2015), originate da

codifiche di percezione e azione; che queste simulazioni siano comuni tra agenti che agiscono congiuntamente e che facilitino le interazioni sociali (Decety e Jackson, 2004; Schippers e Keysers, 2011).

Questa tipologia di simulazione è stata talvolta interpretata attraverso la teoria della codifica predittiva, proponendo che una rappresentazione congiunta dell'obiettivo possa essere vista come un modello predittivo gerarchico dell'interazione (Friston, 2008), e l'errore di previsione interpretato in termini di continuo adattamento e rielaborazione del proprio comportamento motorio in relazione a quello del partner interagente (Pesquita et al., 2018; Hilt et al., 2020). La rappresentazione anticipata del movimento dimostra la capacità del cervello di sopperire alle discontinuità degli input visivi utilizzando modelli interni, ed è rilevante notare che la percezione dei movimenti eseguiti da conspecifici può anche basarsi sulle rappresentazioni motorie impiegate durante la pianificazione e l'esecuzione delle azioni (Ramnani e Miall, 2004). Ulteriori studi che utilizzano la stimolazione magnetica transcranica hanno evidenziato come una funzione importante dei processi di rispecchiamento dell'azione sia quella di derivare dalle conoscenze motorie degli osservatori previsioni specifiche sul futuro comportamento altrui (Urgesi et al., 2010).

Nel contesto della cognizione sociale, un aspetto fondamentale è il ruolo della corteccia motoria primaria nel feedback "sensazione-azione". Studi su scimmie e su esseri umani hanno suggerito che la corteccia motoria primaria fornisca un substrato neurale per l'integrazione delle informazioni relative al movimento di spalla e gomito per il controllo a feedback, una competenza vitale per generare correzioni rapide e precise (Soechting e Lacquaniti, 1988; Kurtzer et al., 2008). Pruszynski et al. (2011) hanno evidenziato che la M1 è parte di una via a feedback transcorticale essenziale per il controllo volontario.

Riguardo alle basi neurali dell'azione congiunta, un esperimento di Ferrari-Toniolo e colleghi (2019) ha rivelato l'attivazione di neuroni nella corteccia premotoria dorsale sinistra in primati non umani durante condizioni di *joint actions* (in questo caso, una coordinazione di impulsi di forza su un joystick), attivazione che non si verificava nelle azioni individuali. Gli studi fMRI sugli esseri umani hanno interpretato questi

dati come supporto neurale alle rappresentazioni motorie congiunte di alto livello (Sacheli et al., 2019). Studi che utilizzano potenziali ERPs hanno mostrato che la pianificazione di un'azione congiunta modula l'ampiezza dei potenziali evento-correlati P3a (nel lobo frontale) e P3b (nel lobo parietale), legati alla classificazione degli stimoli e all'aggiornamento delle rappresentazioni congiunte (Kourtis, Sebanz, et al., 2013), suggerendo che gli agenti in azione congiunta anticipano non solo le proprie azioni, ma anche quelle del partner.

Prendendo come riferimento la metanalisi di Bolt e Loehr (2021), l'attività motoria, oltre a far parte del processo di distinzione tra sé e gli altri (Kokal et al., 2009; Novembre et al., 2012), è fortemente influenzata dalla presenza di un contesto di azione congiunta, sia nell'osservazione che nell'azione (Wilson e Knoblich, 2005; Ménoret et al., 2014; Novembre et al., 2014; Obhi e Cross, 2016). Interpretare questa modulazione non è un'operazione banale, alla luce dell'intrinseca difficoltà di studio delle interazioni *online*. Alcune interpretazioni suggeriscono che questa modulazione possa essere dovuta alla simulazione dell'azione del partner durante l'azione congiunta (Kourtis et al., 2010), a un effetto sull'attenzione o sulla motivazione degli agenti (M. Meyer et al., 2011), o ancora a una modifica della rappresentazione dell'azione che diventa interattiva (Tsai et al., 2011). Ciò che, allo stato dell'arte, è possibile confermare è quindi che l'azione congiunta modula l'attività di varie aree motorie corticali, tra cui la corteccia motoria primaria, la corteccia premotoria e l'area motoria supplementare.

Da ciò emergono alcuni punti cruciali. Le azioni congiunte provocano un'attività motoria maggiore rispetto alle azioni individuali, che si manifesta in un aumento dell'attività motoria legato alla simulazione predittiva delle azioni del partner (Kourtis, Knoblich, et al., 2013; Bolt e Loehr, 2021). L'attività di numerose aree motorie, premotorie e motorie supplementari è modulata dall'azione congiunta in modo significativo, ma queste aree sono reclutate in modo diverso a seconda dei requisiti specifici di ogni azione congiunta monitorata, confermando il ruolo causale di specifiche attività motorie nel facilitare la coordinazione comportamentale.

I dati sembrano dunque indicare un ruolo cruciale del motorio nelle competenze sociali di base, come la comprensione implicita degli obiettivi dell'azione, l'azione congiunta, la coordinazione e l'empatia. Tuttavia, ciò non implica una sovrapposizione tra i due domini. La critica di Jacob e Jeannerod rimane ancora in parte valida e ha stimolato una riconcettualizzazione della relazione tra sociale e motorio: il secondo supporta il primo, ma non si sovrappone ad esso. Inoltre, con la revisione attuale dello stesso homunculus motorio (Gordon et al., 2023; Leopold, 2023), si prevedono profonde implicazioni per la ricerca sulle componenti minime della cognizione sociale.

È evidente che la svolta incarnata abbia riaffermato l'importanza della nostra capacità di movimento nella cognizione, essenziale per la socialità tipicamente umana. Nell'interazione, il sensorimotorio diventa cogente non solo nel mondo fisico ma nel mondo sociale, connettendosi e dedicando materia neurale al perfezionamento della socialità. Questo paragrafo ha evidenziato le aree ancora oscure e le sfide che incontriamo nel tentativo di spiegare le nostre capacità di interazione, sia dal punto di vista dei risultati delle neuroscienze, che sono ancora in una fase embrionale, sia da un punto di vista epistemologico-concettuale che accompagna tali indagini. Nonostante ciò, a trent'anni dalla scoperta dei neuroni specchio, si apre la strada per coloro che desiderano fondare una socialità basata neuroscientificamente sull'azione e sulla percezione.

1.4 Corollario: coscienza e soglia di emersione

Vi è un corollario dovuto, che non troverà un suo specifico spazio nella tesi se non quello che sto ora per dedicargli, ma che altresì sarebbe di gran beneficio immaginare come un proseguimento. L'assunto è che la coscienza sia un terreno di distinguo per il concetto di rappresentazione, sin troppo tralasciato rispetto agli studi sulla rappresentazione. La coscienza rappresenta un livello sopra il quale la rappresentazione simbolica, ma anche quella incarnata, può retroagire sull'agente come se si trovasse in una camera d'eco. Se la manipolazione delle rappresentazioni mentali, come sostenuto classicamente, definisce il *core* della cognizione, la coscienza è lo spazio nel quale l'intenzionalità trova nuovo spazio di manovra, una esplosione di possibilità ricorsiva. Concepire la coscienza come uno spazio di lavoro di alto livello alla quale accedono per competizione informazioni dominio specifiche è una delle maggiori vie battute dagli anni '90 ad oggi. Baars sviluppa in questo senso l'ipotesi dello spazio di lavoro globale (1993, 2002, 2005) diventato poi neuronale con l'aiuto di Dehaene (2014). Le informazioni entrano e attraversano il cervello superando differenti livelli neuronali e funzionali. Queste informazioni, sottoforma di segnali elettrochimici, competono nel sostrato cellulare con meccanismi di potenziamento o inibizione del segnale elettrico: un segnale entra nel reticolo neuronale e inizia un viaggio tra i vari livelli per raggiungere quelli più alti, attraversando processi di inibizione tra ricettori vicini (inibizione laterale - Hadel, 1973) in quello che è, in una panoramica allargata, un continuo processo di sfrondamento del segnale. Nata in ottica modularista, la teoria di Baars ci dice che molte di queste computazioni avvengono localmente in zone del cervello dominio-specifiche, queste computazioni competono per emergere in un network cerebralmente esteso che funzionalmente appare come un «teatro della coscienza» (Baars, 2005, p.47), una zona in luce interna alla struttura della *working memory*. È questa zona di luce che permetterebbe la trasformazione delle informazioni percettive in rappresentazioni mentali e la loro stabilizzazione in memoria per un certo lasso di tempo (Dehaene & King, 2016). Ma la gestione del conflitto neuronale ha trovato efficacia evolutiva nella selezione di quella che genericamente è chiamata «attenzione», senza la quale «ciascun agente

esprimerebbe a gran voce i propri segnali [...] e il comportamento risultante sarebbe, nel migliore dei casi, caotico. «Per offrire una risposta coerente al proprio ambiente, l'animale ha bisogno di un'attenzione più centrale» (Graziano, 2020, p.15) ovvero una capacità di concentrare le risorse cognitive sugli stimoli salienti in un dato momento, per generare risposte efficaci e coordinate (Koenig et al., 2016). Se per Dehaene l'attenzione è, insieme alla vigilanza e all'accesso cosciente, uno degli elementi necessari alla definizione di cosa sia la coscienza, è però «il fatto che alcune delle informazioni alle quali si presta attenzione arrivino infine alla nostra consapevolezza e diventino riferibili agli altri» (Dehaene, 2014, p. 26) a contare come reale coscienza. Al contrario, per Graziano l'attenzione ne è l'elemento costitutivo. Ma è più complesso di così: gli esseri umani hanno dei modelli interni, costituiti in seno alla nostra storia evolutiva e al nostro sviluppo durante l'arco della nostra esistenza, che ci informano sia di vari aspetti del mondo, sia di noi. Lo schema corporeo è uno di questi modelli interni che costituisce “la mappa mentale del nostro corpo”. Questa mappa è un modello in quanto non ingloba dentro sé ogni fibra muscolare, ogni tendine o ogni nervo, ma si limita a uno schema somatosensoriale approssimato (per chiare esigenze di economia cognitiva). Così come possediamo un modello della nostra corporeità, per Graziano abbiamo sviluppato diversi modelli che ci informano continuamente con un buon grado di approssimazione, ma che ci permettono anche di controllare gli oggetti dei nostri modelli (Graziano, 2019), così come controlliamo il corpo utilizzando il nostro schema corporeo. Ecco che uno schema di attenzione diventa fondamentale per dirigere la nostra attenzione e per «rivendicare il possesso di un'esperienza soggettiva» (Graziano, 2019, p.53). Senza questo modello di attenzione il contenuto attentivo sarebbe per noi irrilevante, e non porterebbe a quella consapevolezza di cui parla Graziano, così come una corporeità senza uno schema corporeo sarebbe del tutto inconscia, deterministica e determinata nella sua meccanicità, per quanto la sua complessità possa restituire risposte comunque complesse.

L'ipotesi proposta da Graziano è, a suo dire, in pieno accordo con la teoria dello spazio di lavoro globale di Baars e Dehaene, ma quest'ultima non spiegherebbe come mai lo spazio di lavoro globale sia associato alla coscienza. «La teoria è, per così dire,

descrittiva ma non esplicativa» (ivi, p. 47). Sembra così rimanere aperto un punto: se il cervello è un costruttore di modelli interni, ogni modello di una qualche funzione sarebbe implementato a livello neurale, così come lo è per lo schema corporeo e la corteccia somatosensoriale? La nozione di modello interno arriva dall'ingegneria (Conant & Ashby, 1970; Francis & Wonham, 1976), e lo stesso Graziano spiega il funzionamento dello schema di attenzione attraverso la postulazione (non solo teorica ma anche pratica) di una macchina virtuale dotata delle funzioni necessarie. Ma il punto è proprio questo: una macchina virtuale artificiale riesce a svolgere funzioni a partire da algoritmi scritti necessariamente dall'uomo. Ma i nostri algoritmi cerebrali? Quelli sono frutto di piccoli cambiamenti e adattamenti ma, a differenza degli algoritmi digitali, non vengono scritti in previsione di una funzione prestabilita. Il processo evolutivo appare più come collage frutto di prove ed errori, e giustificare la coscienza affermando che vi sia a monte un modello della nostra coscienza rischia di far fare capolino all'idea di un progetto intelligente. Per affrontare questo punto, Graziano ci espone alcuni esempi di modelli interni anche in animali non umani: è dimostrato per esempio che il *tetto* cerebrale svolge nella rana il ruolo di aggregatore di informazioni visive ma anche di mapping di queste stesse informazioni in maniera spazio-topica, ovvero ciascun punto sulla superficie del tetto corrisponde a un punto nello spazio circostante all'animale (Ingle, 1973). Quando, nella fase finale del Carbonifero, i rettili comparvero come variante evuzionistica dagli anfibi (Sahney et al., 2010), svilupparono il *Wulst*, una sorta di tetto più sofisticato contenente la mappatura visuospatiale organizzata e la mappa dei ricettori sensoriali, espandendosi in una lamina stratificata una volta che i rettili mammaliani si trasformarono in mammiferi (Molnár et al., 2014), accrescendo quindi la regione talamica e corticale. È questo, in breve, il processo evolutivo che, secondo Graziano, è stato selezionato dalla sempre crescente necessità di setacciare e sfrondare l'informazione fino a sintetizzarla in sottogruppi.

Riassumendo la posizione di Graziano, e aggiungendo alcune deduzioni: l'evoluzione ha attivato processi di cattura e selezione dell'informazione a partire dai sistemi pluricellulari. Il sistema cerebrale è uno di questi sistemi, particolarmente complesso, che riesce a selezionare l'informazione in modo sofisticato e flessibile, e l'efficacia

della selezione dell'informazione si è riflessa nell'efficacia delle risposte (le azioni sul mondo dell'agente corpo-cervello) rispetto alle informazioni catturate e selezionate. Questo processo basilare, stratificatosi e miglioratosi con l'evoluzione della struttura cerebrale, ha creato sul livello funzionale dei modelli, o schemi, ovvero pattern dinamici di relazione tra informazioni "ripulite" dagli elementi non utili o minimamente impattanti. Questi modelli avrebbero quindi un corrispettivo neuronale, anch'esso flessibile sia sul piano filogenetico che ontogenetico. Uno di questi modelli, il modello dell'attenzione, ha generato in unione con altri schemi (si pensi allo schema corporeo) la possibilità dell'esperienza soggettiva. Informando il soggetto di cosa l'attenzione è, e di come funziona, lo schema di attenzione mi informa anche di cosa prende possesso l'attenzione degli altri individui simili a me, dato che, grazie ai sistemi incarnati descritti da Gallese e tutto quell'elenco di facoltà descrivibili in B-format alla maniera di Goldman come il riconoscimento dei volti, il tracciamento oculare, il rispecchiamento delle emozioni e via discorrendo, l'altro è riconosciuto avere le stesse mie facoltà di attenzione, di possesso mentale del mondo circostante:

Non ci rendiamo necessariamente conto che stiamo costruendo questo stravagante modello di attenzione. Emerge automaticamente, dandoci la curiosa impressione di percepire la coscienza che emana da altre persone. E facciamo tutto questo perché l'evoluzione ha scoperto una soluzione pratica a un problema importante: predire il comportamento altrui. [...] La coscienza è un modello antico, molto semplificato, affinato dall'evoluzione per svolgere due funzioni principali: (1) [*costituire*] un modello del sé, per sorvegliare, per fare previsioni e per controllare la propria attenzione e (2) [*fungere da*] catalizzatore della cognizione sociale, che ci ha permesso di creare modelli degli stati intenzionali altrui. (Graziano, 2019, p. 70)

Teoria dello spazio di lavoro globale neuronale, teoria dello schema di attenzione ma anche la teoria dell'informazione integrata (IIT - Tononi, 2004), seppur nelle loro radicali differenze, ci raccontano di come la coscienza sia una peculiare caratteristica emergente utile ad aggregare globalmente informazioni che, più in accordo con l'IIT che con le altre proposte, sostengo essere di natura sensomotoria. Essa permette la

manipolazione *top down* tipica dell'esperienza cosciente, per l'emersione di rappresentazioni mentali che conservano la multimodalità del formato originaria, selezionate positivamente dall'evoluzione grazie alla loro forza comunicativa, che permette l'utilizzo di simboli condivisi, e quindi la nascita della cultura.

Capitolo 2

La rappresentazione è ancora un costrutto utile per le scienze cognitive?

Nel capitolo precedente si è tentato di rendicontare, a partire da dati di tipo evoluzionistico e neuroscientifico, la complessità del tema della rappresentazione all'interno delle attuali scienze cognitive. Esse rappresentano oggi il terreno sul quale si gioca la partita più importante. La sua utilità quale costrutto epistemologicamente efficace è minata dalla difficoltà di formularne un significato univoco, ulteriormente esacerbata dal processo di riscrittura delle scienze cognitive contemporanee rispetto alle definizioni classiche.

Alle porte di questa seconda parte di lavoro, si intende definire il concetto di rappresentazione analizzandolo nel dibattito contemporaneo delle scienze cognitive, per poi riallacciare il costrutto (che vedremo in quale forma e misura debba, a mio modo di vedere, essere conservato) ai temi della socialità incarnata. Il passaggio, che vedremo essere denso nei temi e pregno di interrogativi, costituisce, *ça va sans dire*, il perno centrale sulla natura della cognizione attorno al quale è avviluppato il dibattito contemporaneo. Definire la cognizione come un dispositivo di manipolazione di simboli astratti porta a conclusioni molto diverse rispetto all'inquadrarla quale simulatore di stati sensoriali, o ancora quale attuatore di percezioni e azioni in accoppiamento contingente con il mondo. Affrontare il tema della rappresentazione significa quindi prendere posizione rispetto al modo di inquadrare il problema, il che porta inevitabilmente ad accettare alcune conclusioni e respingerne altre, o tentare, sulla traccia delle evidenze sperimentali, di interpretare i dati in favore della continuità naturalistica (dunque evoluzionistica) quale prerogativa imprescindibile delle scienze cognitive contemporanee.

Affermare che la rappresentazione mentale sia un costrutto utile, significa già schierarsi. Anche trattandosi di una corrente di pensiero maggioritaria, il

rappresentazionalismo è messo alla prova dei fatti da una sempre più folta schiera di ricercatori che si proclama contro la rappresentazione. C'è una forte assunzione alla base di quegli enunciati che sostengono l'antirappresentazionalismo: la rappresentazione è ridondante. Perché rappresentare il mondo dentro la nostra mente se il mondo è lì, davanti ai nostri sensi, pronto per essere "agito"? Questa è un'assunzione apparentemente forte perché assolve al *principio di parsimonia* meglio di quanto non faccia il rappresentazionalismo, e vedremo che ci sono più di sparuti dati empirici a sostenere un *engagement* diretto tra ambiente e agente, senza passare per la rappresentazione mentale. Eppure, appaiono essere ancora troppe le capacità cognitive o i comportamenti che sembrano pretendere un costrutto simile per essere spiegati.

D'altro canto, adottare una prospettiva rappresentazionalista non significa aver detto molto riguardo al tipo di rappresentazione che tentiamo di sostenere. Tale concetto, difatti, naviga attraverso un mare di significati¹⁰ che si discosta talvolta nettamente da quello "classico" di simbolo mentale amodale. Tale e tanta è la confusione generata dall'evoluzione del significato di *rappresentazione* che è possibile incontrare in letteratura posizioni autodefinitesi antirappresentazionaliste che prevedono concetti del tutto sovrapponibili a quello di rappresentazione, ma chiamati in maniera differente per accentuarne un aspetto piuttosto che un altro (citerò la confusione creata in questo senso da Alva Noë). Molto di ciò che sarà scritto in questo capitolo riguarda questo enorme fraintendimento definitorio.

Al netto delle non trascurabili questioni terminologiche, il concetto di rappresentazione acquisisce nuova propulsione epistemologica dal momento in cui il problema si è andato focalizzando sul suo contenuto: cosa c'è all'interno di una rappresentazione mentale? Definirne il contenuto significa, almeno in parte, definirne l'ontologia, la sua costituzione, e da quali strutture prende essa piede. Ecco che il contenuto corporeo della rappresentazione mentale si muove verso una riqualificazione di un corpo messo troppo celermente in secondo piano, a beneficio di

¹⁰ Già prima della nascita dell'*embodied cognition* definire un significato univoco del costrutto di rappresentazione era impresa ardua, come dimostra il paper di Bickhard (1998) intitolato *Levels of representationality*.

un *software del cervello* istanziato sulla matrice elettrochimica dei neuroni. Il corpo torna ad essere prepotentemente al centro della cognizione, e la sua possibilità di percepire ed agire assumono valenze tutt'altro che periferiche. Ma il corpo ha diverse modalità, diverse semantiche e diversi modi di agire nel mondo; questi ne definiscono le possibilità che andiamo ora ad esplorare criticamente.

2.1 La rappresentazione classica

L'idea rivoluzionaria, alle fondamenta della nascita delle scienze cognitive, stanza nell'assunto che la mente sia essenzialmente elaborazione di rappresentazioni mentali di carattere simbolico, dunque astratto. A partire da questa idea, retaggio di una filosofia analitica che intendeva equiparare il linguaggio naturale ad un linguaggio formale, derivano una serie di deduzioni a cascata che hanno dominato il panorama epistemologico sino al tramonto dello scorso secolo. La prima e più importante deduzione? La cognizione è un processo computazionale.

La concezione tradizionale della computazione nel campo delle scienze cognitive si origina dalle figure seminali di questa disciplina, principalmente Jerry Fodor in riferimento alla filosofia della mente, e Noam Chomsky, nel suo impiego del concetto di computazione cognitiva per la facoltà del linguaggio. Quest'ultimo aspetto è divenuto fondamentale per le scienze cognitive della seconda metà del XX secolo. Il pilastro centrale della teoria computazionale della mente, come sostenuto da Fodor (2000), è l'idea che i processi intenzionali siano operazioni sintattiche che agiscono su rappresentazioni mentali, ovvero la manipolazione di simboli astratti. Tuttavia, l'approccio di Fodor, che limitava dichiaratamente la computazionalità ai processi intenzionali, non è stato il percorso principale per le scienze cognitive tradizionali. Queste ultime hanno esteso il concetto di computazionalità (e di conseguenza rappresentazionalità) a tutta la cognizione, in particolare quella che riguarda i processi subconsci (cfr. Di Francesco, 2002), che presentano una relazione complessa e non immediatamente evidente con l'intenzionalità delineata da Fodor, dichiaratosi più volte

scettico sulla possibilità di poter attribuire una natura computazionale alla totalità degli aspetti cognitivi:

È senz'altro possibile che vi siano aspetti della cognizione su cui l'innatismo computazionale coglie abbastanza nel segno. Ciò malgrado, è assai plausibile sospettare che questa teoria sia, in larga misura, falsa.» (Fodor 2004, p. 5)

Le origini filosofiche di questo approccio risalgono direttamente alla logica formale e alla teoria degli insiemi di Georg Cantor (1874) e dalla filosofia analitica, preludio alla svolta linguistica di Gottlob Frege (1891). Secondo questa visione, il linguaggio naturale è paragonabile a un linguaggio formale, dotato di una struttura logica basata su proposizioni verificabili. I componenti di queste proposizioni sono simboli con una relazione di referenza verso gli oggetti del mondo reale. Tale referenza stabilisce il collegamento tra gli oggetti reali e le loro rappresentazioni mentali. Pertanto, la computazione, ovvero la manipolazione di questi simboli rappresentativi, è essenziale nel processo del pensiero (il cosiddetto "linguaggio del pensiero" secondo Fodor) o, più ampiamente, nella cognizione. È rilevante notare che la computazione in questione si concentra sulla componente sintattica delle informazioni semantiche del linguaggio del pensiero. La teoria di Cantor sulla corrispondenza tra linguaggio formale e linguaggio naturale, così come proposta da Frege, è stata messa in discussione da Bertrand Russell (1902) per mezzo delle sue celebri antinomie (cfr. Anellis, 2008). Nel medesimo anno, anche David Hilbert (1902) cercò di dimostrare la coerenza dell'aritmetica nel suo "*Secondo Problema Matematico*", tentando di descrivere un sistema formale aritmetico coerente. Tuttavia, gli sforzi di Hilbert naufragarono definitivamente quando Kurt Gödel (1930) formulò i suoi due teoremi di incompletezza: i) Ogni sistema sufficientemente potente, assiomatizzabile e coerente è sintatticamente incompleto; ii) Ogni sistema sufficientemente potente, assiomatizzabile e coerente, è incapace di dimostrare la sua stessa coerenza. Di conseguenza, un sistema formale capace di esprimere l'aritmetica elementare può generare una proposizione autoreferente, espressa nel linguaggio del sistema, che risulta indecidibile all'interno dello stesso sistema.

Decisive sono le deduzioni che ne derivano per la teoria della computabilità: «neanche la teoria della computabilità può, quindi, evitare di oltrepassare gli inviolabili limiti deduttivi dei sistemi formali enunciati dai teoremi di Gödel» (Falzone, 2008, p.51). A dispetto di ciò, parte della promessa dell'intelligenza artificiale (AI d'ora in avanti) è riuscire a spiegare e riprodurre quel coacervo di capacità cognitive che chiamiamo "intelligenza", e che quindi questa possa essere esprimibile dalle potenzialità logiche un sistema formale. Per l'AI classica pensare è computare: elaborare informazioni operando su dati mediante regole algoritmiche. Fu Lucas il primo ad opporsi a questa idea, proprio in virtù dei teoremi di incompletezza di Gödel:

Gödel's theorem must apply to cybernetical machines, because it is of the essence of being a machine, that it should be a concrete instantiation of a formal system. It follows that given any machine which is consistent and capable of doing simple arithmetic, there is a formula which it is incapable of producing as being true - i.e., the formula is unprovable-in-the-system - but which we can see to be true. It follows that no machine can be a complete or adequate model of the mind, that minds are essentially different from machines. (Lucas, 1961, p.113)

Altri tentativi emersero nel corso del Novecento per continuare a credere a quell'idea. D'altronde, per Gödel stesso i suoi teoremi non dimostrano l'impossibilità di un'intelligenza formale. Il filosofo analitico, in una delle sue *Lectures* pubblicate postume, esplicita che potrebbe darsi che «*la mente umana (nel regno della matematica pura) [...] sia dunque equivalente a una macchina finita che è incapace di comprendere interamente il proprio funzionamento*» (Gödel & Feferman, 1995, p. 309). Secondo Hofstadter (1979), una caratteristica distintiva dell'essere umano è la capacità di uscire dal sistema, una facoltà che né un sistema formale né un computer possono esercitare, e ciò potrebbe voler dire saper "sospendere l'algoritmo interno", che porterebbe all'indecidibilità, per utilizzare altre regole formali. In un contesto simile si colloca la posizione di Penrose (1989) che sostiene che l'essere umano, attraverso l'uso dell'*insight*, possa trascendere i limiti di qualsiasi sistema matematico formalizzato, pur essendo cognitivamente costituito da questi ultimi.

Il computazionalismo classico, fondando le sue radici filosofiche sulla logica analitica, enuncia una versione antibiologista e decorporificata della cognizione: la mente è un

software che risponde alle regole della logica formale. Per sintetizzare, così come ha fatto Fodor (2000, pp. 18-19), si direbbe che la *teoria computazionale della mente*, è definita secondo i seguenti tre parametri:

- i) I pensieri hanno ruoli causali in virtù della loro forma logica.
- ii) La forma logica di un pensiero sopravviene alla forma sintattica della rappresentazione mentale corrispondente.
- iii) I processi mentali (ivi incluso, paradigmaticamente, il pensiero) sono computazioni, ossia operazioni definite sulla sintassi delle rappresentazioni mentali, e conservano attendibilmente la verità in un numero illimitato di casi.

2.1.1 La modalità della rappresentazione

Se la computazione è un'operazione formale su rappresentazioni strutturate sintatticamente, la rappresentazione mentale, intesa classicamente come stato mentale dotato di contenuto simbolico, deve presentare delle caratteristiche che portano a definirla "a-modale", in quanto è dalla struttura sintattica delle rappresentazioni di contenuto proposizionale che è possibile quella computazione descritta alla maniera di Turing. Come a dire: per mettere insieme sintatticamente elementi differenti è necessario che il formato di questi sia il medesimo, ed è un formato proposizionale che non ha nulla a che fare con la modalità dei sensi (cfr. Chomsky, 1980). Tuttalpiù, i sensi servono a quella prova di verità sul mondo che costituisce il contenuto semantico di una rappresentazione mentale, ma che è del tutto marginale rispetto ai modi di elaborazione delle rappresentazioni interni alla mente, che sono strettamente logici, quindi legati alla struttura sintattica del contenuto proposizionale. La teoria rappresentazionale classica della mente ci dice che gli stati mentali sono stati simbolici dotati di un *veicolo*, di un *riferimento* e di un *contenuto informativo* (Zipoli Caiani, 2016). Descrive sinteticamente Dennett:

There are structural elements that are symbols; there are multiple tokens of types of representation (where these types are individuated syntactically, not

semantically); there are rules of formation or composition rules-something like a grammar-so one can form big representations out of little representations; and the meaning of the larger representations is a function of the meanings of their parts.
(Dennett, 1982, p. 215)

Uno dei primi studiosi ad arricchire la concezione di rappresentazione e ad ipotizzare una più complessa relazione tra informazione e contenuto della rappresentazione fu Allan Paivio (1971) che, con la sua *Teoria del doppio codice*, ipotizza due distinti sistemi di codifica dell'informazione alla base della creazione di altrettanti tipi di rappresentazione mentale: uno relativo all'elaborazione di informazioni verbali, le cui unità di base sono chiamate "logogens", e l'altro relativo all'elaborazione di informazioni multimodali a generazione di immagini mentali, le cui unità di base prendono il nome di "imagens". I due sistemi sono sì distinti, ma profondamente interrelati, al punto che «*imagery can and does occur as an associative reaction to words, and that it plays a part in our memory for (and comprehension of) language*» (Paivio, 1971, p. 8).

Per Paivio, le immagini mentali (*imagery*) riguardano la rappresentazione simbolica di situazioni concrete ed eventi vissuti in prima persona. Inoltre, componenti delle immagini mentali come la percezione visiva, sono contraddistinte da un processamento in parallelo. Di converso, il sistema verbale (*verbal system*) è caratterizzato dalla capacità di raggiungimento di simboli astratti, e processa informazioni in maniera sequenziale.

Di lì a poco il dibattito si fece più acceso, con Pylyshyn (1981) e Kosslyn (1980) divisi su ciò che, a loro parere, dovesse bastare a spiegare la fenomenologia e i risultati sperimentali relativi alle immagini mentali: il primo, difatti, sosteneva la sufficienza del simbolo, il secondo alludeva invece ad un formato "quasi-pittorico" della rappresentazione mentale dell'immagine.

Paivio, Pylyshyn e Kosslyn, già dagli anni '70, ci pongono davanti ad un problema che risulterà cruciale una ventina di anni dopo: che formato ha una rappresentazione mentale?

2.2 La rappresentazione incarnata

Il problema del formato della rappresentazione mentale emerge sia dalle questioni irrisolte interne alla logica analitica, che abbiamo visto essere la base filosofico-concettuale del computazionalismo classico, sia dalla pressante difficoltà di spiegare ogni sorta di oggetto mentale facendo riferimento al solo formato amodale proposizionale. Storicamente, la crisi del cognitivismo classico riguardo al formato della rappresentazione mentale è, da una parte, dovuta alla critica riduzionista arrivata con il progresso delle neuroscienze negli ultimi decenni del XX secolo, che hanno spinto verso una naturalizzazione della funzione mentale che mal si adatta alla concezione classica; dall'altra, è frutto dell'intensificarsi delle posizioni embodied, esplose attraverso la posizione radicale espressa nel manifesto del '93 ad opera di Varela, Thomson e Rosch *The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience*, che dettò l'agenda del dibattito sulla rappresentazione mentale e che innescò la rivoluzione delle 4E che ancora oggi tiene banco nel dibattito filosofico sulla mente, e che ci apprestiamo ad analizzare. Ad oggi, sono molte le posizioni radicali della cognizione incorporata che cercano di togliere di mezzo il costrutto di rappresentazione, visto come retaggio di un dualismo ineluso. Molte altre posizioni embodied meno radicali conservano il costrutto di rappresentazione spingendo sul problema del formato che questa o quella rappresentazione presenta. Si pensi, come esempio paradigmatico, alla formulazione del concetto di *schema corporeo*, sostenuto neuroscientificamente dalla presenza di aree cerebrali che ne rappresentano struttura e possibilità di movimento all'interno della corteccia sensoriale primaria, e che costituisce una forte prova del fatto che il sistema corpo-cervello, come soluzione adattiva, abbia sviluppato la possibilità di mappare attraverso i sensi la "coperta di Markov" che costituisce il limite tra noi e il mondo, configurato in modo che sia ricettivo a certa informazione proveniente dall'ambiente. La presenza di uno schema corporeo evidenzerebbe la necessità di un sistema cognitivo sensorimotorio di costruire una rappresentazione mentale del suo stesso corpo. La questione si fa più articolata se, seguendo Gallagher (1986) e de Vignemont (2007a; 2007b), si attua una prima articolazione del concetto di rappresentazione corporea sviluppata attraverso la

differenza che intercorre tra *l'immagine corporea*, ossia la parte di informazione sensoriale e le credenze relative al proprio corpo di cui siamo consapevoli (forma, dimensione, colore, etc.) e lo *schema corporeo*, risultato di competenze sensorimotorie inconsapevoli, che costituisce la mappatura utile alla pianificazione e all'esecuzione delle azioni. Questa distinzione è supportata da evidenze empiriche che fanno riferimento a casi di negligenza spaziale unilaterale, o *neglect syndrome*, con conservato schema corporeo ma compromessa immagine corporea (Halligan et al., 2003), e che ci fanno riflettere sull'opportunità di individuare nella consapevolezza una linea di demarcazione nelle funzioni cognitive.

Per coloro i quali sostengono tesi rappresentazionaliste, è banale rimarcare quanto molte capacità laterali siano dovute alla rappresentazione corporea: si pensi, a titolo esemplificativo, alla percezione degli oggetti, all'orientamento spaziale o alla pianificazione delle azioni. Si guardi anche ai rapporti profondi che intercorrono tra schema corporeo, immagine corporea e credenze; in un non recente ma molto noto studio (Strack, Martin e Stepper, 1988), è stato imposto a dei soggetti di mantenere una penna chiusa tra i loro denti in un caso (che costringeva i muscoli facciali ad una sorta di sorriso obbligato) o a mantenere la penna tra le labbra (che costringeva all'inibizione del sorriso) nell'altro. I soggetti in questione sono stati poi chiamati a giudicare alcuni video animati. Il risultato ha evidenziato un giudizio maggiormente tendente a giudicare divertente il video osservato nei casi in cui i muscoli del sorriso erano attivati dalla posizione della penna nella bocca, rispetto al caso opposto in cui la penna obbligava ad un'espressione facciale avversa al sorriso. Questa dinamica, alla base della *teoria del feedback facciale* (S. Tomkins, 1962; Ekman, 1993), era, per la verità, già stata ipotizzata da Darwin ai tempi del suo "*L'espressione delle emozioni nell'uomo e negli altri animali*" (1872). Egli notò infatti che «la libera espressione di un'emozione, con segni esteriori, la intensifica. La repressione, nei limiti del possibile, di tutti i segni esterni affievolirebbe le nostre emozioni. La persona che compirà gesti violenti incrementerà la propria rabbia; chi non riuscirà a controllare i segni di paura si spaventerà in misura molto maggiore; e chi resta passivo quando è sopraffatto dal

dolore perde una grande occasione per recuperare l'elasticità mentale¹¹». Molti altri studi successivi hanno rimarcato il grande rilievo dell'espressione corporea nell'elaborazione cognitiva (ad esempio: Havas, Glenberg e Rinck, 2007; Ping, Dhillon e Beilock, 2009; Havas *et al.*, 2010; Kim *et al.*, 2014; Söderkvist, Ohlén e Dimberg, 2018), che sembrerebbero quindi sostenere l'importante ruolo della rappresentazione del proprio corpo e del proprio volto nella formulazione di credenze sul mondo.

Torneremo successivamente sui concetti di immagine e schema corporeo, perché costituiscono due temi forti della posizione rappresentazionalista incarnata e, in particolare, ci interesserà la differenza posta sul piano della consapevolezza/non-consapevolezza cui abbiamo accennato, per molti punto nodale nella definizione di cosa sia una rappresentazione. Inoltre, costituisce il terreno di indagine di molta letteratura enattivista utile ai nostri scopi. Ma prima immergiamoci sul dibattito che si è sviluppato in seno al formato e al contenuto di una rappresentazione mentale dopo la svolta embodied delle scienze cognitive.

2.2.1 La rappresentazione corporea

Goldman e de Vignemont (2009) propongono di assegnare un formato corporeo ad alcune rappresentazioni, quelle cioè che costituiscono il dominio motorio, somatosensoriale, interocettivo e affettivo. In quest'ottica, le rappresentazioni mentali in formato corporeo (*B-reps*) assumono un importante ruolo causale per la cognizione tutta, e sono caratterizzate da un contenuto corporeo (*B-content*) e da uno stesso formato (*B-format*): la rappresentazione mentale corporea è quindi tale in virtù del suo contenuto corporeo, che ne detta la codifica cognitiva. La proposta di Goldman e de Vignemont configura un embodiment che tenta di spiegare parte della cognizione (non

¹¹ Tratto dall'edizione italiana C. Darwin, *L'espressione delle emozioni nell'uomo e negli altri animali* (1872), Milano, Newton Compton, 2006, p.256.

quindi la sua interezza) ricorrendo al formato corporeo in determinate tipologie di informazione cognitiva, quelle generalmente definite *low-level*:

There are two core elements in my approach. The first element appeals to the idea of bodily representational codes (or formats), i.e., hypothesized mental codes that are primarily, or fundamentally, utilized in forming interoceptive or directive representations of one's own bodily states and activities (Goldman and Vignemont 2009). The second element of the approach adduces wide-ranging evidence that the brain reuses or redeploys cognitive processes that have different original uses. If this redeployment idea is applied to bodily formats of representation, they jointly encourage the prospect that body-coded cognition is an extremely pervasive sector of cognition. (Goldman 2012).

Sembra quindi giusto affermare che, nella concezione di Goldman, la cognizione incarnata non descrive l'interezza della cognizione, ma è intimamente legata ad altre tipologie di rappresentazioni non immediatamente embodied, attraverso processi di riutilizzo neurale, in pieno accordo con la *neural exploitation hypothesis* (Gallese, 2008), *massive redeployment hypothesis* (M. L. Anderson, 2007) e il più generale concetto evuzionistico di *exaptation* (Gould & Vrba, 1982; Gould, 1991), teorie che sostengono l'interpretazione secondo la quale aspetti cruciali della cognizione si sono evoluti a partire da meccanismi neurali originariamente dedicati all'integrazione sensorimotoria e che, più in generale, precise aree cerebrali siano ingaggiate a supporto di numerose funzioni, anche molto diverse tra loro.

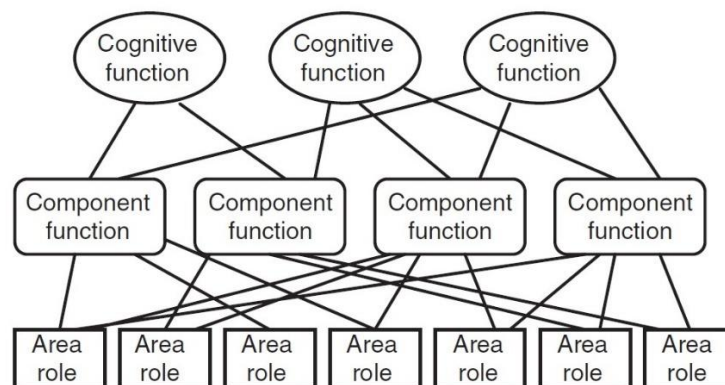


Figura 4. Schema grafico del funzionamento gerarchico del riutilizzo neurale. Una funzione cognitiva si può comporre di diverse componenti, che a loro volta sono

sostenute dalla computazione neurale di differenti aree cerebrali (da Anderson, 2007, p. 162).

Lo stesso Gallese, nel libro scritto a quattro mani con Ammaniti (2014), abbraccia la concezione goldmaniana di rappresentazione corporea come avente uno specifico profilo motorio, visceromotorio e somatosensoriale, cablata in maniera incarnata a stati del corpo correlati ad azioni, sensazioni ed emozioni, che costituiscono quell'apparato comune tra membri della stessa specie. La proposta di Goldman e de Vignemont cerca quindi di formulare una sorta di tassonomia del formato rappresentazionale, definendo varie forme racchiuse sotto l'etichetta di "corporeo". È una posizione che rende conto della forte volontà delle scienze cognitive di riformare la rappresentazione classica in modo radicale, ma che denuncia anche una volontà di mantenerla quale categoria centrale. La proposta non tenta di spiegare però il modo in cui i formati rappresentazionali interagiscono tra di loro a formare il processo cognitivo. Per far questo ci rivolgiamo all'ipotesi simulazionista.

2.2.2 L'ipotesi simulazionista

Sebbene rintracciabile nelle sue idee prototipali già in Hume (1739), e in Alexander Bain (1868), il *simulazionismo* muove la sua proposta moderna a partire dagli studi di Gordon e Heal (Gordon 1986; Heal e Butterfield 1986), ripresi e articolati dallo stesso Goldman (Goldman, 1992; Goldman e Sripada, 2005; Goldman, 2006; Shanton e Goldman, 2010), e Hesslow (2002, 2012). Particolare successo ha avuto nello studio della cognizione sociale, con particolare riferimento alla ricerca sul *mindreading*. Qui, la formulazione embrionale dell'ipotesi simulazionista pone come alternativa alla lettura della mente classica (di tipo rappresentazionale-computazionale) l'idea di una simulazione dell'altro nel sé, nel senso di simulazione propria di condizioni invece proprie ad un altro essere umano e, così facendo, riuscire a determinare i contenuti degli stati mentali altrui. Non è tra gli obiettivi di questa tesi affrontare il complesso corpus della *Teoria della mente*, ma importante è notare che l'ipotesi simulazionista

non riguarda solo la capacità di mentalizzazione, insinuandosi nella descrizione dei meccanismi basilari di comprensione del mondo, che a loro volta permetterebbero capacità di immaginazione, imitazione, proiezione in spazi e tempi mentali diversi dal qui e ora, e molte altre capacità ancora.

È sul crinale delle capacità simulativa che si muovono le ricerche di Lawrence Barsalou. Nel suo articolo del 1999 “*Perceptual Symbol System*” (PSS), Barsalou descrive una cognizione essenzialmente basata su percetti sensoriali. Durante l'esperienza percettiva, per come descritta nel PSS, le aree associative nel cervello catturano, in maniera bottom-up, i pattern di attivazione delle aree somatosensoriali relativi a quella esperienza. Questo pattern potrà costituire in seguito materia cognitiva necessaria alla rappresentazione di categorie nella misura in cui, in maniera top-down, si potrà procedere ad una riattivazione parziale delle aree sensorimotorie a implementazione dei simboli percettivi richiamati. La materia di cui è composto il mentale è qui inestricabilmente legata al simbolo percettivo, ossia ad una rappresentazione schematica del pattern sensorimotorio che lo costituisce, e così anche la memoria. Lo *storage* e la riattivazione dei simboli percettivi, che costituiscono la materia di base della cognizione, operano quindi al livello delle componenti percettive, non su quello dell'esperienza percettiva olistica. Le rappresentazioni, create da componenti multimodali catturate durante l'esperienza, vengono riattivate simulando la percezione, l'azione e l'interocezione associate ad essa (Barsalou, 2008). Un esperimento cruciale in questo senso riguarda il condizionamento pavloviano letto in ottica simulatoria: Nyber e colleghi (2000) hanno rilevato, tramite studio con tomografia ad emissioni di positroni (PET), che in soggetti sottoposti a situazioni di condizionamento classico di associazione tra parole-stimolo visive e suoni, la rievocazione di parole-stimolo visive suscita inevitabilmente l'attivazione della corteccia uditiva tanto che dopo la codifica parola-suono, l'attivazione delle regioni cerebrali uditive è stata osservata anche durante il riconoscimento visivo delle parole, quando non era né richiesto né contemplato implicitamente il recupero delle informazioni uditive, corroborando l'ipotesi di processi di rievocazione e reintegrazione eminentemente sensoriali.

Con l'intercessione dell'attenzione selettiva, la rappresentazione schematica delle varie componenti percettive è estratta dall'esperienza e stoccata in memoria. Le memorie implementano simulatori percettivi, che possono quindi riprodurre le componenti. Questi simulatori, a loro volta, implementano un sistema concettuale basilico che rappresenta *tipi*, supporta *categorizzazioni* e produce *inferenze categoriali*, nonché proposizioni, concetti astratti e via discorrendo. I simulatori percettivi sono ricorsivi e combinatoriali, così da contenere la possibilità di produrre complesse simulazioni. Queste simulazioni sarebbero alla base delle funzioni cognitive alte (*Perceptual Theory of Knowledge*).

L'assunto di base della PSS è che i contenuti dello stato percettivo nel sistema sensorimotorio sono estratti e conservati nella memoria a lungo termine per funzionare come simboli. La struttura interna di questi simboli non è più amodale, come nel rappresentazionalismo classico, ma è piuttosto modale e analogicamente correlata allo stato percettivo che produce il simbolo. In quanto analogica, la struttura del simbolo percettivo corrisponde allo stato percettivo che lo ha prodotto. La tesi di Barsalou muove dalla presa d'atto dei numerosi problemi, che già al tempo iniziavano a manifestarsi con vigore, dell'approccio amodale al simbolo: esistono difatti poche evidenze empiriche dirette che i simboli amodali esistano (Snodgrass, 1984; Theios and Amrhein, 1989) e più di una *review* sistematica ha concluso che i *conceptual symbols* hanno un carattere percettivo (Glaser, 1992; Seifert, 1997). Dalle neuroscienze emerge che la conoscenza categoriale è profondamente ancorata (*grounded*) alle regioni sensorimotorie del cervello (Damasio, 1989; Gainotti et al., 1995). Difatti, la difficoltà principale delle posizioni amodaliste è riuscire a spiegare come un qualcosa di astratto possa concretizzarsi in assenza di referenti del mondo fisico. Una tentativo di risoluzione di questo annoso problema sta nell'affermare che i simboli amodali siano collegati a rappresentazioni percettive conservate nella memoria a lungo termine (Harnad, 1987; Neisser, 2014). Tale proposta, seppur interessante, si espone al problema della ridondanza: a cosa serve un secondo *layer* amodale, se puoi spiegarlo già con il modale?

Le proprietà principali dei *perceptual symbols* possono quindi essere riassunte come segue:

- Sono rappresentazioni neurali mappate in regioni sensorimotorie del cervello che rappresentano componenti dell'esperienza percettiva.
- Sono registrazioni di parziali (*subset*) attivazioni neurali attive durante la percezione (*schematic aspect of perceptual experience*). Questo aspetto schematico e parziale dell'esperienza percettiva deriva dall'attenzione selettiva che isola le informazioni percettive e le immagazzina isolatamente nella memoria a lungo termine, e soddisfa aspetti di economia cognitiva.
- Le aree associative hanno l'importante ruolo di integrare le informazioni percettive (Squire, Knowlton e Musen, 1993).
- Il *perceptual symbol* può essere inteso nell'ottica dei sistemi dinamici non lineari, come attrattore di un sistema complesso a network.
- È inoltre componenziale, non olistico. Si basa su una moltitudine di elementi percettivi multimodali.
- L'intero PPS è basato sull'integrazione dei simboli percettivi per mezzo di un simulatore che produce infinite simulazioni di componenti percettive.

L'idea di una simulazione interna è qui proposta da Barsalou come un computer di stati percettivi. Sottesa è quindi l'ipotesi di una vita cognitiva che è il risultato di diverse gradazioni di componenti percettive che, riattivandosi e mescolandosi, permettono sia la vita cognitiva stessa, che gli elementi della cognizione più alta, come il linguaggio, il *decision making*, e via dicendo.

Germund Hesslow (2002, 2012), altro grande promotore della teoria simulazionista, articola la sua proposta in tre assunti, che individuano tre caratteristiche della simulazione, differenti ma contigue: la *simulazione del comportamento*, o più specificamente della componente motoria; la *simulazione della percezione*, dunque della componente sensoriale; la *simulazione come anticipazione*, ossia l'esistenza di meccanismi in grado di associare motorio e percettivo, così da poter anticipare sensazioni e azioni future sulla base di quelle presenti. In altre parole, una volta che il meccanismo di anticipazione è in atto, assistiamo a catene di risposte e percezioni

simulate. Un'azione simulata nel lobo frontale genera una percezione simulata delle sue probabili conseguenze nella corteccia sensoriale. Questa attività può servire da stimolo per una nuova azione e così via (Hesslow, 2012, p.76). Ciò che caratterizza la proposta di Hesslow è l'esplicito rifiuto di invocare il costrutto di rappresentazione mentale per ciò che riguarda la simulazione. Nonostante i molteplici punti di contatto con la PSS di Barsalou, rimane più nettamente definita in Hesslow la precedenza del carattere motorio/sensoriale rispetto al simbolico e alla rappresentazione mentale, vicine a tal punto da costituire quasi un tutt'uno in Barsalou. In Hesslow, infatti, la simulazione mentale è meramente basata su meccanismi associativi, e non fa appello ai simboli, alle rappresentazioni o ai modelli interni (concetti che non respinge, ma che pone a valle della cognizione, non a monte).

A prova di quanto sostenuto da Hesslow, molti dati sperimentali: studi condotti con PET e fMRI riscontrano l'attivazione di aree motorie e premotorie sia in movimenti eseguiti che immaginati (Decety et al., 1994; Lotze et al., 1999; Meister et al., 2004). Altresì, è noto da molto tempo che le aree sensoriali sono attive nell'immaginazione di eventi percettivi (Farah, 1988; Kosslyn et al., 2001; Kosslyn, 2005; S. Hurley, 2008; Moulton & Kosslyn, 2009) come nell'esperimento di Davidson e Schwartz (1977) nel quale, tramite l'utilizzo di EEG, si è chiesto a venti soggetti di immaginare una luce lampeggiante e una sensazione di picchiamento sull'avambraccio, a fasi alterne e talvolta contemporaneamente. I risultati hanno mostrato l'attivazione della corteccia somatosensoriale in corrispondenza somatotopica dell'avambraccio quando immaginato il picchiamento, e della corteccia visiva primaria quando immaginata la luce. Esperimenti simili confermano la stessa attivazione della corteccia uditiva per compiti di immaginazione sonora (Zatorre et al., 1996; Schürmann et al., 2002; Per una revisione dei dati empirici: Hubbard, 2010). Questi studi fanno però sorgere un problema: si sarà notato che è indagata, nella totalità degli studi menzionati, l'immaginazione come testimonianza della simulazione, soprattutto nella sua intrinseca relazione con il corpo e con le aree motorie e sensoriali della corteccia cerebrale. Ne emergono dunque sì dati a sostegno della simulazione quale funzione centrale della cognizione, ma anche un indugio sul convincerci che la simulazione non sia necessariamente già rappresentazione, dato che la richiesta di immaginare un

evento sensoriale viene posta dagli sperimentatori ai soggetti in maniera imperativa, e dunque passa per una piena intenzionalità top-down cosciente dell'atto di immaginare. Quest'atto è ciò che di più rappresentazionalista possiamo immaginare: si potrebbe infatti sostenere che i soggetti stanno sicuramente simulando in quanto stanno attivamente rappresentando sensazioni e azioni nella loro mente. Come rispondere allora alla seguente domanda: la simulazione e la rappresentazione sono funzioni cognitive effettivamente differenti? Si tenterà di fornire una risposta nel capitolo successivo in maniera affermativa, attribuendo alla rappresentazione una natura filogenetica intrinsecamente sociale di cui non beneficia (necessariamente) la simulazione. Per ciò che cattura il nostro interesse in questo capitolo, è utile notare che è il terzo punto sviluppato da Hesslow, quello sulla *simulazione come anticipazione*, a fornire gli indicatori più interessanti rispetto a dove posizionare il distinguo simulazione/rappresentazione.

È su questo terzo punto che si può meglio indagare la domanda filogeneticamente cogente: quale vantaggio evolutivo avrebbero le simulazioni?

La *teoria della codifica predittiva della cognizione* cerca di rispondere a questa domanda affermando che la cognizione sia una macchina diretta allo scopo di produrre predizioni sulla base degli stimoli ricevuti (Alegiani, 2021), posti in relazione con i *modelli generativi*, ossia modelli interni di sé e del mondo costruiti a partire dalle regolarità sensorimotorie, che si modificano costantemente sulla base di nuove co-occorrenze tra apparato sensoriale e ambiente (Ciaunica et al., 2021; Gładziejewski, 2016) nel tentativo di minimizzare l'errore di predizione tra previsioni sugli stimoli aspettati e stimoli effettivi (K. Friston, 2005). La teoria della codifica predittiva ha quindi una forte valenza evoluzionistica (cfr. Clark, 2013): il vantaggio più ovvio è che permette agli organismi dotati di questa capacità simulativa di reagire in anticipo ai vari pericoli che il suo stesso comportamento potrebbe causare, dunque di testare in anticipo le conseguenze di un'azione (propria o altrui) senza che quelle conseguenze impattino nel mondo fisico. Si pensi poi al vantaggio che la predizione ha nella lotta alla sopravvivenza in termini di competizione con i predatori o con i propri simili, o ancora in termini di cooperazione, quindi di azione congiunta. Data l'inevitabile

ambiguità, complessità e incertezza dei segnali che un organismo riceve dal mondo nel corso della sua vita, la "soluzione" sviluppatasi in termini cerebrali (e selezionata positivamente dalle sfide ambientali!) per risolvere il problema dell'incertezza è stata quella di impegnarsi in una forma di elaborazione predittiva, quindi costruire simulazioni probabilistiche delle cause dei nostri stati futuri sulla base di informazioni sensoriali, generando conseguentemente ipotesi sulle cause nascoste degli input sensoriali. La minimizzazione dell'errore predittivo viene raggiunta con costanti calcoli (processo denominato *inferenza attiva*) che aggiustano la predizione. Sottostante a questa visione della cognizione vi è quello che è chiamato *free-energy principle* (K. J. Friston & Stephan, 2007), o *principio di energia libera*, secondo cui lo scopo ultimo del sistema predittivo è quello di ridurre la propria dispersione, mantenendo l'equilibrio omeostatico (Ciaunica et al., 2021). Particolare importanza per gli scopi di questa trattazione è capire di quale significato di rappresentazione beneficia questo preciso paradigma.

Nella teoria della codifica predittiva si fa talvolta uso della rappresentazione per definire il significato o la funzione della simulazione anticipatoria.

Mi si lasci aprire una parentesi sulla confusione che può emergere dal non sempre distante utilizzo che si fa dei termini *simulazione* e *rappresentazione*. Vi sono due modi di chiamare rappresentazione una simulazione. Il primo dei due intende dare proprietà rappresentazionali alla simulazione (cfr. Tomasello, 2022), ovvero sostenere che la simulazione sia basata sulle rappresentazioni. In questo senso, le rappresentazioni costituirebbero gli elementi, ossia la materia prima, mentre la simulazione costituirebbe il processo di lavorazione. Un secondo punto di vista (ed è il punto di vista adottato in questa tesi) sostiene che la simulazione abbia una storia evolutiva antecedente alla rappresentazione, ma questo non esclude che, una volta evolutasi la capacità cognitiva di rappresentare mentalmente, un organismo capace di ciò possa utilizzare la rappresentazione all'interno di una simulazione mentale. Per il proseguimento della trattazione di questo paragrafo, difatti, non ci si riferisce al

discorso sulla precedenza della simulazione sulla rappresentazione¹². La confusione dei termini è chiaramente uno scotto da pagare in una scienza altamente multidisciplinare (per uno dei più recenti e impattanti articoli al riguardo: Núñez et al., 2019; Sullo stesso tipo di dibattito: Castelfranchi, 2019; Parisi, 2019), con un vocabolario mai unico e con forze intellettuali provenienti da molti e differenti ambiti¹³. In entrambi gli usi del termine rappresentazione, possiamo demandare il problema a quando la trattazione sarà matura rispetto a questa precisa problematica. Ad ora, saranno utilizzati i termini di *simulazione* e di *rappresentazione* così come utilizzati dagli autori citati.

Il tipo di rappresentazione descritta nella *teoria della codifica predittiva* viene chiamata “*S-representation*” (Gładziejewski & Miłkowski, 2017; Swoyer, 1991), o *rappresentazione strutturale*, che identifica una comunanza (o *omomorfismo* - Plebe, 2018) nella struttura tra la rappresentazione e il referente rappresentato; una sorta di mappatura delle relazioni tra i due. Rilevanza capillare nel rapporto tra *S-representation* e oggetto rappresentato è l’utilizzo efficace che il sistema cognitivo rappresentante fa della rappresentazione in relazione ai propri scopi (Alegiani, 2021); è infatti in virtù di questa efficacia che si ha la rilevanza causale (Gładziejewski & Miłkowski, 2017) tra rappresentazione e oggetto rappresentato su cui il sistema agisce. In questo senso, è proprio dal grado di somiglianza strutturale di una rappresentazione (l’accuratezza del suo modello) rispetto ad un oggetto che si misura il suo ruolo causale: una cartina stradale è tanto più efficace nel suo scopo di suggerirci le strade, tanto più essa presenta una somiglianza strutturale con l’oggetto che rappresenta, ossia la reale topografia delle strade di quel pezzo di mondo. Si noti che questa somiglianza non si dà “o tutta o niente”, ma che è caratterizzata da una gradualità, che si riverbera

¹² Si incontrerà a tal proposito un paragrafo dedicato nel capitolo 3.

¹³ In un breve passaggio dell’articolo uscito per *Nature Human Behaviour*: «*This failed integration has also been aggravated by the fact that over the years the term ‘cognitive’ has become highly polysemous and theoretically loaded, even in inconsistent ways*» (Núñez et al., 2019, p.788). Parisi è drastico: «*Ma mentre nelle scienze che studiano la natura le teorie sono quantitative e sono formulate usando i simboli della matematica, nelle scienze che studiano gli esseri umani le teorie sono quasi sempre formulate a parole e, come ho detto, sono la vaghezza, l'imprecisione e l'ambiguità delle parole che spiegano perché le scienze che studiano gli esseri umani sono così indietro rispetto alle scienze della natura.*» (Parisi, 2019, p. 649), e ancora Castelfranchi, nello stesso numero: «*Difetto delle scienze cognitive non è di usare parole o meglio concetti ma di usarli male; di non lavorare abbastanza analiticamente alle definizioni, distinzioni, e poi alla loro formalizzazione logica, matematica, computazionale.*» (Castelfranchi, 2019, p.653).

nella gradualità all'efficacia (Gładziejewski & Miłkowski, 2017; D. Williams & Colling, 2018).

Plebe aggiunge un'interessante problematica al problema della rappresentazione strutturale: la rilevanza del contesto. Questo elemento mette in crisi l'omomorfismo strutturale tra rappresentazione e oggetto, nella misura in cui l'effetto contestuale gioca un ruolo decisivo sulla mappatura concettuale, con il risultato che uno stesso oggetto può essere mappato in due concetti differenti, qualora il contesto proponga una concettualizzazione differente o variegata, spostando la salienza su aspetti diversi dello stesso oggetto. Il problema è superato dallo stesso Plebe, che propone una lettura neurale delle rappresentazioni strutturali mediante *codifica a popolazione* (Plebe e De La Cruz, 2016, 2018, 2020; Plebe, 2018): individuando popolazioni neurali sensibili sia a stimoli che a segnali contestuali, si scompone l'elaborazione neurale di un dominio categoriale sull'attività di differenti neuroni appartenenti ad una stessa popolazione.

Supponiamo che il dominio empirico di interesse riguardi il mondo vegetale, e che si siano instaurate due codifiche a popolazione corrispondenti alle categorie faggio e quercia. Il ragionare su cosa accomuni questi due alberi nel mondo reale diventa possibile tramite l'intersezione degli insiemi dei neuroni nella popolazione che concorrono alla codifica di faggio e quercia, e quindi la sovrapposizione delle loro afferenze, veicolanti proprietà comuni. Viceversa riflettere sulle differenze tra faggio e quercia è possibile dalla differenza tra gli insiemi dei neuroni nella popolazione che concorrono alla codifica dei due alberi, e, nuovamente, alla provenienza delle loro afferenze. (Plebe, 2018, p. 170)

Un decisivo assist per il fronte simulazionista arriva nel 1994 dalla scoperta dei neuroni specchio, di cui abbiamo già parlato nel primo capitolo. Essi, infatti, costituiscono forse il più solido ponte di congiunzione tra la teoria simulazionista e le neuroscienze cognitive, con uno spostamento dalla componente percettiva a quella più prettamente motoria. L'ipotesi simulazionista, difatti, non si limita alla simulazione di stati percettivi, ma ha ampio dibattito nella sfera motoria e dell'azione. Alla base di quest'approccio vi è l'idea che il sistema motorio faccia parte di una rete di simulazione che si attiva in relazione alle azioni osservate in altri individui o a proprie

azioni intenzionali, con funzione di automodellazione del sistema motorio stesso in previsione dell'esecuzione e, allo stesso tempo, con funzione di informazione riguardo al significato delle azioni (Jeannerod, 2001). Studi di neuroimaging funzionale sull'immaginazione di azioni motorie mostrano come porzioni di corteccia motoria primaria attivata durante le contrazioni di un gruppo di muscoli siano attive sia durante il reclutamento reale, sia durante l'immaginazione del movimento reclutante gli stessi muscoli (Lotze et al., 1999; Porro et al., 1996; Roth et al., 1996), con una sovrapposizione delle aree motorie primarie che si approssima al 30% tra azione immaginata e azione eseguita (Jeannerod, 2001). Similmente, immaginarsi di praticare esercizio aerobico induce una risposta fisiologica di aumento della frequenza respiratoria (Wuyam et al., 1995), così come osservare un runner correre (Paccalin & Jeannerod, 2000). È stato suggerito che l'imitazione sia basata sulla corrispondenza diretta tra l'azione osservata e la simulazione interna di quella stessa azione (Iacoboni et al., 1999).

Gemella eterozigote della teoria della simulazione è l'*emulation theory* (Grush, 2004). Seguendo questa prospettiva, beneficiamo di un emulatore mentale per l'esecuzione di certi compiti di immaginazione, ovvero un circuito neurale che rappresenta internamente il corpo e l'ambiente. Pensiamo ad un qualsiasi compito immaginativo, come pensarci a correre sul lungomare di Reggio Calabria. La teoria propone che sia possibile formare un'immagine di questa azione perché un emulatore del corpo, ricevendo una copia efferente del comando motorio, produce una simulazione delle informazioni propriocettive che il corpo genererebbe se il comando motorio venisse realmente eseguito, in questo caso la corsa e le sensazioni ad essa associate. La capacità di immaginare coinvolge l'esecuzione di un modello interno del corpo (e dell'ambiente) con cui l'agente può interagire, simulando le operazioni di input-output che sarebbero realizzate dal corpo reale. Un semplice piano motorio non basterebbe a immaginare mentalmente l'azione di correre sul lungomare, in quanto le azioni implicano anche una sequenza di stati propriocettivi, sia in termini di sensazioni (l'aria sulla pelle, l'arancione del tramonto, il suono delle onde) sia in termini di cinematica (l'incedere dei contraccolpi della corsa e la dinamica dell'intero corpo). Per questo, un emulatore del corpo è necessario.

È da queste ed altre ipotesi e prove sperimentali che si è fatta largo l'idea che la rappresentazione potesse avere un formato motorio, e che questo formato sia molto più presente nella cognizione di quanto non sia intuitivo credere.

2.2.3 La rappresentazione motoria

Uno dei primi e più convinti sostenitori della preponderanza dell'azione sulla cognizione è stato, in tempi poco sospetti, lo scozzese Alexander Bain, attivo durante la seconda metà del XIX secolo. Costui riteneva che il movimento fosse logicamente, epistemologicamente e fisiologicamente alla base della conoscenza, prioritaria rispetto a qualsiasi altra capacità psichica o comportamentale (Morabito, 2020). In Alexander Bain sono rintracciabili molte delle idee dell'embodied cognition che oggi appaiono dirompenti.

Alla base della formulazione rappresentazionale-motoria vi è l'idea che la possibilità di azione sia costitutiva della rappresentazione stessa, nella misura in cui i processi di interazione tra corpo e ambiente e le possibilità di azione di un corpo in uno spazio siano veicoli di nuova informazione. Zipoli Caiani ce ne fornisce un esempio:

Sarà capitato a chiunque, almeno in certi casi elementari, di ricorrere alle dita delle mani durante lo svolgimento di un'operazione di calcolo. Assegnando una funzione simbolica a ciascun dito rispetto alla sua posizione sulla mano e al suo essere disteso o piegato, siamo in grado di fissare i risultati parziali di un'operazione, agevolando in questo modo lo svolgimento dell'intero processo di calcolo. Se pensiamo a un'operazione aritmetica come all'implementazione di una procedura algoritmica, allora il ricorso alle dita per contare comporta una modifica della struttura dell'algoritmo rispetto al caso in cui l'operazione sia svolta "a mente". Mentre in quest'ultimo le informazioni necessarie all'esecuzione della procedura sono reperibili tra gli stati "interni" del soggetto, nel caso del conteggio con le dita la procedura si avvarrà anche di informazioni reperibili all'esterno. Per esempio, contare con le dita comporta l'esecuzione di movimenti manuali, nonché il ricorso al senso della vista e del tatto per

l'acquisizione delle relative informazioni, tutti elementi questi estranei alla procedura di calcolo mentale. (Zipoli Caiani, 2016, p. 73)

Allora la cognizione si appropria di elementi corporei e motori per definire le sue capacità quali, come in questo caso, la capacità di calcolo numerico. Nell'ambito del modello motorio, il cervello viene indagato nella sua possibilità di muoversi nell'ambiente, di agire in esso e trasformarlo, a tal punto da costituire non solo movimento-in-azione ma anche movimento-in-potenza: l'organo-cervello, parte dell'organismo-corpo, è inteso come organo sviluppatosi non solamente per agire nel mondo, ma ancor prima per predire le conseguenze dell'azione. La mente, di conseguenza, è intrinsecamente un sistema motorio, e tutte le funzioni mentali nel loro complesso affondano le loro radici in abilità motorie costruttive specie-specifiche (Morabito, 2020, 2023), e la capacità di prevedere le possibilità di azione, simulando la realtà prima di agire effettivamente (Benasayag, 2016; Berthoz & Petit, 2006).

In questa prospettiva il corpo-in-azione si pone come motivazione stessa della cognizione. Un esempio naturalistico e illuminante proveniente dal regno animale è stato proposto dal neurobiologo Rodolfo Llinàs (2002), ripreso da Vallortigara (2021), ci racconta di un sistema nervoso la cui principale motivazione evolutiva stanziava nella possibilità di movimento. L'ascidia, organismo marino che appartiene al subphylum dei Tunicati all'interno del phylum dei Cordati, durante la sua fase larvale presenta una notocorda simile a una corda dorsale e un tubo neurale dorsale. Questi elementi sono caratteristici dei cordati e antecedono il sistema nervoso centrale nei vertebrati. La larva possiede inoltre un rudimentale "occhio" denominato ocello e organi per l'equilibrio chiamati statocisti, utili per orientarsi mentre nuota. Al momento dell'attacco a un substrato, iniziando la metamorfosi verso la forma adulta, molte caratteristiche larvali, inclusa gran parte del suo sistema nervoso, vengono modificate o riassorbite. Il tubo neurale dorsale si contrae significativamente venendo digerito e lasciando solo un ganglio. Nella sua forma adulta, l'ascidia diventa un filtratore sessile, utilizzando le sue branchie per filtrare piccole particelle di cibo dall'acqua circostante. Questa metamorfosi, la cui ragione è da ricercare nel passaggio da una vita in movimento ad una statica, per Llinàs e Vallortigara è rappresentativa del fatto che il

sistema nervoso, il neurone quale variante della differenziazione cellulare, si sia evoluto specificamente per il movimento. I neuroni non servono quindi a pensare, ma a muoversi! E se questo è vero, tutto ciò che ne è deriva, ivi comprese le funzioni alte della cognizione come il pensiero e il linguaggio, ha in realtà radici nell'azione.

Il paradigma motorio, come vedremo, dà il via a quel movimento enattivista che punta ad eliminare il costrutto di rappresentazione, bollandolo come dannoso per lo studio della cognizione: «l'azione o l'atto, e non la rappresentazione, è all'origine della cognizione» (Berthoz & Petit, 2006). L'idea “*azione: base della cognizione*” è molto forte sul piano naturalistico: vi è infatti sotteso un ritorno alle proprietà fondamentali di un organismo che agisce nel suo ambiente, e costringe a guardare alla funzione cognitiva come conseguenza dell'adattamento degli organismi: continuare a sopravvivere, agendo efficacemente nell'ambiente in cui sono immersi.

Tentando però di smarcarci, almeno per il momento, da quelle diramazioni che concludono negando la rappresentazione mentale quale costrutto epistemologicamente proficuo, intendiamo ora identificare cosa possa essere una rappresentazione motoria. Così come nel caso della rappresentazione corporea, si può sicuramente partire dalla notazione di un contenuto motorio di una traccia mentale. La stessa divisione tra “corporeo” o “percettivo” e “motorio” è, in molti sensi, artificiosa, essendo il corpo l'oggetto attraverso il quale si produce l'azione, e la percezione, o ancor prima la sensorialità, inestricabilmente legata alla possibilità di movimento.

Fa esplicito uso della nozione di “*motor representation*” Vittorio Gallese:

It will become clear that the so-called ‘motor functions’ of the nervous system not only provide the means to control and execute action but also to represent it. Actually, following this view, action control and action representation become two sides of the same coin. (Gallese, 2000, p. 23)

La rappresentazione motoria diventa quindi la possibilità cognitiva di rappresentarsi il mondo in termini di possibilità di azione sul mondo stesso. La linea di demarcazione tra percezione e azione diventa così sempre più sottile, sino a sbiadirsi. È una nozione di rappresentazione, quella usata da Gallese, che si scrolla di dosso la sua connotazione astratta, per diventare naturalisticamente e neuroscientificamente

ancorata: la rappresentazione diventa “*cortical representation*” (ivi, p.29), in virtù di pattern neurali dei network cortico-corticali che collegano un mosaico di aree cerebrali con peculiari proprietà anatomo-funzionali, e conseguenti funzioni di integrazione d’informazioni sensorimotorie. La rappresentazione motoria deriva dall’attività della corteccia premotoria e codifica principalmente gli obiettivi delle azioni.

Una serie di problematiche viene fatta emergere dalla sintesi proposta da Ferretti, il quale suggerisce, in una rassegna del concetto di *motor representation*, una visione non monolitica di quest’ultimo, ma piuttosto una costellazione di fenomeni sub-rappresentazionali, ognuno dei quali «*not only a single representational mechanism with different functions, but an ensemble of different sub-representational phenomena, each of which with a different function*» (Ferretti, 2016, p.177). Il terreno comune su cui giacciono le proposte filosofiche e neuroscientifiche sulla rappresentazione motoria è costituito dal rapporto tra azione e visione: alla via visiva dorsale si attribuiscono così caratteristiche di orientamento all’azione (Goodale e Milner, 1992), distinguibili dalle caratteristiche di riconoscimento visivo della via visiva ventrale. La distinzione emerge chiaramente dallo studio delle lesioni sulla via ventrale, che compromettono la capacità di riconoscimento di oggetti, ma non di orientamento visivo all’azione (Jeannerod e Jacob, 2005). Da qui si diramano differenti posizioni interpretative: una prima proposta suggerisce che la rappresentazione motoria sia costituita in seno al processo dorsale, interdetto all’accesso cosciente e relativo agli obiettivi di azioni motorie, movimenti corporei e proprietà dell’azione (Jeannerod e Pacherie, 2004; Jeannerod e Jacob, 2005; Pacherie, 2008, 2011); una seconda posizione sostiene che la rappresentazione motoria sia sostenute da entrambe le vie visive, che possa risultare accessibile alla coscienza e che rappresentino soltanto proprietà dell’azione, non gli obiettivi, né i movimenti corporei (Nanay, 2013, 2014, 2020). Una terza interpretazione pone in secondo piano le vie visive per guardare con più attenzione al ruolo della corteccia premotoria, e identifica la rappresentazione motoria con un contenuto di codifica dell’obiettivo e dei risultati delle azioni, modi di agire e *affordances* sugli oggetti (Butterfill & Sinigaglia, 2014; Gallese, 2000; Gallese & Sinigaglia, 2011). È evidente quindi che il quadro non è unitario:

- 1) Non vi è una definizione unitaria riguardo alla funzione delle rappresentazioni motorie;
- 2) Molte di queste interpretazioni vengono utilizzate come termine ombrello per includere molte funzioni, alcune anche molto diverse tra loro;
- 3) Le stesse funzioni non sono definite nettamente;
- 4) Non è definito in modo sufficientemente chiaro il rapporto tra consapevolezza e rappresentazione motoria.

Sulla presa d'atto di queste problematiche, Ferretti (2016) propone di chiarire funzioni e basi neurali delle *motor representations* scomponendole in *motor representational sub-components*, vale a dire sottocomponenti interconnesse ma distinguibili in funzioni e in geografia neurale sottostante. La singola rappresentazione motoria, infatti, è frutto della propagazione del potenziale d'azione lungo la via dorsale, che però non appare anatomicamente quale autostrada diretta. Ad uno sguardo a grana più fine si può infatti notare che molte sotto-vie dorsali vanno a concorrere alla creazione del più ampio network che stiamo analizzando. È un argomento che si basa quindi sulla separabilità delle funzioni nelle aree neurali (cfr. Grafton e Hamilton, 2007; Thill *et al.*, 2013), con riferimento al sistema visuomotorio. Ferretti prosegue indicando un ruolo secondario ma attivo della via ventrale nella composizione delle rappresentazioni motorie, e suggerisce infine una componente emotiva per quest'ultime. Vedremo in seguito come la sua lettura filosofica possa aiutarci a descrivere componenti minime della cognizione sociale. È debito, difatti, ricordare che la teoria motoria porta a sviluppi interessanti anche nell'ambito degli studi sulla cognizione sociale (Gallese e Goldman, 1998; Blakemore e Decety, 2001; Gallese, 2003a, 2003b; Wolpert, Doya e Kawato, 2003; Ammaniti e Gallese, 2014).

2.2.4 La rappresentazione neurale

Principale obiettivo delle neuroscienze cognitive è quello di studiare le rappresentazioni dei processi mentali sul piano strettamente neurale. In linea sommamente generale, quello che cerca di fare questa disciplina è scoprire i correlati neurali delle nostre capacità cognitive, dalle più basilari, come la percezione, alle più raffinate, ad esempio la coscienza.

L'homunculus sensoriale di Penfield è la rappresentazione grafica di una mappatura neurale somatotopica delle differenti parti sensibili del nostro corpo (Penfield e Rasmussen, 1950), quelle parti cioè dotate di neuroni recettori cutanei il cui percorso termina a livello delle aree somatosensoriali, in area 3, 1 e 2 della classificazione di Brodmann. Questa rappresentazione, che abbiamo detto essere mappata neuralmente, è topograficamente ridondante, ossia in ognuna delle 4 aree citoarchitettoniche che caratterizzano la corteccia sensoriale primaria (3a, 3b, 1 e 2 - in sequenza a partire dal solco centrale) è presente la stessa mappa, sebbene ognuna elabori informazioni differenti (Kandel, Schwartz e Jessell, 2014). Allo stesso modo, possiamo definire neuroscientificamente la rappresentazione dello spazio extrapersonale, questa volta affidandoci alla corteccia associativa parietale posteriore: i neuroni della corteccia somatosensoriale primaria, in particolar modo quelli delle aree 3a, 3b e 1 di Brodmann, proiettano fasci assonici sia verso aree di ordine superiore (la vicina Ba 2), sia verso aree associative multimodali (BA 5 e 7). È in queste ultime che vengono a convergere afferenze da differenti aree sensoriali, con particolare riferimento alla corteccia visiva e uditiva, con collegamenti anche con l'area ippocampale. Quello che succede nelle aree associative parietali è l'integrarsi delle varie modalità sensoriali evidenziate poc'anzi, per generare sensazioni spaziali dello spazio extrapersonale. Questo tipo di rappresentazione assume un livello di complessità già più elevato della rappresentazione somatosensoriale, ed è chiaro quindi che intervengono altri sistemi fondamentali, come l'attenzione selettiva, necessaria per l'integrazione della rappresentazione del proprio corpo con la percezione dello spazio esterno visivo e uditivo, in una sorta di rappresentazione integrata.

Un altro livello della rappresentazione neurale è possibile stabilirlo per quel che riguarda le immagini mentali. È oramai chiaro che immaginare un qualcosa dotato di contenuto visivo significa attivare un pattern neurale nella corteccia visiva primaria simile a quello che si attiva nell'osservare quell'immagine realmente. In un esperimento del 2006, Thirion, Dehaene e collaboratori sono riusciti a stabilire in cinque differenti serie di dati il contenuto delle immagini mentali immaginate dei soggetti, utilizzando a loro favore la retinotopia della corteccia visiva, codificata attraverso l'uso di due differenti algoritmi, per dedurre il contenuto visivo immaginato (Thirion et al., 2006). Più recentemente, è stato possibile ricostruire alcune immagini sognate da soggetti durante il sonno (Horikawa et al., 2013), visualizzare contenuti percettivi attraverso l'apprendimento automatico di algoritmi di deep learning dei pattern di risonanza magnetica funzionale (Miyawaki et al., 2008; Wen et al., 2018) e aumentare il livello di precisione della ricostruzione dell'immagine mentale attraverso le reti neurali profonde (Shen et al., 2019) con l'idea di unire i livelli gerarchici della visione, e non solo i pattern retinotopici delle aree visive primarie e secondarie.

Anche il sistema motorio può tentare con facilità di prendersi un posto tra le rappresentazioni prettamente neurali. Il sistema motorio è organizzato secondo una struttura gerarchica a livelli multipli di controllo (S. H. Scott, 2004), sommariamente generalizzabile lungo un percorso che parte dalle aree corticali, procede verso aree sottocorticali, per poi finire in aree spinali. Al vertice di questa gerarchia vi sono le aree della corteccia premotoria e le aree associative, cruciali per la progettazione di un'azione basata su obiettivi, su esperienze in memoria e su input percettivi. Similmente alla corteccia sensoriale primaria, la corteccia motoria primaria (localizzata nell'area di Brodmann 4) presenta una mappa somatotopica relativa agli effettori motori cablati nel corpo. È da evidenziare che, seppur mantenendo la relazione tra rappresentazione dell'effettore e importanza del controllo dell'effettore (similmente a come accade tra corteccia somatosensoriale e recettori), la corteccia motoria primaria presenta una organizzazione somatotopica più grezza rispetto a quella della corteccia sensoriale primaria (Gazzaniga, Ivry e Mangun, 2014). Per quel che riguarda le aree motorie secondarie (BA 6), si possono dividere in corteccia premotoria (porzione laterale di BA 6) e area motoria supplementare (porzione

mediale della stessa area): queste aree sembrano contenere anch'esse mappe somatosensoriali grezze e incomplete (Dum e Strick, 2002). Sono queste le aree attive nella programmazione e nel controllo dei movimenti, e la loro compromissione strutturale produce in genere aprassia. La cosa importante ai fini della nostra ricerca è constatare che un'azione, quale può essere l'utilizzo di una forchetta per inforcare la pietanza nel nostro piatto, è il risultato di una rappresentazione gerarchica di sequenze di azioni, e non il risultato di movimenti indipendenti concatenati (MacKay, 2012), istanziate sulla gerarchia neurale, dove in cima troviamo, al livello della corteccia motoria, il piano concettuale dell'azione (rappresentazione dello scopo dell'azione), subito sotto troviamo i programmi motori, che vengono poi tradotti in pattern di attivazioni muscolari dal sistema degli effettori spinali (Gazzaniga, Ivry e Mangun, 2014). Interessante è notare che i generatori di pattern producono pattern di azione fissi, non flessibili, ma senza l'ausilio di input corticali (cfr. Stuart e Hultborn, 2008, sugli studi sulla recisione del midollo spinale nei gatti di Thomas Graham Brown). Ciò che rende flessibile la risposta motoria è proprio la struttura gerarchica della rappresentazione motoria corticale e del tronco encefalico, che indirizzano l'azione verso uno scopo. Rizzolatti e colleghi (Rizzolatti, Fogassi e Gallese, 2000) propongono di individuare nelle popolazioni neurali corticali motorie un vocabolario di base per gli atti motori, sulla rilevazione del fatto che alcuni neuroni della corteccia premotoria scaricano a seconda dell'obiettivo dell'azione (con particolare riferimento all'afferrare, allo strappare e al raggiungere), dimostrando una cablatura neurale del piano concettuale, il più alto. Altri rilevanti segnali ci arrivano dai neuroni specchio, che traducono l'input sensoriale di un'azione osservata nei termini dei suoi specifici programmi motori che la compongono (Gallese, Rochat e Berchio, 2013). A partire dall'idea di programma motorio, Paul Cisek suggerisce di immaginare la programmazione dell'azione in funzione degli obiettivi. La sua *affordance competition hypothesis* (Cisek, 2007) suggerisce, sulla scorta della teoria dell'affordance di Gibson (1978), che le varie opportunità per l'azione che l'ambiente propone siano processate in parallelo, evolvendo all'interno di un network neurale interattivo che beneficia di sistemi di feedback sensoriali per aggiornare continuamente le affordance e le conseguenti azioni potenziali, per poi competere (a seconda della salienza di questi

feedback e dei nostri stati intenzionali) per la realizzazione di uno dei molti programmi motori proposti dal network.

Emergono all'analisi sulle rappresentazioni neurali alcuni elementi, primo tra tutti: la rappresentazione neurale possiede diversi livelli di granularità. Individuiamo un livello di rappresentazione basilare in quelle tipologia di rappresentazioni direttamente mappate nei circuiti cerebrali (la rappresentazione somatosensoriale e la rappresentazione visiva ne sono due esempi), mentre riconosciamo una dinamica più complessa per altre rappresentazioni, come quella dello spazio extrapersonale, che riutilizza rappresentazioni di base come quella somatosensoriale, quella uditiva e quella visiva per creare mappe non direttamente mappate topograficamente sul livello neurale, ma frutto di un secondo layer di elaborazione cognitiva. Anche le rappresentazioni motorie paiono essere frutto di complesse interazioni tra atti motori di base, evolutisi in maniera adattiva, e livelli di rielaborazione sofisticata fatta di integrazioni di diverse informazioni lungo l'arco temporale di un'azione, in circuiti di feedback-feedforward che rendono dinamico il flusso generatore dell'azione, tanto da attirare le critiche di chi sostiene che una tale complessità dinamica non lasci spazio ad un costrutto statico quale quello di "rappresentazione".

2.2.5 Contro la rappresentazione

Ognuna delle posizioni rappresentazionaliste su presentate, seppur differenti tra loro, condividono l'assunto secondo il quale i sistemi cognitivi necessitano di un termine medio che permetta un'interazione efficace tra l'organismo e l'ambiente. Senza questo termine medio, risulta complesso rendicontare un livello "alto" dell'attività cognitiva (Di Francesco & Piredda, 2012; cfr. Gallagher, 2017). Ciononostante, istituire un termine medio significa complicare la spiegazione naturalistica della mente. Analizziamo quindi le principali critiche al rappresentazionalismo.

Partiamo con la critica all'embodiment debole. La critica che si pone a chi mantiene una posizione minimale riguardo alla rappresentazione nel framework delle embodied

cognition è quella di non dire molto di più rispetto al rappresentazionalismo standard, ovvero ad una lettura mentalistica di ricostruzione cognitiva del mondo (Jackendoff, 2002; Meteyard et al., 2012). A ben guardare, più che una critica appare come una constatazione che non toglie niente agli *embodied representationalists*, ma che li costringe a riposizionarsi con più precisione all'interno degli schieramenti teorici. Tale critica si lega solitamente a doppio filo con l'antipatia verso il meccanicismo. L'enattivismo afferma infatti che la cognizione abbisogna di essere compresa in termini di interazione dinamica tra organismo e ambiente (Varela et al., 1993; E. Thompson & Varela, 2001; E. Di Paolo et al., 2017) e ciò implicherebbe che le spiegazioni riduttiviste che considerano solo i singoli agenti o i loro sistemi (nervosi o più estesamente corporei) debbano essere respinte (Gallagher, 2017). Anche questa sembra essere una critica inasprita più dalla polemica che dai fatti: è evidente che almeno alcune scienze dispiegano i loro *explananda* indagando il funzionamento e l'organizzazione dei componenti di un fenomeno e di come questi vadano a costituirlo, produrlo e mantenerlo (Machamer et al., 2000; Glennan, 2002; Bechtel & Abrahamsen, 2005). È in questa chiave che, recentemente, Lee (2023) argomenta a favore di un meccanicismo non necessariamente in contrasto con le ipotesi sulla natura dinamica ed emergente della cognizione.

Una critica più sferzante arriva invece da chi, come Ines Hipólito (2022), sostiene che definire la rappresentazione sul livello neurale sia fuorviante, in quanto l'attività neurale è meglio considerabile (sotto la lente dei modelli dinamici) come flusso interattivo che si dispiega nel tempo in ambienti mutevoli, che presentano quindi caratteristiche caotiche e d'imprevedibilità. Per la ricercatrice, quel che possono le neuroscienze cognitive è produrre modelli inferenziali sulle cause probabili di una correlazione di dinamiche, un *modello generativo* di come si producono le dipendenze e le indipendenze statistiche che non presuppone che vi sia una struttura invariante le cui connessioni possano essere mappate, al contrario dei *modelli informazionali-strutturali*, che assumono le rappresentazioni neurali in termini di mappaggio della propagazione dell'informazione nei network neurali. Per queste posizioni enattiviste, mantenere la metafora tra modelli computazionali e neuroni che computano rappresentazioni, è una caduta nella fallacia dell'attribuzione della capacità agitiva

alla scala neurobiologica. Le proprietà computazionali sarebbero quindi proprie del modello esplicativo e non dell'oggetto d'indagine (Hipólito, 2022).

Questa è, dal mio punto di vista, una critica che il rappresentazionalismo deve accogliere, ma solo in parte. Se riportiamo la questione, come esempio paradigmatico, alla rappresentazione motoria, notiamo che la complessità del flusso informativo del vasto network implicato in ogni singola fase di una determinata azione, con la sua dinamica non lineare di sviluppo nel tempo, ci rende difficile il lavoro di ricerca di una rappresentazione mentale con contenuto motorio. Alla luce di ciò, questa critica ha perfettamente senso. Affrontiamo due punti, uno a favore e uno a sfavore di questa critica.

1) La ricerca di atti motori di base, ovvero quei mattoni concettuali che indicano con elevata precisione la correlazione tra obiettivo motorio e attività di una popolazione neurale, è un'operazione epistemologica che, come abbiamo visto, porta buoni frutti, e stimola ad una indagine che sino ad oggi è stata molto costruttiva. Questi “vocaboli motori” o “atti motori di base” sono rappresentazioni neurali, nella misura in cui vi è un pattern neurale che, con un'elevata significatività statistica, soggiace al costrutto epistemologico funzionale che stiamo utilizzando. Eppure, questo è un modo diverso di dotare di rappresentazionalità un sistema. Anzi, bisognerebbe dare contezza del fatto che questo assunto funzionalista (la funzione cognitiva f è implementata nella struttura neurale s) è un'operazione che sostanzia nel metodo epistemologico, non già nel sistema posto sotto studio. Creiamo la proprietà, ne testiamo l'approssimazione con i dati sperimentali e, se abbastanza convincenti, giustapponiamo quella proprietà ad una certa popolazione neurale. Eppure, come ci ricorda Marco Viola, dovremmo sempre «ammettere che sia possibile trovare certe correlazioni struttura-funzione, ma riconoscere che queste valgono solo in determinati contesti» (Viola 2023, cap. 3). Si tratta quindi sempre di un'operazione di topografia neurocognitiva alla ricerca di correlazioni network-funzione propria dell'impresa scientifica, non già della mente-cervello. Si fa inoltre largo l'ipotesi del *contestualismo radicale* (de Wit & Matheson, 2022) all'interno del quale si rileva l'importanza del contesto funzionale contingente nel reclutamento dei network neurali.

2) D'altro canto, dobbiamo prendere atto che vi sono delle funzioni di base della cognizione che sono mappate cerebralmente con una precisione sbalorditiva. È il caso, già visto, della corteccia visiva o della corteccia somatosensoriale primaria. Riconoscere questa istanziazione come base di caratteristiche rappresentazionali e simulative della cognizione non significa negare la dinamica della percezione, piuttosto significa chiarire una modalità attraverso la quale il corpo-cervello si rapporta all'ambiente, ovvero creando circuiti neurali atti a mappare e ad agire in quell'ambiente utilizzando il proprio corpo, e simulando azioni e percezioni per meglio rispondere adattivamente.

Fissati questi due punti, possiamo certo accogliere le istanze di coloro i quali cercano di spiegare l'iter costruttivo dei pattern sensorimotori in termini dinamici come ben evidenziato da Gallagher (2008), ma ciò non confligge necessariamente con la determinazione di rappresentazioni (differentemente da quanto sostenuto dallo stesso autore), anzi, ciò può aiutarci a spiegare molte delle proprietà delle rappresentazioni sensorimotorie, ad esempio: la modifica di queste ultime ad opera dell'esperienza percettiva¹⁴. Dire che esiste una particolare popolazione di neuroni della corteccia premotoria che si attiva seguendo il principio del “raggiungere” o “strappare” non significa sostenere, come suggerisce criticamente Hipólito, che i neuroni abbiano capacità agentiva, ma significa giustapporre un concetto come principio descrittivo di una dinamica neurale, senza implicare che il concetto sia insito nei neuroni stessi.

Certo, diciamolo chiaramente: esiste un enorme problema definitorio e di uso semantico del termine rappresentazione (cfr. Riegler et al., 1999; Ramsey, 2007; Gładziejewski, 2016). Prendiamo, a titolo esemplificativo, la differenza che intercorre tra l'utilizzo del termine “rappresentazione sensorimotoria” da quello di “invarianza sensorimotoria”. Le due locuzioni potrebbero essere intese sia come sinonimi, nel loro identificare un pattern di percezione-azione duraturo nel tempo e riattivabile “offline” (a tal proposito si analizzeranno in seguito i costrutti di *Body Schema* e *Sensorimotor Scheme*), sia come concetti sostanzialmente differenti, ad esempio interponendo tra i due la linea della consapevolezza, affermando dunque che un'invarianza

¹⁴ Un esempio è il fenomeno dell'*enfacement* (Tsakiris, 2008; Porciello et al., 2018; Bufalari et al., 2019).

sensorimotoria diventi effettivamente rappresentazione nel momento in cui l'agente abbia ad essa accesso cosciente, e possa manipolarla in maniera top-down. Molti invece, soprattutto in ambito enattivista, sostengono che, essendo la rappresentazione un concetto forgiato in seno al cognitivismo classico, l'unica definizione con la quale è doveroso confrontarci in quanto scienziati cognitivi è quella di rappresentazione come simbolo mentale di natura proposizionale; nel caso non volessimo sostenere la valenza epistemologica di questa, e solo questa, definizione, perché ostinarsi a rimaneggiare il costruito?¹⁵.

Questioni parallele arrivano da quella parte di enattivismo definito *sensomotorio* (Hurley, 1998; Noë, 2004; O'Regan & Noë, 2001), che rigetta l'idea che la percezione visiva sia basata su rappresentazioni mentali dell'ambiente esterno (Ferretti, 2016a; Marraffa, 2021), ma afferma piuttosto che la visione sia direttamente azione, nella misura in cui a definire la visione è la stratificazione delle regolarità sensomotorie che si instaurano nella co-variazione tra percezione e movimento, registrate in quanto pattern ripetuti nell'esperienza dell'agente (Noë, 2004, 2009). Il punto su cui intenderò battere è che definire la visione come incontro tra un processo percettivo di acquisizione di informazioni, e un processo agentivo di continuo confronto del pattern sensomotorio acquisito durante il processo di visione, non vuol dire necessariamente negare la rappresentazione. Piuttosto, potrebbe significare proporre un differente modo di spiegare la genesi di una rappresentazione, ed affermarne la continua dinamicità come caratteristica distintiva. Da questo punto di vista, è lo stesso Noë a individuare due elementi fondamentali nel processo di visione: la percezione in sé, ossia la stimolazione sensoriale, e la conoscenza sensomotoria, ciò che ci permette cioè una conoscenza di ciò che stiamo guardando in maniera fattuale, attraverso la memoria delle regolarità e l'implementazione delle nuove acquisizioni sensoriali dovute alla nostra capacità di muoverci nell'ambiente, e spostare il nostro punto di vista. Le relazioni sensorimotorie, difatti, si cristallizzano (mai del tutto) in rappresentazioni che non sono altro che la conoscenza pregressa delle regolarità sensorimotorie relative

¹⁵ Questa è una riflessione che mi è stata sottoposta direttamente e in colloquio privato da Xabier Barandiaran nel maggio 2023, presso lo IAS Research di San Sebastian, Spagna.

all'esperienza visiva di un oggetto, e questa pseudo-cristallizzazione (sottoposta alla costante prova di *matching* con le sempre nuove esperienze sensorimotorie) costituisce ciò che per Noë è la conoscenza sensorimotoria pregressa:

Over the course of life, a person will have encountered myriad visual attributes and visual stimuli, and each of these will have particular sets of sensorimotor contingencies associated with it. Each such set will have been recorded and will be latent, potentially available for recall: the brain thus has mastery of all these sensorimotor sets. (O'Regan e Noë, 2001, p. 945)

E ancora:

No doubt perception depends on what takes place in the brain, and very likely there are internal representations in the brain (e.g., content-bearing internal states). (Noë, 2004, p. 2)

Alla luce di ciò, non è chiaro come l'enattivismo sensorimotorio di Noë voglia essere anti-rappresentazionalista e in che senso. La parte della questione che riguarda la dicotomia rappresentazione-sistema dinamico può essere ridotta in un'altra forma: davvero possiamo derogare la rappresentazione in nome del dinamismo? C'è forse qualcuno che, in un parallelo con il mondo del cinema, una volta inventata l'immagine filmica in movimento, abbia dequalificato la fotografia statica quale forma di rappresentazione? Non è forse più logico ammettere che entrambe siano rappresentazioni, con meccanismi sottostanti parzialmente differenti? È quindi lecito guardare alla percezione come a un processo dinamico, ma questo dovrebbe significare che non vi siano stati invarianti individuabili e attribuibili a quel processo¹⁶? Posto in tal modo, il problema della rappresentazione diventa soltanto questione terminologica. Concesso, come si intende e si rimarca anche nel presente lavoro, che il concetto di rappresentazione definito proposizionalmente e staticamente dalle scienze cognitive classiche soffre di lacune insormontabili su molti piani di analisi, eliminare il costrutto appare più come un gesto polemico che epistemologicamente fondato, laddove le

¹⁶ Sostengono una critica molto simile Jacob e Jeannerod (2013, p. 171) con riferimento alle esperienze visive e agli stati del sistema visivo. Altri autori (Isaac, 2018; Plebe, 2018) fanno notare che la critica dell'antirappresentazionalismo delle "*E*"-*cognitions* è pressoché tutta incentrata sulla contrapposizione tra rappresentazioni e sistemi dinamici.

evidenze contemporanee ci indirizzano ad una più parsimoniosa revisione del concetto. Accettare invece quanto di buono viene suggerito dall'enattivismo sensorimotorio¹⁷, in unione con la teoria dei sistemi dinamici non lineari, è cosa quantomai dovuta, e un forte tentativo in questo senso verrà fatto anche nel proseguire di questa tesi.

La vera critica al modello rappresentazionalista passa per la constatazione che il termine “rappresentazione” copre troppi significati, spesso anche in differenti spessori di grana dei livelli d'analisi. Con le parole di Gładziejewski che riprende Ramsey:

The relationship between cognitive science and the notion of representation becomes even more complicated if we take into account a problem forcefully expressed by Ramsey in his book *Representation Reconsidered* (2007). There, Ramsey argues that many models and theories which are heralded as representation-invoking turn out to be representational in name only. This is because in their theorizing, cognitive scientists often use the term “representation” in such a liberal and unconstrained way that it no longer denotes structures that could be regarded as representational in any recognizable or explanatorily useful manner. These structures fail to meet what Ramsey calls the “job description challenge”: it seems impossible to show that the functional roles they play in a cognitive system are truly representational. In such circumstances, the representational terminology too often serves as an empty and misleading ornament, devoid of any real explanatory value—a mere representational gloss on what is at its core a non-representational story about cognition. (Gładziejewski, 2016, p. 560)

La posizione sostenuta nel lavoro che state leggendo è che si sia attribuito troppo potere esplicativo alla rappresentazione mentale, ma ciò non può significare disfarsene. Piuttosto, l'urgenza che si palesa nel dibattito contemporaneo è quella di identificare nuovi e condivisi parametri minimi per definire la rappresentazione mentale.

¹⁷ Ci sono, ad esempio, evidenze che mostrano che la modalità percettiva è dipendente dalle invarianze sensorimotorie (Bach-y-Rita & W. Kercel, 2003; G. Ferretti, 2016a; O'Regan, 2011)

2.3 Ricollocare embodiment e computazione

Siamo dunque arrivati alla vera e propria *pars construens* di questo secondo capitolo, quella in cui, preso atto della letteratura scientifica, del percorso storico affrontato dalle scienze cognitive e analizzato criticamente le posizioni in campo, si disegna il modello teorico di riferimento che si intende abbracciare per il proseguo della tesi. Fin dalla sua introduzione, il paradigma embodied ha irrotto nel panorama cognitivo con un approccio decisamente rivoluzionario. Tuttavia, il testo che state esaminando propone un'interpretazione più moderatamente riformista, allineandosi a quella corrente di pensiero che adotta una visione minimalista dell'embodiment, ancora compatibile con il computazionalismo e il rappresentazionalismo. Storicamente, il successo teorico del paradigma embodied è stato favorito non solo dalla sua innovatività, ma anche da una certa miopia del paradigma classico, come sostenuto da Marraffa (2021) e Di Francesco e Tomasetta (2021), che vedono nei suoi contenuti più una riforma che una rivoluzione. Il paradigma incarnato merita riconoscimento per aver ampliato l'orizzonte della cognizione oltre il cervello, enfatizzando l'importanza degli aspetti agentivi e percettivi (Caruana & Borghi, 2013).

La proposta qui avanzata adotta una posizione radicale nel sostenere che alla base della cognizione ci siano elementi di natura sensoriale, pur mantenendo una visione minimale riguardo ai costrutti di "rappresentazione" e di "computazione", considerati epistemologicamente validi, ma che richiedono un riposizionamento mirato. Da una prospettiva complessa della cognizione, si postula che, partendo da particelle finite di informazione e attraverso meccanismi algoritmici di interazione tra queste particelle, sia possibile delineare funzioni cognitive sia basilari che avanzate. La distinzione tra queste non risiederebbe nella natura delle particelle informative, ma nel numero di iterazioni del calcolo cerebro-cognitivo, come dimostrato dalle reti neurali artificiali su piccola scala. I vincoli fondamentali della computazione cognitiva sono i vincoli biologici che modellano fisicamente l'informazione cognitiva, elaborata nel cervello attraverso algoritmi complessi.

Affrontare i problemi derivanti dall'attribuzione di una natura sensoriale all'informazione cognitiva è una sfida complessa. Come osservato, una delle questioni più significative riguarda il concetto di rappresentazione mentale e il dibattito, rivitalizzato dalla cognizione embodied ma già presente nella psicologia ecologica di Gibson, sulla sua presunta infondatezza o inadeguatezza (cfr. Brooks, 1991; Chemero, 2011; Gallagher, 2017; Hutto & Myin, 2012; Thompson & Varela, 2001). Tuttavia, molti, anche tra i sostenitori più radicali dell'embodied cognition, continuano a valorizzare il costrutto centrale del cognitivismo classico, pur riformulandolo (Clark, 1998a; Raja, 2018; Shapiro, 2013). È interessante notare che anche un'interpretazione computazionale della cognizione non implica necessariamente l'accettazione del rappresentazionalismo (Orlandi, 2014; Piccinini, 2018; Villalobos & Dewhurst, 2017). La prospettiva che sostengo, in linea con la formulazione di un protocollo di informazione sensorimotorio e basata sulla *teoria dei sistemi complessi*, è che la computazione sia fondamentale per l'elaborazione neurale che sottende il processo cognitivo. In questo contesto, la rappresentazione mentale è vista come uno dei prodotti, forse il più sofisticato, di questa computazione di informazioni sensoriali. Dunque, la rappresentazione rimane un costrutto valido, a condizione che sia collocato al livello di analisi appropriato. Questa visione è condivisa da Damasio, che ritiene la rappresentazione mentale un elemento essenziale, sebbene non esclusivo, del funzionamento cognitivo:

Il corpo, così come è rappresentato nel cervello, può costituire l'indispensabile cornice di riferimento per i processi neurali che noi avvertiamo come mente. Proprio il nostro organismo, piuttosto che qualche realtà esterna assoluta, è usato come riferimento base per le costruzioni che elaboriamo del mondo circostante e di quel senso di soggettività, sempre presente, che è parte integrante delle nostre esperienze; e le nostre azioni e i pensieri più elaborati, le nostre gioie e i nostri dolori più grandi, tutti impiegano il corpo come riferimento. [...] sempre più mi si imponeva l'idea che l'attività mentale – nei suoi aspetti più semplici come in quelli più alti – richiede sia il cervello sia il resto del corpo. Quest'ultimo, a mio avviso, fornisce al primo più che un puro sostegno e una modulazione: esso fornisce la materia di base per le rappresentazioni cerebrali. (Damasio, 1994, pp.23-25)

Propria l'*ipotesi del marcatore somatico* di Antonio Damasio (1996), evidenzia come il processo decisionale, uno dei processi ritenuti cognitivamente più elevati, sia profondamente influenzato dalla sensorialità e da essa guidato. Secondo questa ipotesi, la decisione, più che essere una espressione della razionalità espressa nel calcolo costi-benefici, si origina da stati somatosensoriali che riproducono sensazioni di piacere o disagio in relazione a una scelta e alle sue possibili conseguenze future. Questo suggerisce che la sensorialità potrebbe essere alla base anche della rappresentazione mentale in senso lato. Carruthers, con il suo modello ISA (Carruthers, 2011), sostiene che essa agisce come materia prima dell'esperienza cosciente.

Storicamente, prima della svolta cognitivista ispirata dalla rivoluzione digitale, l'idea che la cognizione fosse intrinsecamente percettiva era relativamente comune. Questa visione trova radici e sviluppi in filosofi come Aristotele, Epicuro, Locke, Hume, Kant, Russell e Price. Tuttavia, con la metafora del cervello-computer del secondo dopoguerra, la cognizione è stata interpretata come un processo computazionale del tutto amodale, o almeno lo è diventata la rappresentazione, considerata il nucleo fondativo della cognizione umana. Il sistema mentale è stato quindi descritto come una struttura che manipola simboli dotata di una propria semantica e sintassi, con la capacità combinatoria come espressione della sua computazionalità (Dennett, 1969; Fodor, 1975; Pylyshyn, 1984). Considerare amodale l'informazione mentale, però, porta a varie problematiche. Oltre a una debolezza empirica data da evidenze sperimentali esclusivamente indirette, persiste un'incertezza su come il sistema simbolico-amodale emerga da una traduzione del sistema percettivo. Barsalou, criticando questa concezione, propone una teoria della cognizione basata sui simboli percettivi, suggerendo che:

Perceptual symbols are neural representations in sensory-motor areas of the brain; they represent schematic components of perceptual experience, not entire holistic experiences; they are multimodal, arising across the sensory modalities, proprioception, and introspection. Related perceptual symbols become integrated into a simulator that produces limitless simulations of a perceptual component. Frames organize the perceptual symbols within a simulator, and words associated with simulators provide linguistic control over the construction of simulations.

Simulators can be combined combinatorially and recursively to implement productivity; they can become bound to perceived individuals to implement propositions. Because perceptual symbols reside in sensory-motor systems, they implement variable embodiment, not functionalism. Using complex simulations of combined physical and introspective events, perceptual symbol systems represent abstract concepts. (Barsalou, 1999, p. 582)

e ciò implica che:

Viewing knowledge as grounded in sensory-motor areas changes how we think about basic cognitive processes, including categorization, concepts, attention, working memory, longterm memory, language, problem solving, decision making, skill, reasoning, and formal symbol manipulation. This approach also has implications for evolution and development, neuroscience, and artificial intelligence. (ibidem)

La *Perceptual Symbol System Theory* di Barsalou provvede ad una stabile impalcatura teorica per guardare ad ampio spettro al ruolo della percezione nelle funzioni cognitive che lui definisce “*grounded*” (Barsalou, 2008) in quanto radicata nell’ambiente sensoriale, con il quale riesce a condurre simulazioni, ovvero riattivazioni di stati percettivi, motori e introspettivi acquisiti durante l’esperienza con il mondo, il corpo e la mente. Lo stesso Barsalou ci mette in guardia da facili entusiasmi, sottolineando che i rapporti che intercorrono tra la percezione e la rappresentazione rimangono ancora largamente insondati, di difficile lettura, e aperti a molteplici interpretazioni.

È fondamentale chiarire che i principi teorici che sostengono questa mia proposta traggono origine da una prospettiva deterministica, in linea con i principi della *teoria dei sistemi complessi*. Tale teoria si radica in una concezione deterministica del mondo, dove tutto è teoricamente prevedibile in quanto determinato da rapporti causa-effetto (Pei, 2015). Il punto focale per il nostro interesse è una questione epistemologica: di fronte a un sistema dinamico le cui variabili sono teoricamente note in un momento T1, non si può prevedere con esattezza la loro evoluzione in un momento successivo T2. In quanto deterministico, questa incertezza non deriva dalla natura del sistema, ma dai limiti epistemologici e computazionali che definiscono la conoscenza umana, come esposto da Falzone:

I complessi conoscitivi, che chiamiamo “scienze”, [sono] dotati di apparati tendenzialmente riduzionisti ma in continua riorganizzazione delle regole e delle conoscenze empiriche. [...] i limiti “linguistici” delle procedure di riassetto dei saperi scientifico-formali non porta, e, secondo Tarski (1931), non porterà mai alla realizzazione di sistemi perfettamente conclusi. (Falzone, 2008, p.53)

I confini della conoscenza umana, inevitabilmente condizionati dalla necessità di modellizzare e semplificare la realtà, trasformano la predicibilità del determinismo filosofico in una forma di probabilismo. Ciò si traduce in una "probabilità che l'evento A si verifichi piuttosto che l'evento B", risultante non da un'indeterminabilità del sistema in sé, ma piuttosto da come il sistema evolve nel tempo, un'indeterminabilità che è solo apparente (Ott, 2002). Questa condizione ha un impatto diretto su come dovremmo approcciare le scienze cognitive, in quanto disciplina che studia e tenta di modellizzare un sistema complesso.

Inoltre, in un sistema complesso emergono proprietà che non sono riconducibili né deducibili dalle proprietà delle sue singole componenti, e che variano da un sistema all'altro (Johnson, 2006; Aziz-Alaoui e Bertelle, 2009). Questo richiede un approccio "multilivello" che specifichi chiaramente a quale scala di dettaglio stiamo analizzando il sistema. Non attenersi a questa modalità descrittiva può portare a gravi incomprensioni all'interno della disciplina stessa.

2.3.1 Computazionalismo oggi

Le scienze cognitive classiche hanno proposto l'idea secondo la quale gli agenti cognitivi rappresentino il mondo mediante atteggiamenti proposizionali ed eseguano computazioni come inferenze logiche basate su simboli:

Following the line of arguments of early cognitivism, concepts are symbolic representations by nature, and as thinking, they can be reduced to symbolic (not neural) computation. (Gallese and Lakoff, 2005, p. 456)

Differentemente, con la svolta attuata dalla psicologia connessionista decisamente più attenta ad ancorare alla struttura del cervello i processi cognitivi, si è iniziato a guardare alle rappresentazioni mentali come pattern di livelli di attivazione su popolazioni di neuroni, agganciando definitivamente il concetto di computazione al livello neurale. Il connessionismo diventa il «*progetto di vincolare sistematicamente la psicologia computazionale con i dati neurobiologici*» (Marraffa, 2002), e la neuroscienza computazionale, dal lato opposto, il tentativo di modellizzare il sistema nervoso (Hinton & Sejnowski, 1999).

Il parallelismo tra segnale neuronale e segnale digitale è l'assunto centrale del computazionalismo oggi come in passato (McCulloch & Pitts, 1943), e giace alla base dell'applicazione della teoria dell'informazione alla cognizione e al cervello. Lo sforzo dei modelli computazionali del cervello è quello di formalizzare i processi neurali in termini di relazioni matematiche (Friston et al. 2014), e costituisce la porta di accesso agli aspetti quantitativi della cognizione, esplorabili attraverso l'*Information Theory* (Sayood, 2018).

La teoria dell'informazione ha impattato prevalentemente in termini di simulazione computerizzata del neurone e dei networks cerebrali. Difatti, sul neurone si è indagato il modo, la capacità e le vie attraverso le quali l'informazione è codificata. Il *multi-neuronal signaling and population coding* è invece un delle versioni più concrete dello studio dei network cerebrali, basata sulla correlazione di prossimità dell'attivazione di neuroni vicini tra loro, e mira a studiare la propagazione dell'informazione allo stimolo come processo stocastico (ibidem).

Da un lato, quindi, l'approccio computazionale è stato applicato sulla scala neurale a fronte di un costante impoverimento sulla scala cognitiva. Una nuova spinta è stata attuata da quelle formulazioni che prendono oggi il nome di *inferenza attiva*, *inferenza bayesiana* o *Predictive Processing*. Questi approcci suggeriscono che il cervello sia un generatore predittivo che tenta costantemente di ridurre al minimo l'errore di previsione sulla base dei percetti sensoriali aspettati rispetto a quelli percepiti. Sul piano algoritmico, sostiene che tale operazione è implementata nel cervello tramite dinamiche iterative di reti gerarchiche di semplici unità di previsione ed errore.

Genericamente queste operazioni tentano di spiegare funzioni cognitive tanto di basso quanto di alto livello, implementate neuralmente principalmente nella neocorteccia, la cui suddivisione citoarchitettonica suggerisce soluzioni di codifica delle predizioni e rilevamento degli errori differenti per vari domini di contenuto, gerarchicamente collegati (Sprevak & Smith, 2023).

Termini quali “computazione” e “*Information Processing*” hanno segnato nel dibattito delle scienze cognitive profonde incomprensioni (Piccinini & Scarantino, 2011) sia sul piano epistemologico che su quello puramente semantico. L’uso che hanno fatto gli psicologi cognitivi del termine *informazione* differisce significativamente da quello proposto neuroscientificamente (Rathkopf, 2020). Questi ultimi hanno inteso il processamento dell’informazione in una concezione molto vicina a quella di Shannon (1948), separando l’informazione sia dal suo contenuto che dalla sua parte fisica (Deacon, 2012), ad eccezione di quella elettromagnetica individuabile sulla scala del neurone, mentre i primi hanno guardato con più attenzione alle operazioni cognitive quali operatori logici su informazioni semantiche.

Sovrapporre, chiamando con lo stesso nome, due processi sostanzialmente diversi e relativi a domini non coincidenti ha dato come risultato quello di confondere computazione neurale e computazione cognitiva, portando a false contraddizioni in luogo di una differenza di significato. Per una Scienza Cognitiva naturalisticamente fondata (così come la si sta perseguendo in questo lavoro di tesi) basata sull’assunto che le strutture creano le possibilità per le funzioni, la computazione neurale rappresenta un vincolo biologico per la cognizione.

2.3.2 Informazione, computazione e protocollo di comunicazione

Per iniziare, è necessario delineare una definizione di informazione in riferimento all’uso che ne viene fatto nella teoria dell’informazione, introdotta da Shannon nel suo celebre articolo “*A Mathematical Theory of Communication*” (1948) Questa teoria, adattata alla comunicazione umana, ha dato origine alle scienze cognitive modular-

computazionali e alla metafora del "cervello come computer". L'informazione, pertanto, può essere vista come un contenuto o un insieme di dati inseriti in un sistema; nel nostro caso, il sistema-mente. Ciò che interessa le scienze cognitive, e quindi ciò che è rilevante per noi, è riconoscere che questa informazione può essere considerata come l'elemento chiave della dinamica comunicativa in senso lato. Questo significa che un'informazione è tale se può essere riprodotta in un punto B partendo da un punto di origine A. Un esempio lampante è il fotone, quale prototipo di particella informativa: in un sistema composto da un oggetto materiale e un occhio umano, il fotone è l'elemento che trasporta l'informazione (ad esempio il colore, derivante dalle proprietà di assorbimento delle onde elettromagnetiche dell'oggetto fisico) all'occhio, che può decodificarla.

Un dato, un'informazione, con uno specifico formato (un codice) viaggia attraverso un canale dato dalla traiettoria del fotone, sino a raggiungere l'occhio, ossia un elemento del sistema che, in virtù della sua specifica natura, decodifica in un preciso modo (e con precise possibilità) l'informazione trasportata dal fotone. L'intero processo appena descritto prende il nome di "comunicazione" (Baldo Gentile, 2022). Tuttavia, il semplice trasferimento di una particella informativa non costituisce di per sé una comunicazione. È necessaria una serie di regole decodificanti, un oggetto percipiente che sia in grado di captare e decodificare l'informazione, seguendo un "protocollo di comunicazione" basato su regole ben definite. Il concetto di "protocollo", ampiamente utilizzato in informatica, è lo stesso in questo contesto: stabilisce le regole entro cui l'informazione può viaggiare ed essere decodificata.

Come evidenziato da Falzone (2012), per una comunicazione efficace, emittente e ricevente devono condividere non solo lo stesso sistema percettivo-motorio di codifica e decodifica, ma anche uno stesso codice, le cui condizioni di possibilità sono espresse da regole. Queste regole costituiscono il protocollo di comunicazione nel senso qui inteso. Pertanto, è essenziale un protocollo di informazione sensorimotorio, un codice plasmato dalla corporeità del cervello, che funge da elaboratore di queste particelle informative.

Per comprendere la natura di queste particelle informative sensoriali, possiamo considerare i "percetti sensoriali", i componenti paradigmatici dell'esperienza cosciente che si manifestano in diverse modalità (vista, udito, tatto, olfatto, gusto, propiocezione, cinestesia, piacere e dolore) e sottomodalità. Questi stati, nati dall'interazione delle proprietà fisiobiologiche del nostro corpo con le informazioni esterne, costituiscono la materia prima della computazione cognitiva (Edelman and Tononi, 2000, p.25). Un sistema complesso di stati creati dall'incontro delle proprietà fisiobiologiche del nostro corpo con le informazioni esterne, e che costituiscono i mattoni di base della computazione cognitiva.

Seguendo Pennisi e Falzone (2017) per perseguire un approccio naturalistico nello studio delle scienze cognitive del linguaggio è necessario dedicarsi all'analisi dei vincoli della capacità linguistica. Allo stesso modo, per le scienze cognitive di base, dovrebbe essere applicata una metodologia che parta dalle strutture corporee, di cui i network cerebrali sono una parte fondamentale, al fine di descrivere ciò che la cognizione può o non può essere.

The constraints themselves become more interesting and more important in delimiting pathways of change than the selective force that may mediate change when it occurs. (Gould & Lewontin, 1979, p. 581)

Dobbiamo renderci conto che la teoria dell'informazione di Shannon e Weaver è completamente priva delle strutture fisiche legate alla corporeità umana. Pertanto, dobbiamo ora cercare di "fiscizzare" la teoria dell'informazione, poiché è attraverso l'applicazione dei vincoli corporei che comprendiamo le forme e le modalità dell'informazione proprie della cognizione. Creando un modello in cui la separazione tra cognizione e non-cognizione avviene al confine tra il corpo e l'ambiente circostante, iniziamo a descrivere cosa succede all'informazione nel suo passaggio da informazione esterna proveniente dall'ambiente, a informazione interna trasmessa nel corpo-cervello-mente.

Il cambiamento di stato conseguente a una variazione fisica è atto primario e necessario ad un qualsiasi tipo di risposta. La trasduzione dello stimolo ambientale in segnale elettrochimico può essere vista, in ottica evoluzionista, come la strategia di

maggior efficienza e velocità che la materia organica è riuscita a sviluppare come risposta alle variazioni ambientali. Similmente, la conversione verso un segnale elettro-chimico del segnale fisico è il modo in cui le cellule neuronali si sono selezionate adattivamente per riuscire a comunicare tra loro, andando a costituire un organismo-corpo emergente in grado di interagire con l'ambiente: è il compito che svolgono i nostri recettori sensoriali quali i nocicettori distribuiti in tutto il corpo, i bastoncelli e i coni negli occhi, le cellule ciliate nelle orecchie e via dicendo. Per quanto riguarda invece la comunicazione inter-neuronale e il modo in cui è propagata l'informazione già traddotta, una delle semplificazioni più illuminanti nella storia delle scienze cognitive, arrivata da McCulloch & Pitts (1943) con il loro famoso paper *A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity*, è stata quella di approssimare i neuroni a unità algoritmiche che rispondono in maniera determinata, non ambigua e finita, con una procedura che potrebbe essere formalizzata come segue:

Input = Σ stimuli

If input > threshold value : spike

Else : not spike

I “neuroni logici”, sostituendo stringhe di bit ai treni di impulsi dei neuroni naturali, approssimano efficacemente il funzionamento di questi ultimi rendendo possibile un modello semplificato ma epistemologicamente valido della propagazione dell'informazione all'interno del nostro cervello. Consci però dei postulati della teoria dei sistemi complessi, sappiamo che caratteristiche emergenti dei sistemi non sono spiegabili esclusivamente guardando alla somma dei comportamenti dei componenti del sistema.

Aumentando la scala di analisi, infatti, scopriamo che i neuroni si organizzano in *networks*, i quali non sono soltanto statici aggregati di neuroni che funzionano in serie: un neurone posto all'interno di una popolazione neurale attiva processi biologici differenti, che impattano sia sulla sua funzione che sulla sua struttura: la sinaptogenesi

e la potatura sinaptica sono due dei più importanti processi che modificano la struttura del neurone in dipendenza del suo intorno, organizzando la struttura cerebrale in *networks*. Ci si pone quindi dinanzi la seguente domanda: i network neurali sono ancora modellizzabili algoritmicamente?

Artificial neural networks have been developed as generalizations of mathematical models of biological nervous systems. A first wave of interest in neural networks emerged after the introduction of simplified neurons by McCulloch and Pitts (1943) also known as connectionist models. An Artificial Neural Network is a network of collections of very simple processors ("Neurons") each possibly having a (small amount of) local memory. [...] If the networks is multilayer perceptron with backpropagation algorithm and the output is different from the desire output, then an error is calculated and propagated backwards through the network. The synaptic weights are modified as the error is propagated. Now a days Researchers are attempting to build a silicon-based electronic network that is modelled on the working and form of the human brain. How the human brain works, it learns to realize patterns and remember them. Similarly, the neural networks developed have the ability to learn patterns and remember. (Kumar and Thakur, 2012, p.58-59).

Appare evidente che gli algoritmi, soprattutto nella loro varianti architetturelle chiamate *convolutional e deep neural networks*, si dimostrano ancora funzionali per l'obiettivo di formalizzazione matematica delle strutture neurali animali. È da tenere certo a mente che questa traduzione porta con sé molti problemi, ma questo non vuol dire che la logica algoritmica non sia ancora una delle ontologie valide per modellizzare molti comportamenti manifestati delle reti neurali cerebrali (cfr. Perconti and Plebe, 2020). VanRullen (2017) si spinge a dire che la percezione, per decenni considerata una abilità unica dei sistemi biologici, sia oggi diventata dominio anche dei computer. Ancora aggrappati alla teoria dei sistemi complessi, dobbiamo cautelatamente affermare che un modello di un sistema cognitivo non è sovrapponibile al sistema cognitivo stesso, ma al massimo a una sua epistemologicamente valida semplificazione:

I fenomeni del comportamento e della cognizione sono proprietà emergenti delle interazioni sinaptiche tra un enorme numero di neuroni, dove emergenti significa

non deducibili e non predicibili anche conoscendo alla perfezione neuroni e sinapsi. (Parisi, 2002, p.143)

C'è però qualcosa da aggiungere rispetto alla possibilità di utilizzare la semplificazione formalizzata da Shannon e proposta per le scienze cognitive da McCulloch e Pitts. Come abbiamo visto, sia il neurone che i network neuronali sono oggi modellizzabili tramite algoritmi che ne replicano il comportamento in maniera efficace. Dobbiamo però porre una linea di confine quando dal neurale passiamo al cognitivo:

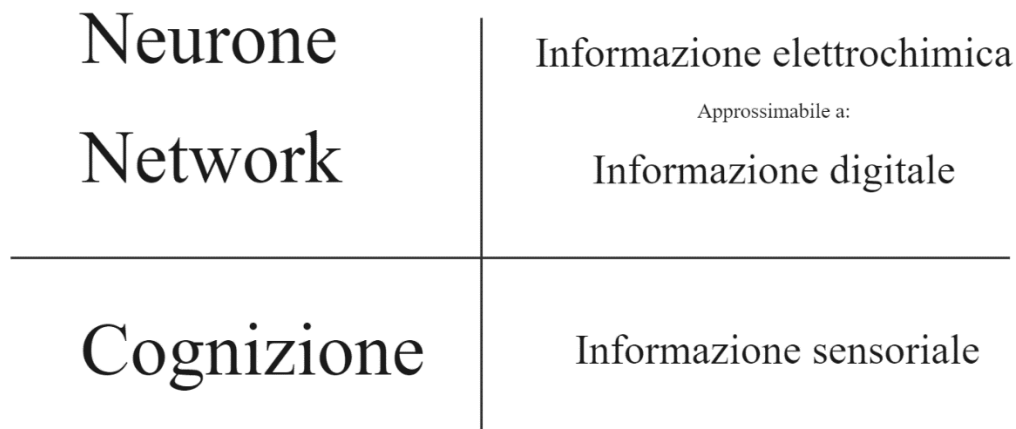


Figura 5: divisione dell'ontologia dell'informazione del sistema cervello-mente. Mentre nel cervello vige un protocollo elettrochimico di propagazione dell'informazione, sul suo sistema emergente (la cognizione) il "linguaggio di programmazione" è di carattere sensoriale.

Quando guardiamo al neurone o al network neurale, difatti, riusciamo a comprendere come questi comunichino elettrochimicamente tra loro, ma non possiamo affermare nulla sul contenuto dell'informazione. Quello che facciamo per inferire indirettamente il contenuto dell'informazione trasmessa, potendo quindi salire al livello cognitivo della faccenda, è correlare i compiti cognitivi alle zone neurali di maggiore attivazione, con il risultato di attribuire, ad esempio, un tipo di informazione visiva alla corteccia occipitale. Il rapporto tra attivazione neurale e compito cognitivo è perciò stesso di natura prettamente correlazionale, mai causale (Coltheart, 2013; Caruana,

2013; G. Ferretti & Viola, 2019). Possiamo dire quindi che l'insieme delle possibilità informazionali dei neuroni e dei network non coincide con l'insieme delle possibilità informazionali della cognizione. Con le parole di Dennett:

Forse in futuro scopriremo un'interpretazione naturale della trasmissione nel sistema nervoso che fornisca una misura della larghezza di banda o della capacità di immagazzinamento, in bit, di una codifica di qualunque cosa sia trasmessa, elaborata e immagazzinata, ma fino a quel momento il concetto di informazione usato nelle scienze cognitive sarà quello di informazione semantica, cioè di informazione identificata come riguardante qualcosa di specifico: volti, luoghi, o glucosio, per esempio. (Dennett, 2018, p.122)

Informazione semantica per Dennett, *informazione sensoriale* per noi, in virtù di ciò che la codifica, ossia gli organi sensoriali, e sostenendo l'ipotesi secondo la quale ogni informazione cognitiva sia essenzialmente propagata in un formato sensorimotorio. Ogni informazione, saliente o non saliente che sia, abbisogna (per diventare informativa) di essere catturata e decodificata da recettori che in essi stessi, per composizione e forma biologico-strutturale, ne plasmano una forma. Nessuna informazione può essere tale per qualcosa o qualcuno che non ha la struttura corporea (dunque sensorimotoria) atta a recepirla e decodificarla, o anche solo a trasdurla in informazione elettrochimica propagabile dal sistema nervoso. Questa informazione sensoriale è la materia della cognizione, che la utilizza e la elabora (la computa) per scopi adattivi, cioè di sopravvivenza e di riproduzione, e alla quale riesce ad associare altre informazioni sensoriali, restituendo quelle che Dennett chiama informazioni semantiche. Una tavolozza di possibilità vincolate sensorialmente ma mescolate cognitivamente primariamente allo scopo di simulare, e così prevedere, sensazioni e azioni future.

Ciò che ho sostenuto in questo paragrafo è che, al contrario di quanto enunciato dalle scienze cognitive classiche, l'elaborazione cognitiva non è indipendente dal medium corporeo, ma anzi da esso è forgiata in quanto "sensoriale", e che questo non è in contraddizione con una visione computazionalista e informazionale della cognizione. Tutto sta nel definire precisamente a quale livello intendiamo attribuire capacità computazionali (il livello biologico? Quello sensorimotorio? O quello cognitivo?) e

quali caratteristiche abbia (quale sono gli oggetti della computazione? Che tipo di computazione e su quali elementi primari?). Questa operazione porta inderogabilmente al tentativo di definire una serie di regole di computazione del *brain-body*, che prendono in questa sede il nome di *Protocollo di informazione sensorimotorio*.

2.3.3 Il Protocollo di informazione sensorimotorio

Un protocollo di comunicazione stabilisce le regole che definiscono l'interazione tra due o più entità. Per applicare il concetto di "protocollo" al campo che ci interessa, occorre identificare entità comunicanti, come ad esempio i neuroni, considerati le unità fondamentali della comunicazione cerebrale. La modalità di comunicazione tra i neuroni segue delle regole specifiche, sintetizzabili in questo modo: se la somma degli stimoli esterni (ambientali o chimico-elettrici provenienti da altri neuroni) supera una determinata soglia (il "potenziale di soglia"), il neurone genera un potenziale d'azione, propagando l'informazione. Questa semplice regola permette il trasferimento dell'informazione neurale e porta a una serie di considerazioni: 1) i neuroni condividono un meccanismo che permette loro di rispondere a questa regola; 2) è proprio in virtù di questo meccanismo che si costituisce la comunicazione, e quindi il protocollo; 3) la regola non specifica il tipo di informazione che innesca la risposta nel singolo neurone, ma solo il meccanismo con cui la comunicazione viene propagata.

Ogni classe di neuroni risponde a stimoli specifici, ai quali sono evolutivamente adattati, e che interagiscono con loro. I neuroni recettori, ad esempio, reagiscono a stimoli fisici come la temperatura, la pressione o l'oscillazione dei fotoni sulla retina. Questi stimoli fisici, una volta raggruppati e suddivisi in base alla loro afferenza ai nostri organi sensoriali, possono essere applicati alla teoria dell'informazione nel contesto neuronale (Parker, Newsome 1998; Sayood 2018). Ad esempio, una certa frequenza oscillatoria del fotone diventa informazione sensoriale di tipo visivo quando interagisce con la retina e i fotorecettori. Diverse vie sensoriali generano formati diversi in cui l'informazione è elaborata e integrata dal cervello. Edelman e Tononi ci aiutano a capire cosa possano essere queste particelle di informazione sensoriale:

«sensory percepts - the paradigmatic constituents of conscious experience - [that] come in many different modalities: sight, hearing, touch, smell, taste, proprioception (the feeling of our own body), kinesthesia (the sense of bodily positions), pleasure, and pain. Furthermore, each modality comprises many different submodalities. Visual experience, for example, includes color, form, movement, depth, and so on» (Edelman, Tononi 2000, 21).

Traslare la teoria dell'informazione dalle neuroscienze alle scienze cognitive significa quindi descrivere come le strutture corporee modellino sensorialmente il mondo fisico, e come lo stimolo ambientale venga elaborato dal sistema corpo-cervello-mente per trasformarlo in materia cognitiva. Si tratta quindi di un protocollo di informazione sensorimotorio che non si limita allo studio di come i neuroni ricevano input, trasportino segnali e restituiscano output, ma estende la spiegazione neuroscientifica alle regole seguite dalla nostra filogenesi e ontogenesi per dotarci della "tecnologia corporea" che ci permette di dare forma cognitiva al mondo (Pennisi 2021).

Ma quali regole, dunque, per questo protocollo? Iniziamo a segnare le prime regole venute a noi per mezzo di quanto detto sino ad ora:

- La cognizione è costituita su base sensorimotoria.
- L'informazione sensoriale è multimodale.
- L'informazione sensorimotoria è computata dal nostro cervello: questa computazione dà vita a capacità simulate.
- Per simulazione si intende la capacità di recepire, trattenere e rievocare informazioni sensoriali e motorie con l'obiettivo di mescolarle tra loro, per simulare condizioni sensoriali e motorie non direttamente sperimentate.
- A livello neurale, la simulazione è la riattivazione di pattern neurali di esperienze percettive, o almeno i loro aspetti schematici e salienti.
- I simulatori di sensorialità funzionano come sistemi complessi aperti. In questo senso, la cognizione è una proprietà emergente della struttura complessa definita dai network neurali e della loro attività in relazione al corpo e all'ambiente.

Per illustrare un esempio di prospettiva embodied-computazionale, come descritta in precedenza, con un focus su un protocollo di informazione sensorimotorio che attribuisca importanza computazionale alla sensorialità e all'agentività corporea, è utile esaminare la robotica. Questo campo sta cercando di incorporare il paradigma embodied nelle basi algoritmiche che supportano l'intelligenza artificiale in azione. Un approccio particolarmente rilevante in questo ambito è quello della *grounded cognition* (Barsalou, 2008), che presuppone che l'intelligenza necessiti di corporeità. Anche nel settore dell'intelligenza artificiale, si osserva un crescente interesse nello sviluppo di modelli neurali artificiali incorporati e ispirati alla biologia (Bartunov *et al.*, 2018; cfr. Marucci e Betti, 2021), in particolare nel contesto dell'implementazione robotica (Pfeifer *et al.*, 2007; Pfeifer & Bongard, 2006). Parisi si spinge ad affermare che «nel tempo la psicologia si trasformerà in una scienza robotica del comportamento e della mente» (Parisi, 2013, p.106). Anche se non è certo che questa previsione si avveri, la robotica può indubbiamente fornire chiarimenti su molte questioni legate a embodiment e cognizione, riuscendo a concretizzare l'algoritmo in un corpo. Per emulare il comportamento degli organismi biologici, è fondamentale comprendere come questi selezionino e analizzino costantemente le informazioni utilizzate dalle loro strutture neurali per la percezione, l'azione e la creazione di stati cognitivi coerenti che guidano il loro comportamento autonomo. Questo ci porta a riconoscere che l'elaborazione delle informazioni non è una funzione confinata esclusivamente al sistema nervoso:

Perhaps the processing of information actually starts in the body, just as digestion actually starts in the mouth. Depending on the extent to which these actions and properties of the body affect cognition, differences in body plan could make differences to the nature of thought. In short, if the assumption of body neutrality is wrong, then one must concede that the kind of body an organism possesses makes a difference to the kind of mind it possesses. Furthermore, if this evidence calls into question the propriety of the sense-think-act conception of minds, this might lead one to reject the idea of minds and bodies as distinct components, which, in turn, elevates the importance of bodies in thought. (Shapiro, 2004, p.183)

E ancora con Lungarella e Sporns:

Sensorimotor interaction and body morphology can induce statistical regularities and information structure in sensory inputs and within the neural control architecture, and how the flow of information between sensors, neural units, and effectors is actively shaped by the interaction with the environment. [...] We find that information structure and information flow in sensorimotor networks (a) is spatially and temporally specific; (b) can be affected by learning, and (c) can be affected by changes in body morphology. Our results suggest a fundamental link between physical embeddedness and information, highlighting the effects of embodied interactions on internal (neural) information processing, and illuminating the role of various system components on the generation of behavior. (Lungarella and Sporns, 2006, p. 1301)

L'elaborazione dell'informazione sensorimotoria a livello neuronale viene elevata al livello sistemico, dove si intreccia con flussi di informazioni provenienti da altri canali sensomotori e con la morfologia corporea situata in una specifica nicchia ecologica. Questo processo fa emergere regolarità statistiche nelle strutture informative e pattern di ridondanza tra diverse modalità percettive, portando alla creazione di una codifica neurale artificiale incarnata.

Per esempio, il movimento delle zampe di molti insetti, caratterizzato da vari gradi di libertà per ciascuna zampa e vincolato da differenti irregolarità di superficie, può ispirare protocolli per l'integrazione delle informazioni sensoriali. Questi protocolli possono assumere configurazioni sia centralizzate, con un processo di core-processing, sia diffuse, con un protocollo globale di comunicazione che non è gestito a livello centrale del sistema neurale. In questo modo, l'informazione sensorimotoria non è relegata al comportamento dei singoli neuroni, ma diventa parte di un sistema più ampio e complesso, che considera l'interazione tra vari elementi e canali nel contesto di un organismo inserito nel suo ambiente.

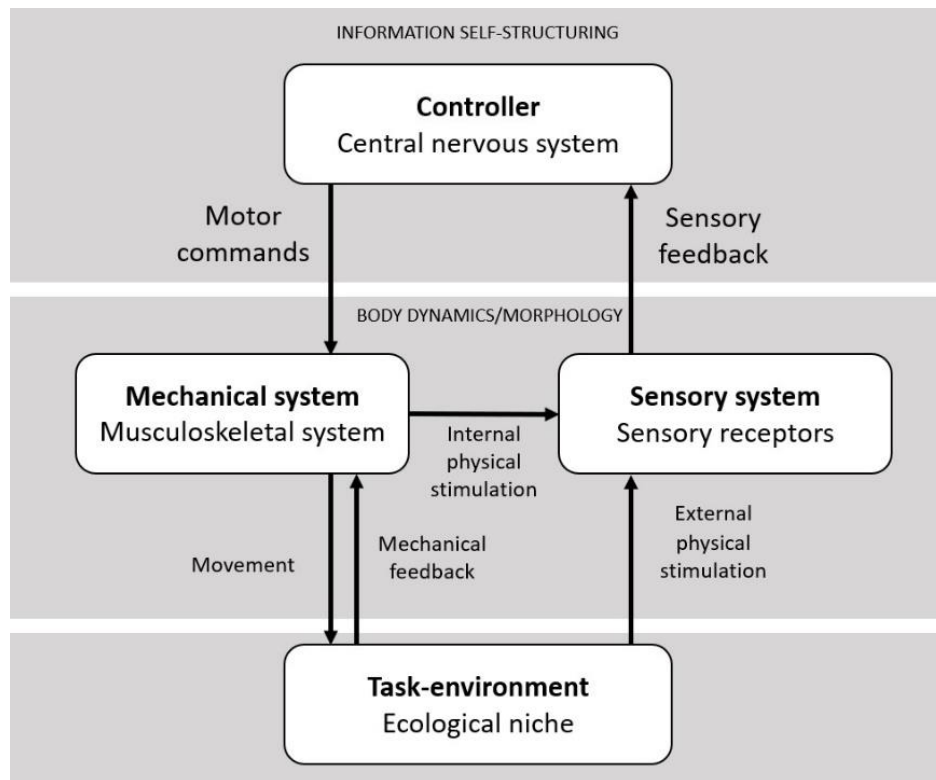


Figura 6. Implicazioni per l'embodiment robotico dell'interrelazione tra informazione e processi fisici (immagine da Pfeifer, Lungarella, Iida 2007)

Esplorare i confini computazionali delle reti neurali artificiali dotate di un corpo potrebbe diventare il nuovo standard di confronto tra la cognizione naturale e quella artificiale, laddove il comune denominatore del sensorimotorio porterà finalmente l'AI a diventare generativa in senso performativo. I dati in entrata e la loro computazione saranno vincolati alle possibilità dei loro corpi.

A quel punto, particolare rilevanza avrà l'individuazione e l'analisi delle differenze tra la cognizione robotica embodied e quella umana. Se la «struttura fisico biologica [...] determina, condiziona e vincola qualsiasi forma cognitiva» (Pennisi, 2021, p. 69), ogni corpo genera variazioni qualitative nella cognizione. «*Different bodies, different minds*» (Casasanto, 2011). Questo implica che, nonostante le attuali tecnologie di simulazione abbiano raggiunto livelli precedentemente inimmaginabili, esistono ed esisteranno comunque numerose differenze fondamentali tra un corpo robotico e uno umano, che necessitano di essere accuratamente considerate. Una distinzione chiave risiede nella biologia delle cellule neuronali umane: queste sono capaci di subire processi di modifica molecolare, fondamentali per fenomeni quali la *long-term*

potentiation e la *long-term depression*, essenziali per la memoria e l'apprendimento, funzioni che i transistor non sono in grado di replicare, limitati come sono alla programmazione umana e alla scrittura dei codici di comportamento su componenti fisiche fisse. Questo significa che, sebbene la memoria robotica possa emulare alcuni aspetti della memoria umana, ci sono molti altri aspetti che rimangono irraggiungibili. Consideriamo, ad esempio, il fatto che le capacità sensoriali di un corpo robotico sono limitate e differenziate in base al design, all'ergonomia, allo scopo con il quale il robot è stato progettato, a differenza delle strutture umane, selezionate in risposta al filtro dell'ambiente. La capacità del cervello umano di rigenerarsi plasticamente dopo traumi strutturali è un altro elemento forte di distinguo: la guarigione e la riattivazione delle funzioni cerebrali sono processi che dipendono da proprietà biologiche, difficili o addirittura impossibili da replicare in un sistema meccanico che richiederebbe interventi esterni.

2.3.4 Quale rapporto tra la struttura sensorimotoria e la rappresentazione?

La rappresentazione emerge dalle possibilità biologiche e strutturali del nostro corpo, e dunque si costituisce in maniera inevitabilmente sensorimotoria (Barsalou, 1999; Gallese, 2003b; Barsalou, 2016). Ma possedere una struttura sensorimotoria non significa essere dotati di una mente contenutistica: essa costituisce una condizione necessaria ma non sufficiente.

Una posizione realmente naturalistica deve tenere conto di quel limite tra ciò che è definibile come agente cognitivo e ciò che non lo è. Un parametro la cui apparente semplicità è subito messa in crisi da alcune domande banali: una cellula è dotata di cognizione? E una lucertola? Si può spiegare la percezione, l'azione, il comportamento degli animali senza il ricorso alla rappresentazione? Se sì, cosa identifica naturalisticamente il passaggio da una mente non rappresentazionale ad una rappresentazionale?

Emergono ultimamente, anche in ambito nazionale, dibattiti interessanti sul conferire qualità cognitive e addirittura rappresentazionali alle piante (Castiello & Guerra, 2020; Bianchi & Castiello, 2023; A. Borghi, 2023; Iachini, 2023).

Un'attenta analisi della letteratura delle scienze cognitive contemporanee non può esimersi dal constatare che i confini della cognizione sono una questione sorprendentemente trascurata, con solo qualche eccezione. L'enattivismo sensorimotorio è una di queste.

Se in ambito rappresentazionalista si è più spesso cercato di rendicontare facoltà cognitive di una certa levatura, come il linguaggio, la presa di decisione e il pensiero razionale, l'enattivismo sensorimotorio si è da subito gettato nelle grinfie della cognizione minima, per cercare di comprendere cosa rendesse un semplice attore, un agente cognitivo.

In questo quadro, la rappresentazione mentale non può essere inquadrata come un "a-priori" kantiano: essa necessita di essere decostruita nel suo percorso filogenetico, ontogenetico, cognitivo e neuroscientifico. Da dove emerge la rappresentazione?

Capitolo 3

Prima della rappresentazione

Con l'obiettivo di costruire una teoria sulle componenti minime della cognizione sociale incarnata, si inizierà proprio dalle posizioni enattiviste sulla cognizione per andare a disegnare il quadro. Questo per due ordini di motivi: il primo è quello, già esplicito nei precedenti capitoli, di non evadere dalle sferzanti critiche al rappresentazionalismo della visione enattivista. Partendo dalla materia epistemologica dell'enattivismo, l'obiettivo è quello di farsi carico delle critiche e modellare la teoria del *protocollo di comunicazione sensorimotorio* facendo tesoro di quanto di buono l'embodiment radicale sostiene. In secondo luogo, partendo dall'enattivismo sensorimotorio, si vuole denunciare e rendere merito del fatto che è questo tipo di scienza cognitiva quella che più tenta di avvicinarsi monisticamente a quel settore di studi che oggi prende il nome di "cognizione minima", anche se questo espone il fianco alla critica, già osservata, dell'enattivismo come "nuovo comportamentismo". Un problema si affaccia alla porta di chi, come me, tenta di mediare tra enattivismo ed embodiment rappresentazionalista: è il problema di chi cerca di unire due framework differenti nei metodi, nelle concezioni, nelle posizioni epistemologiche. Alla base di queste differenze risiede lo scalino più alto, ossia la differenza dell'uso del linguaggio che, come affermano Di Paolo, De Jaeger e Cuffari (2018) implica che la lingua è un campo di lotta. Le prospettive radicali non pongono mai realmente in atto il cambiamento di paradigma, se non si appropriano di un linguaggio nuovo. Questa tesi si propone come un tentativo di sintesi, e per questo motivo deve farsi carico dello sforzo di traduzione e di mediazione, di per sé enormemente gravoso, per denunciare alcune sovrapposizioni concettuali che, da una parte, servono alla lotta radicale per tentare di cambiare lo sguardo sul mondo, dall'altra corre il rischio di offuscare risultati del rappresentazionalismo troppo preziosi per essere scalzati dal panorama delle scienze cognitive.

3.1 Come e perché è necessario venire a patti con l'enattivismo

La parabola di vita un paradigma scientifico, come ci dice Thomas Kuhn, difficilmente subisce capitolazioni spontanee e repentine. Come soggetti a selezione naturale, differenti paradigmi scientifici si scontrano sul terreno di battaglia sperimentale, cosicché la competizione tra linee di pensiero va man mano trasformandosi in una guerra di posizione, le cui conquiste ne determinano il potere epistemologico. Ma le mutazioni sono sempre in agguato, e vanno spuntando sui terreni di conflitto quali *scienze straordinarie*, maturano, vengono corroborate da dati sperimentali laddove gli stessi mostrano lacune nei paradigmi vigenti, e danno luogo a riforme o, talvolta, a rivoluzioni. Altre volte periscono nel giro di poco tempo, come abbagli, allucinazioni create da dati mal interpretati, o mal campionati.

L'enattivismo si proclama rivoluzionario rispetto al paradigma dominante, il cognitivismo. Eppure, l'autoproclamazione non aggiunge niente alla portata scientifica di un paradigma. Di questo hanno contezza i molti che criticano la voce altisonante dell'enattivismo, guardando allo stato dell'arte: alcuni, i più duri, sostengono la totale mancanza di proposte valide, etichettando le divergenze come questioni definitorie e semantiche (Miłkowski et al., 2018), altri invece gettano acqua sul fuoco rivoluzionario, ma ne vedono la portata riformatrice (Marraffa, 2021; R. Meyer & Brancazio, 2022). Io mi accodo a questi ultimi, rilevando che un approccio naturalistico alla cognizione stia traendo profondi benefici dall'approccio enattivista e che, al contrario di quanto sostenuto da Paternoster (2021), la coerenza naturalistica debba diventare parte costante e necessaria di ogni buono studio delle scienze cognitive, e che il rifiuto di questa assunzione ammette di per sé lacune esplicative del cognitivismo.

Dobbiamo riprendere alcuni concetti gettati come base nel capitolo precedente per adattarli all'orizzonte più ampio della cognizione sociale, in cui stiamo per addentrarci. In primis, confrontarci e risolvere la critica sul rischio di un nuovo comportamentismo enattivista (Eliasmith 1996; Block 2005; Shapiro 2014; Kenneth Aizawa 2014; 2015; 2017). Questa critica, che come abbiamo visto è un'efficace

argomentazione contro molte istanze dell'enattivismo autopoietico e radicale, è invece a mio parere sufficientemente domata dalla visione enattivista di Di Paolo, Cuffari e De Jaegher (2018), che getta le proprie fondamentazioni nel concetto di *emergentismo* dei sistemi complessi, e nella *dialettica* come metodologia critica di indagine, complementare alla metodologia matematica dei sistemi non lineari. Il punto centrale, che svelo subito, è che descrivere la cognizione come sistema complesso che emerge dall'interazione di elementi dinamici di sottosistemi ad esso legati (quali il sistema organico o il sistema sensorimotorio) non significa dire che il sistema di ordine superiore sia la mera somma delle parti e delle interazioni tra loro degli elementi di ordine inferiore.

Un sistema complesso è un'entità formata da più parti differenziate ma interagenti tra loro. Frequentemente, un sistema complesso è costituito da sistemi, sottosistemi e sotto-sottosistemi, i quali identificano una composizionalità scalare su più livelli, sino a presentare frattalità quando i sistemi sulle varie scale osservano forme o pattern di comportamento che si ripetono. Quando si concepisce uno o più individui quali sistemi complessi, si inquadrano in quella categoria di sistemi detti "adattivi", ossia denotati dall'essere aperti (in comunicazione con l'ambiente in cui è immerso attraverso flussi materiali, energetici o d'informazione), dinamici (sistemi nei quali struttura e funzioni cambiano nel tempo) e non lineari (che restituiscono output non regolari al presentarsi di input regolari) (Gandolfi, 2008). I sistemi complessi presentano delle proprietà peculiari.

Il *principio di subordinazione al grado più alto* identifica dei vincoli che inibiscono talune potenzialità che si collocano sui vari livelli del sistema. Ad esempio, il comportamento di un gruppo vincola le possibilità dei singoli, o il numero teorico di cellule possibili si restringe a poche centinaia da limitazioni di ordine sistemico, al netto di possibilità teoriche di combinazioni molecolari nell'ordine dei trilioni.

Un secondo principio, il *principio di autorganizzazione* (Ashby, 1947), ci dice che all'aumentare della complessità di un sistema (numero di elementi, numero di interazioni non lineari tra gli elementi che lo compongono e sviluppo temporale) l'equilibrio del sistema risponderà in modo da auto-organizzare, con sistemi di

feedback e retroazione, gli elementi interni al sistema. L'omeostasi degli organismi viventi è un chiaro esempio di autorganizzazione di un sistema complesso messo in relazione alle risposte ambientali. A questo principio sono legate le caratteristiche di autoreferenza del sistema, ossia la dinamica attraverso la quale ogni comportamento del sistema retroagisce su sé stesso modificando il suo comportamento successivo, e di autonomia del sistema, e quindi al concetto di chiusura operativa, di cui parleremo estesamente in seguito.

Molta letteratura attuale però utilizza l'emergentismo come spiegazione-senza-spiegazione: dire che la cognizione e il comportamento sono fenomeni che emergono dall'interazione continua e circolare di agenti corporei con l'ambiente è il punto di partenza dell'indagine basata sull'uguaglianza cognizione = sistema complesso, e non il punto di arrivo. A partire da ciò, infatti, le scienze cognitive abbisognano di una descrizione delle parti del sistema e delle interazioni tra esse, con una spiegazione del come il livello "sotto" renda possibile l'emergere del livello "sopra". Certo, non è semplice per definizione, dato che le qualità emergenti sono qualità di un sistema constatabili empiricamente ma non deducibili logicamente (Gandolfi, 2008). È il caso del sistema umano, risultato del compenetrarsi di sistemi complessi fortemente interconnessi ma appartenenti a ordini gerarchici differenti (pensiamo ai livelli organici, sensorimotori e comportamentali della cognizione, come esempi di sistemi complessi progressivamente emergenti). In questo svolgeranno un ruolo cardine gli studi computazionali.

È infatti proprio grazie all'aumento esponenziale della capacità computazionali dei computer che ci è permesso simulare sistemi complessi, e quindi constatare empiricamente i loro sviluppi e le loro emergenze. Per quanto attiene alla filosofia della mente, Di Paolo, Cuffari e De Jaegher (2018) suggeriscono il metodo dialettico come strumento di indagine sui livelli molteplici della complessità: la dialettica in questo senso è l'operazione di spostamento del pensiero dall'astratto al concreto, dove per concreto si intende il collocamento dell'oggetto di studio nelle relazioni e nella storicità, un continuo confronto tra l'astratto dei modelli e le situazioni reali. Le astrazioni sono dei processi mentali e fisici che utilizziamo per isolare parti specifiche

di un sistema. Ad esempio, quando separiamo le funzioni degli organi dal sistema-corpo stiamo facendo un'astrazione. Questo può essere utile in molte situazioni, ma la metodologia dialettica ci ricorda che è importante tornare a situare l'oggetto nella complicata rete di relazioni che lo costituisce. Dobbiamo ricomporre le parti isolate e capire come le relazioni astratte si traducono in realtà concrete. In questo modo, possiamo vedere come le parti non siano le stesse quando sono isolate e quando sono messe in relazione con altre parti (Merleau-Ponty 1973; Varela 1991; Di Paolo 2005; De Jaegher e Di Paolo 2007). La dialettica è un metodo spesso utilizzato in biologia, per calare i modelli evolucionistici nei contesti ambientali: secondo Richard Levins e Richard Lewontin (1985), gli organismi non solo subiscono l'evoluzione, ma sono anche i protagonisti di questo processo. Affermare che gli organismi sono sia soggetti che oggetti dell'evoluzione implica riconoscere che l'evoluzione è frutto di una intricata dinamica tra condizioni ambientali, che esercitano una pressione selettiva sulle popolazioni, e gli organismi, che attivamente selezionano e influenzano le loro stesse condizioni ambientali. Questa visione ha portato alla moderna prospettiva della costruzione di nicchia (Odling-Smee, 1988), che considera gli organismi come veri e propri ingegneri dell'ecosistema che possono influenzare, anche indirettamente, i modelli di selezione della propria e delle altre specie. Questa circolarità della dinamica evolucionista è stata conquistata dalla ricerca biologico-evolucionista calando il modello della selezione naturale storicamente e concretamente, facendo emergere la tensione meta-stabile che intercorre tra soggetto e oggetto, agente e ambiente.

This is the idea of dissolving barriers without erasing difference. In some cases, accepting boundaries but learning about the flows that cross them and how to see through them. (Di Paolo¹⁸)

È qui che questo enattivismo riesce a smarcarsi dall'accusa di essere un nuovo malcelato comportamentismo (Block 2005; Shapiro 2014; Aizawa 2014; 2015; 2017): attraverso un metodo dialettico che ritrova nell'agency e nell'autonomia dell'agente l'oggetto di studio delle scienze cognitive, di nuovo messo a fuoco ma con nuovi

¹⁸ Tratto dal *Forum of Biology, Ecology and Cognitive Science – Enaction and Dialectics part 1 – Ezequiel Di Paolo*, raggiungibile al link: <https://www.dialecticalsystems.eu/contributions/enaction-and-dialectics-part-i/> (ultima consultazione: 18/12/2023).

occhi, attenti e sensibili all'interazione dell'agente con gli altri agenti e con l'ambiente. Questa interazione, in pieno accordo con la prospettiva dei sistemi complessi, è posizionata su uno specifico livello di grana, ma è resa possibile dal livello inferiore (il livello organico, se mettiamo il livello sensorimotorio al centro della nostra analisi), e rende al contempo possibile il livello superiore: il livello dell'interazione e della socialità, nonché quello della cognizione.

3.1.2 Autonomia enattiva: autopoiesi e cognizione sociale

Respingere in toto, come se si trattasse di un blocco unico, l'enattivismo, è operazione metodologicamente scorretta, oltre a rappresentare un lusso che la scienza cognitiva, nelle sue enormi difficoltà epistemologiche, non può permettersi. Inoltre, è pacifico osservare che la letteratura della scienza cognitiva affida all'enattivismo uno dei fronti di battaglia più difficile da gestire, che riguarda la seguente domanda: dove è situata la linea di divisione tra la cognizione e il mondo?

Oggi possiamo distinguere almeno tre forme di enattivismo (Ward et al., 2017): l'*enattivismo autopoietico*, ovvero la versione originaria di Humberto Maturana e Francisco Varela (1992), si fonda sulla concezione dell'organismo vivente come sistema autonomo che enagisce sull'ambiente in cui vive, ambiente intriso di significati in virtù della costituzione corporea dell'organismo. Nell'enazione l'organismo si auto-produce (da qui *autopoiesi*) e nel medesimo istante modifica l'ambiente in relazione alle proprie esigenze vitali, in un accoppiamento strutturale dinamico co-determinato; l'*enattivismo sensorimotorio*, quello che maggiormente interessa coloro i quali si spingono nel costante tentativo di naturalizzare le scienze cognitive, si fonda sul primato del sensorimotorio nella cognizione. I processi cognitivi sono determinati dalle capacità motorie e sensoriali, e percezione, cognizione e azione diventano atti dinamici, indistinguibili, dove, ad esempio, la percezione è in quanto costituita dalla competenza sensorimotoria dell'agente, che a sua volta consta di schemi di covariazione fra i movimenti corporei e gli stimoli sensoriali. Qui la cognizione è un processo dinamico che si sviluppa nel tempo. Tra i principali

esponenti di questa interessante frangia dell'enattivismo troviamo Alva Noë (Noë, 2004), O'Regan (O'Regan 2011; O'Regan e Noë 2001) e Di Paolo (Di Paolo, Buhrmann, e Barandiaran 2017); in ultimo, si può identificare una fazione estrema, l'*enattivismo radicale* (Hutto & Myin, 2012), che accoglie le istanze delle precedenti spingendole al parossismo, rifiutando la nozione di *contenuto mentale* in ogni sua forma, e dissolvendo la cognizione nelle relazioni dinamiche soggetto-oggetto, agente-ambiente, mente-mondo.

Ma come, scendendo nel particolare, l'enattivismo descrive la cognizione? Lo fa a partire dall'individuazione dell'autonomia dell'agente che agisce nell'ambiente, un agente sì autonomo, ma accoppiato fisicamente e storicamente al suo intorno. Ogni agente e ogni ambiente è un sistema (nel modo in cui sono descritti i sistemi dinamici non lineari), e il loro accoppiamento è tale nel momento in cui lo stato di uno forma (o co-determina) un parametro dell'altro e viceversa (Thompson 2010; Di Paolo, Buhrmann, e Barandiaran 2017; Lee 2023). Il singolo sistema è autopoietico nella misura in cui mantiene e riproduce se stesso attraverso i processi interni che gli sono propri:

Specifically, for enactivists, an autonomous system is one constituted by a network of processes that recursively depend on one another to produce the very processes themselves, and in doing so, realise the system as a unified individual (e.g., Thompson, 2007, p. 37). (Lee, 2023)

O ancora in Varela:

We shall say that autonomous systems are organizationally closed. That is, their organization is characterized by processes such that (1) the processes are related as a network, so that they recursively depend on each other in the generation and realization of the processes themselves, and (2) they constitute the system as a unity recognizable in the space (domain) in which the processes exist. (Varela 1979, p.55)

L'autonomia, quindi, si riferisce a un tipo di organizzazione costituita da una rete di processi interdipendenti, in cui il comportamento dell'insieme emerge dalle dinamiche d'interazione delle parti che lo compongono. Questa autorganizzazione è definita

anche omeostaticamente: la regolazione omeostatica implica l'uso di meccanismi di controllo a feedback per mantenere le variabili rilevate dell'ambiente interno entro intervalli compatibili con la sopravvivenza (Modell et al., 2015). È importante sottolineare che l'*autonomia*, nel senso adottato dall'enattivismo, è sì sinonimo di chiusura operativa del sistema, ma non di indipendenza: ogni processo costitutivo del sistema autonomo opera grazie ad altri processi costitutivi e a processi dell'ambiente (E. A. Di Paolo et al., 2018). Tali processi di controllo a feedback coinvolgono, nel caso degli esseri umani ma non solo, azioni automatiche (ad esempio, riflessi motori, processi endocrini, immunologici e autonomici) che sono guidate da input di feedback e dal conseguente "errore di previsione" - la discrepanza tra uno stato corporeo atteso (un setpoint omeostatico) e il suo livello effettivo segnalato dagli input sensoriali provenienti dal corpo (Ibid.). Dunque, sintetizzando all'osso con Barandiaran, «*autonomous systems are recursively self-sustaining networks*» (2017, p. 411).

Il concetto di autonomia del sistema è spesso trascurato in molti degli attuali approcci enattivisti, con particolare riferimento all'enattivismo radicale di Hutto e Myin (2012) o alla teoria della contingenza sensorimotoria di Noë (2004), eppure la sua importanza è centrale, in quanto identifica separazioni tra i sistemi che, altrimenti, farebbero decadere il dominio della cognizione, rendendo l'enattivismo una questione più simile ad una "teoria del tutto" troppo vaga per essere accolta, troppo comportamentista per essere cognitiva. È così che l'autonomia definisce ogni sistema che mantiene ricorsivamente la propria organizzazione, e ciò implica che in diversi livelli d'analisi (o ordini di grandezza) si possono individuare diversi sottosistemi autonomi (ad esempio: la cellula è un sistema autonomo dotato di una propria omeostasi, così come, ad un livello di scala e di complessità superiore, il sistema nervoso è anch'esso un sistema autonomo definito alla maniera enattiva). L'autonomia biologica (la capacità di un organismo di mantenere ricorsivamente l'organizzazione biochimica dei propri organi e tessuti) definisce il livello delle norme biologiche, così come l'autonomia sensomotoria definisce il livello delle norme comportamentali e cognitive. Barandiaran, ci fornisce esempi e riferimenti:

The autonomy of the cell (Bechtel 2007a; Ruiz-Mirazo and Moreno 2004), the autonomy of multicellular organisms (Arnellos et al. 2014; Rosslenbroich 2009), the autonomy of behaviour (Barandiaran 2004; Barandiaran and Moreno 2006b; Smithers 1997), the autonomy of inter-subjective interaction (De Jaegher and Di Paolo 2007; De Jaegher et al. (2010) the autonomy of the social (Luhmann 1986, 1995), or the political (Adams 2007; Castoriadis 1997), etc. (Barandiaran 2017, p. 412)

Questo tipo di ragionamento, in pieno accordo con la teoria dei sistemi complessi, non ci dice ancora molto dei rapporti che intercorrono tra sistemi e sottosistemi, ma, ancor di più, non riesce a identificare quale sia il livello adatto dal quale partire per parlare di cognizioni, anzi, sembra intorbidire le acque. Lo stesso Barandiaran commenta e individua, attraverso l'opera di Varela, la specificità della cognizione rispetto a sistemi autonomi di altro tipo:

There is, however, another alternative position: the specificity of cognition lies at a particular level of biological organization, one that makes possible the emergence of new form of autonomy (embedded but distinct from generic biological autopoiesis): that of the nervous system. In fact, although ambiguous at times, for Varela et al. it is the autonomy of the nervous system that provides the level of specificity that is relevant for enactivism. (ibid., p.414)

Finalmente l'oggetto è svelato: è quindi il sistema nervoso, uno specifico livello di organizzazione biologica, a determinare cosa appartenga al dominio del cognitivo. Il sistema nervoso, dotato di una *chiusura operativa* delle sue sottoreti reciprocamente correlate, e quindi non da una chiusura dall'interazione con l'ambiente, che danno origine ad insiemi di attività coerenti (Varela, 1992) e che ne determinano un grado di autonomia ontologica ed epistemologica. Queste reti mediano continuamente correlazioni sensorimotorie delle superfici sensoriali ed effettrici, danno origine a un comportamento unitario per l'intero organismo, una coerenza specifica che è incorporata alla scala dell'organismo. Questa coerenza è un sé cognitivo, un'unità di percezione e movimento nello spazio, invarianze sensomotorie mediate dalla rete neuronale (Varela 1992, p.10). In questo senso, *l'autonomia cognitiva è costitutivamente sensorimotoria* (Barandiaran 2017, p.419).

Il concetto di autonomia è altresì ripreso e approfondito in chiave biologica da Kirchhoff e collaboratori utilizzando il costrutto di *coperta di Markov* per definire l'autonomia auto-organizzata di un sistema operativamente chiuso definendone i confini (in senso statistico). Un sistema racchiuso da una coperta di Markov può auto-organizzarsi in un sistema globale o macroscopico che ha a sua volta una coperta di Markov:

Questo ci permette di illustrare come i sistemi autonomi siano realizzati da più coperte di Markov auto-evidenziate e annidate. Questa costruzione implica che un sistema vivente è composto da coperte di Markov di coperte di Markov, fino agli organelli cellulari e al DNA e fino agli elementi dell'ambiente¹⁹. (Kirchhoff et al. 2018, p.2)

Questa prospettiva appare dunque tanto preziosa quanto sufficiente a sviluppare una teoria della cognizione sociale minima radicata sul sensorimotorio, tralasciando i molti problemi interni all'enattivismo e al fazionismo, con le sue false dicotomie, che ho già in parte trattato e per cui rimando a Aizawa (2014); Barandiaran (2017); Ward, Silverman, e Villalobos (2017) e Lee (2023). Per la nostra prospettiva, in accordo con Di Paolo, Barandiaran, Kirchhoff e Friston, l'autonomia dell'agente è imprescindibile all'analisi delle scienze cognitive, dato che la sua abrogazione porta alla perdita inesorabile dell'oggetto di studio, e quindi alla sua dissoluzione epistemologica che, a mio avviso, è intrinseca nel problema della tesi sull'isomorfismo "cognizione/vita"²⁰.

¹⁹ "This construction implies that a living system is composed of Markov blankets of Markov blankets reaching all the way down to cellular organelles and DNA and all the way out to elements of the environment."

²⁰ Concezione esplicitata come segue: "The domain of all the interactions in which an autopoietic system [a living system] can enter without loss of identity is its cognitive domain" (Maturana & Varela, 1980), che ha poi permeato l'enattivismo autopoietico (Hutto & Myin, 2012).

3.1.3 Partire dai corpi sensorimotori²¹

Il sistema sensomotorio è una complessa rete di circuiti neurali che comprende gli organi sensoriali, il sistema nervoso centrale e i muscoli. È responsabile della ricezione e dell'elaborazione delle informazioni sensoriali provenienti dall'ambiente e della generazione di risposte motorie appropriate. Il corpo sensomotorio è l'attuatore del comportamento umano e svolge un ruolo cruciale in varie attività quotidiane, come camminare, raggiungere, afferrare e manipolare oggetti. Il sistema riceve informazioni dall'ambiente attraverso i recettori sensoriali, che comprendono la vista, l'udito, la somatosensorialità (tatto, pressione, temperatura e dolore), l'olfatto e il gusto, immagazzinando e elaborando anche informazioni interne di carattere propriocettivo e interocettivo. Seguendo un semplicistico modello sequenziale, una volta ricevute le informazioni sensoriali, queste vengono elaborate dal sistema nervoso centrale (cervello e midollo spinale), che le integra e genera risposte motorie. Le risposte motorie sono attuate per mezzo dei neuroni efferenti, che attivano gli organi effettori producendo il movimento. Il sistema sensomotorio si adatta continuamente ai cambiamenti dell'ambiente, consentendo agli individui di apprendere e perfezionare le abilità motorie. Inoltre, il sistema è influenzato anche da fattori cognitivi ed emotivi, che possono modulare l'elaborazione sensoriale e le risposte motorie.

È opinione contenuta nel presente lavoro che il piano sensorimotorio, ritrovatosi adatto evolutivamente ed ontogeneticamente ad una conformazione di vita sociale, sia il la condizione di partenza dalla rappresentazione mentale.

Il sistema sensorimotorio, però, può essere visto in diversi modi. Un modo più relazionale e interattivistico è quello espresso dall'enattivismo sensorimotorio, mentre più statico e in prima persona è quello espresso dell'embodied cognition rappresentazionalista. Molti problemi si nascondono tra i due concetti paralleli di

²¹ L'intero paragrafo ha beneficiato del costante confronto intrapreso con Xabier Barandiaran durante il periodo di Visiting presso lo IAS Research e l'Università dei Paesi Baschi nel maggio del 2023. Semmai ce ne fosse bisogno, sottolineo che il paragrafo restituisce la mia concezione del dibattito tra sensorimotor scheme e body schema, e non necessariamente quella di Xabier. A lui devo l'affinamento delle idee e la profondità dell'analisi di questo paragrafo.

“*sensorimotor scheme*” (di matrice enattivista) e di “*body schema*” (di derivazione embodied), non soltanto definitivi, ma anche relativi alla differenza dei punti di vista che li strutturano. Approfondiamo le sfumature e le eguaglianze che si nascondono dietro a questi due concetti.

Come noto, il concetto di *sensorimotor scheme*²² è attualmente identificato con maggior rilevanza nella corrente sensorimotoria dell’enattivismo, mentre il *body schema* si espande trasversalmente nelle scienze cognitive, seppur con gradi di sviluppo e d’importanza talvolta radicalmente differenti. In questo paragrafo si intende evidenziare le differenze e le somiglianze tra i due concetti, soffermandoci sulle premesse teoriche e gli sviluppi logici che da esse prendono piede, puntellando di dati empirici la nostra analisi.

Il *sensorimotor scheme* è fatto risalire talvolta alla letteratura Piagetiana (Di Paolo et al., 2017), con particolare riferimento al problema del *perceptual learning* (Piaget, 1923, 1971, 1972b, 1972a, 1975). In questo *framework*, il programma di ricerca di Piaget si sviluppa come un tentativo di far derivare i compiti di cognizione alta (es: concettuale, matematica, razionale) da forme di organizzazione sensomotoria. I due concetti chiave, utili in questo frangente, della teoria piagetiana sono *assimilazione* e *adattamento*: con il primo si identifica un processo attraverso il quale aspetti ambientali vengono catturati da un agente, generando una risposta accoppiata del sistema fisiologico o comportamentale dell’agente stesso; con il secondo si intende quel processo attraverso il quale l’agente impara ad interagire con successo con l’ambiente, facendo variare gli schemi di coordinazione sensorimotoria in modo adattivo rispetto al contesto (Piaget, 1923, 1972a). Altre volte invece, e forse con un risultato di più immediato slancio, il *sensorimotor scheme* è messo in relazione all’approccio Gibsoniano ecologista del *perceptual learning* (Gibson, 1963), nel suo conferire all’ambiente il ruolo di co-plasmatore delle percezioni nell’agente.

²² Nota di chiarimento: nella letteratura inglese delle scienze cognitive, la parola *scheme* è spesso associata al sensorimotorio, mentre per lo schema corporeo viene utilizzata la parola *schema*. La differenza di utilizzo non sembra essere tanto sostanziale, quanto una presa di posizione della corrente enattivista di riferirsi ad una definizione maggiormente dinamica (lo *scheme* è definito quale piano o idea messa in atto per il raggiungimento di un obiettivo). Inoltre, utilizzerò in questo paragrafo *sensorimotor scheme* o schema sensorimotorio in maniera intercambiabile, così come *body schema* e schema corporeo.

Interessante in questo senso è sottolineare una differenza fondamentale tra i due approcci, messa in luce da Taraborelli e Mossio (Mossio & Taraborelli, 2008; Taraborelli & Mossio, 2008), che esplicherebbe una posizione decisamente meno interattiva nell'approccio ecologista dell'informazione percettiva, dove quest'ultima è "incontrata" dall'organismo, mentre, nell'approccio sensorimotorio enattivista, l'informazione percettiva è determinata dall'attività motoria del percettore (Pascal & O'Regan, 2008).

Difatti, l'enattivismo sensorimotorio odierno inaugurato da Kevin O'Regan e Alva Noë, (2001), avanza la proposta secondo la quale l'esperienza sensoriale dell'ambiente, definita *perceptual consciousness*, è costituita dall'esercizio delle capacità sensorimotorie in modelli di rapporto con il mondo (O'Regan e Noë, 2001; O'Regan, 2011). Risulta più chiaro se si pensa alle capacità percettive quali competenze comportamentali, come ad esempio l'azione di nuotare. La coscienza percettiva diventa così non già una rappresentazione interna della percezione, ma un comportamento messo in atto e sostenuto nel tempo e nell'ambiente, così come l'attività del nuotare richiede il rimanere a galla tramite un certo *engagement* con l'ambiente. È chiaro che l'esperienza percettiva, in questo quadro, non è il solo rilevamento tramite sensori del mondo esterno, ma consiste nell'attuazione (*enaction*) delle capacità sensoriali di un organismo.

Se le capacità percettive si definiscono nel loro *coupling* con l'ambiente e nell'interazione dinamica e continua con questo (la quale porta a una riconcettualizzazione del percepire come un'azione, e non già come un effetto passivo di strutture riceventi) allora ciò che diventa saliente sono le *sensorimotor dependencies* (Degenaar & O'Regan, 2017), talvolta chiamate *sensorimotor contingencies* (O'Regan & Noë, 2001; Di Paolo et al., 2017), in uno sforzo di attualizzazione dialettica nella contingenza del flusso dinamico dell'interazione organismo-ambiente. Queste dipendenze sensorimotorie sono alla base delle capacità sensoriali e percettive, e possono essere definite su vari livelli: alcune dipendenze hanno a che fare con *coupling* sensoriali di breve termine e immediati (il senso di equilibrio di base è un buon esempio), mentre altri si realizzano nella stratificazione e nell'esplorazione

prolungata di oggetti e ambienti, a creare quelle che sono definite come *sensorimotor competences* o *know-how* sensorimotorio (Di Paolo et al., 2018; Carvalho, 2021). Sarà questo un punto molto importante su cui ci concentreremo nel seguito di questa trattazione.

È importante quindi ricostruire integralmente il concetto di *sensorimotor scheme* secondo l'approccio dell'enattivismo sensorimotorio:

[Sensorimotor Scheme is the] efficient organizations of sensorimotor coordination patterns developed, acquired, or selected as a consequence of being normatively evaluated. (Di Paolo et al., 2017, p.59)

L'operazione che Di Paolo e colleghi portano avanti per l'*explanandum* del *sensorimotor scheme* e quello di impostare quattro differenti concetti che identificano gerarchicamente il rapporto tra un agente e l'ambiente in termini sensorimotori, disposti in una progressione che va dall'analisi esterna a quella sull'agente:

Il primo costrutto è quello di ambiente sensorimotorio: è l'ambiente che vincola, in linea più generale possibile, le traiettorie sensorimotorie (i possibili movimenti nello spazio) dell'agente. Questo concetto è, a mio modo di vedere, in parte sovrapponibile a quello di *affordance*, ovvero gli inviti all'azione che si instaurano tra le possibilità strutturali di un agente sensorimotorio e un ambiente vincolatorio. Come abbiamo visto, il concetto di *ambiente sensorimotorio* tende a dare spiccata enfasi al rapporto con le azioni dell'agente sensorimotorio rispetto al concetto classico di *affordance*, più rivolto alle proprietà ambientali.

Il secondo costrutto è quello di habitat sensorimotorio: questo è descritto nella compresenza di ambiente e agente, e nelle traiettorie motorie che l'agente può mettere in atto in un ambiente, considerando la dinamica interna all'agente (tipicamente l'attività neurale), tra quelle possibili. È proprio l'aggiunta di questa *dinamica interna dell'agente* a determinare la differenza tra *ambiente* e *habitat* sensorimotorio.

Da qui si instaurano coordinazioni sensorimotorie: esse sono costituite dalle traiettorie individuali tra corpo sensorimotorio e ambiente/habitat in relazione a un compito/obiettivo.

We call any such reliable or (meta)stable pattern a Sensorimotor Coordination if it contributes functionally to the performance or goals of the agent. (Buhrmann et al., 2013, p.5).

È però necessario, prima di passare all'ultimo costrutto, introdurre un altro concetto utilizzato dagli autori, che sta a monte delle coordinazioni sensorimotorie, ossia il concetto di *sensorimotor contingencies*. Queste sono:

[...] the structure of rules governing the sensory changes produced by various motor actions, i.e. what we call the SMCs [...]. (O'Regan e Noë, 2001, p. 941)

Costituiscono quindi le regole di ingaggio tra le specifiche possibilità di azioni date dalla struttura sensorimotoria in un ambiente vincolato e la dinamica sensoriale prodotta come conseguenza di quell'ingaggio.

Facciamo un esempio: abbiamo il percettore, agente attivo che si impegna con il mondo. Quest'impegno è mediato da una struttura sensorimotoria, ossia l'insieme delle strutture che ricevono feedback dall'ambiente e delle strutture effettrici. La struttura sensorimotoria identifica unicamente e staticamente la dotazione organica del sensoriale e del motorio. All'interno di un habitat (o habitat sensorimotorio), che identifica le possibili traiettorie dell'agente sensorimotorio (l'agente percettore dotato di struttura sensorimotoria), l'impegno agente-habitat va a costituire contingenze sensorimotorie, ossia pattern di regolarità o irregolarità nell'*engagement* agente-habitat. Ad esempio, le correlazioni pressione-resistenza percepita nell'*engagement* tra le dita di un'agente e una pallina di spugna tenuta tra le dita dello stesso agente creano, nel loro comprimere e decomprimere l'oggetto, specifiche contingenze sensorimotorie ripetute, che costituiscono un pattern di coordinazione sensorimotoria. In termini pratici, un pattern di coordinazione sensorimotorio è determinato dall'*engagement* dell'agente inserito nel contesto di un determinato compito o prestazione. Esso eredita i vincoli dinamici dall'ambiente sensorimotorio e dall'habitat sensorimotorio.

Infine, ultimo dei quattro concetti stilati da Di Paolo e colleghi, lo schema sensorimotorio (chiamato "strategia sensorimotoria" in Buhrmann et al., 2013) è un'organizzazione di molte coordinazioni sensorimotorie valutate come preferibili (dimostratisi efficienti, ottimali, idonee – secondo un quadro normativo) per

raggiungere un obiettivo. Più brevemente: lo schema sensorimotorio è un loop auto-sostenuto di interazione con il mondo. Lo sviluppo o l'acquisizione di uno schema sensorimotorio descrive il modo in cui un agente si sintonizza su una situazione specifica, selezionando e modulando gli schemi di coordinazione sensorimotoria in accordo con le norme pertinenti.

Si può quindi sostenere che la strategia sensorimotoria sia il perno che collega le contingenze a fenomeni di livello personale. In altre parole, la stratificazione delle coordinazioni sensorimotorie che l'organismo ha trovato efficaci e che ha ripetuto e covariato tra loro in diverse situazioni. In questo senso potrebbe essere letto, ad esempio, lo stile di camminata di ciascuno di noi. A contare per lo schema sensorimotorio è quindi 1) l'embodiment dell'agente; 2) le caratteristiche dell'ambiente; 3) stati interni intesi come strutture neurali e muscoloscheletriche che hanno acquisito un know-how sensorimotorio nella pratica agentiva.

The best way to think of sensorimotor schemes is as reusable, interlocking, organized sets of coordination patterns between body and environment. (Di Paolo et al., 2017, p.81)

La definizione di *schema corporeo* ha una storia più lunga. Esso appare per la prima volta nel 1911 in un articolo su *Brain* (Head & Holmes, 1911), con un'accezione particolarmente attenta al modello posturale del corpo. Oggi, il concetto di *body schema* si è arricchito grazie soprattutto ai progressi delle scienze dell'anatomia e alle neuroscienze. Un buon punto di partenza per questa analisi è stato trovato nella definizione che ne dà Cathrine Reed (2002) nell'articolo intitolato "*What is body schema?*". In questo paper, la ricercatrice denuncia una grande ambiguità nell'uso del termine. Nonostante ciò, definisce il *body schema* come segue:

Body schema has been frequently used to refer to long-term, organized knowledge about the spatial characteristics of human bodies. [...]. The body schema includes the invariant properties of the human body. For example, it stores information about the spatial relations among body parts, the degrees of freedom for movement at joints, and knowledge of body function. It is also supramodal in that it exists independent of modality-specific processing. Since it contains information

relevant to all bodies, the body schema is used to represent others as well as the self. (Reed, 2002, p.233)

Importante, sia per Reed che per noi, è la differenza tra *body schema* e *body percept*:

Body percept refers to this instance of immediate body perception. Sensory inputs from multiple senses modify the body percept and update it to keep track of current body positions and current locations of sensation. The body percept is dynamic. More importantly, the body percept represents the self exclusively because it contains privileged information about present body status, sensory feedback, and motor intention for performing actions in the environment. In other words, the body percept is referenced for personal action. (Reed, 2002, p.234)

La review sistematica di Hoffmann e colleghi (Hoffmann et al., 2010) conferma lo schema corporeo come un insieme di rappresentazioni sensorimotorie del corpo utili a guidare il movimento e l'azione, tipicamente pre-cosciente. È subito da notare quindi una profonda articolazione del concetto di schema corporeo che, a differenza dello schema sensorimotorio, subisce una maggior stratificazione del significato in virtù di una più lunga storia di utilizzo.

Seguendo Gallagher (1986) e de Vignemont (2007a; 2007b), una ulteriore articolazione del concetto di rappresentazione corporea deve essere sviluppata attraverso la differenza che intercorre tra l'immagine corporea, ossia la parte di informazione sensoriale e le credenze relative al proprio corpo di cui siamo consapevoli (forma, dimensione, colore, etc.) e lo schema corporeo, risultato di competenze sensorimotorie inconsapevoli, che costituisce la mappatura utile alla pianificazione e all'esecuzione delle azioni.

In un recente articolo, De Vignemont e colleghi definiscono lo schema corporeo come la rappresentazione del corpo per l'azione:

The body schema represents in a sensorimotor format bodily parameters that are useful for action planning and control. Its function is both descriptive and coercive. (De Vignemont et al., 2021, p.10)

L'esercizio che si impongono De Vignemont e colleghi è quello di individuare un formato unificatore che possa essere utilizzato quale comune denominatore dell'informazione percettiva e motoria rispetto alla possibilità di percepire e agire. Nella loro visione, è il formato sensorimotorio dell'informazione a permettere una connessione diretta tra corpo e azione, con una codifica diretta e comune tra schema corporeo e intenzione motoria. È un'operazione simile a quella portata avanti nel primo capitolo di questa tesi con il *Protocollo di Informazione Sensorimotorio*, con la differenza che il protocollo si propone quale base della cognizione tutta, non solamente dello schema corporeo.

In un articolo precedente (Pitron et al., 2018) gli stessi autori ne esplicitano un ulteriore concetto saliente, ossia il carattere a lungo termine delle rappresentazioni del corpo²³. Con questo si intende dire che il *body schema* (in particolare *metrica e configurazione corporea*) è genericamente una proprietà a lungo termine, nella misura in cui riguarda proprietà relativamente invarianti (ivi, p.352). Queste invarianze non sono però immutabili, e godono di un certo dinamismo nel lungo periodo, talvolta anche nel breve.

Vorrei invitare il lettore a riflettere su queste “proprietà relativamente invarianti ma non immutabili dello schema corporeo”. Non sembrano esserci effettivamente ostacoli nel pensare che possano essere paragonate alle “regolarità sensorimotorie” dello schema sensorimotorio enattivista. Vi è sicuramente da sottolineare che l'approccio sensorimotorio ne fa radicalmente una questione di contingenza agente-ambiente, mentre l'approccio rappresentazionalista tiene la questione “ambiente” su un piano in larga parte implicito, modellando la proposta in termini meccanicisti piuttosto che dinamicisti. Su una posizione sicuramente meccanicista (ma anche computazionale) possiamo posizionare l'idea di “schema” di Thomas Nigel, con uno sguardo più attento e radicato alla dinamica corpo-ambiente-cervello:

²³ Nel paper successivo (De Vignemont et al., 2021) problematizzano con maggior cura la questione delle componenti dello schema corporeo, arrivando a introdurre una concezione mosaicale del *body schema*, definendolo come multi-rappresentazionale, cioè dotato al suo interno di molteplici e differenti rappresentazioni.

Schema, as I use it, refers to a data structure, implemented in the brain, that functions to govern perceptual exploration of the world so that appropriate perceptual tests are applied at appropriate times and places, and that is continuously modified or updated by the results returned by those tests so as to be able to govern perceptual exploration more efficiently in the future. (Thomas, 2002, p.1)

Gli interrogativi che emergono dal confronto tra *sensorimotor scheme* e *body schema* sono differenti. Analizziamo i principali.

1) *Il problema dell'obiettivo della coordinazione sensorimotoria*

Abbiamo detto che il *sensorimotor scheme* è un concetto che rifiuta la rappresentazionalità al fine di spiegare l'interazione agente-ambiente in termini dinamici e interazionisti. Per mettere sotto stress questo punto è quindi utile focalizzarci sul concetto di *obiettivo*. Sappiamo che questo non ha un formato rappresentazionale, ovvero non è costituito da un'immagine mentale che l'agente ha a disposizione e che può confrontare con le conseguenze del suo agire.

Potremmo quindi formulare l'obiettivo nei termini di un meccanismo di controllo a feedback: un organismo vivente possiede una propria omeostasi, definita come la necessità dell'organismo di mantenere un ambiente interno stabile in relazione alle fluttuazioni dell'ambiente esterno. Come abbiamo già visto nel paragrafo relativo all'autonomia dell'agente, la regolazione omeostatica implica l'uso di meccanismi di controllo a feedback per mantenere le variabili rilevate dell'ambiente interno entro intervalli compatibili con la sopravvivenza (Modell et al., 2015). È ormai assodato che, nell'essere umano, questo controllo coinvolge azioni trasversali automatiche (ad esempio: riflessi motori, processi endocrini, immunologici e autonomici) che sono guidate da input di feedback e dal conseguente *errore di previsione*: la discrepanza tra uno stato corporeo atteso (un setpoint omeostatico) e il suo livello effettivo, segnalato dagli input sensoriali provenienti dal corpo. Sappiamo quindi che il corpo biologico è il prodotto della griglia dell'evoluzione, la quale ha selezionato comportamenti che sostengono un'omeostasi efficace per la sopravvivenza: gli organismi dotati di setpoint

ad alta fitness sono coloro i quali hanno potuto auto-sostenere la propria possibilità di vita e di riproduzione.

Ma il “corpo organico” (Di Paolo et al., 2018) non è il livello di grana al quale stiamo aspirando in questa analisi. È il corpo sensomotorio²⁴ il livello al quale puntiamo, ed è certo sorretto dai processi omeostatici sottostanti, ma non da essi determinato nella sua enazione. Il corpo sensomotorio è costituito da relazioni tra schemi sensorimotori che emergono dal coordinamento dei sistemi organismo-ambiente, e che sono sostenuti dai processi omeostatici cellulari di ordine inferiore. Possiamo dunque affermare che i corpi organici possiedono obiettivi (setpoint omeostatici) senza possedere rappresentazioni di quegli stessi obiettivi, ma possiamo affermare lo stesso per i corpi sensorimotori?

La selezione naturale agisce non soltanto sui processi biologici, ma anche sui comportamenti e sulle strutture degli organismi, ed è la chiave di lettura per individuare “obiettivi senza rappresentazioni”. È quella che Dennett chiama “competenza senza comprensione” (Dennett, 2018), concetto che riprenderemo in seguito.

Il meccanismo di controllo a feedback, lungi dallo sviluppare unicamente risposte lineari e passive sul modello *stimolo-risposta*, utilizza la circolarità tra input e output per rendere possibile l’agentività di alto livello - quella che Tomasello chiama *agentività psicologica* (Tomasello, 2022).

Sia per la coordinazione sensorimotoria che per il *feedback control mechanism* abbiamo bisogno di un obiettivo: nel primo caso per regolare la traiettoria individuale della nostra *agency* con il mondo; nel secondo come parametro di aggiustamento ed individuazione di un errore tra il risultato ottenuto e quello ottimale. Né l’uno né l’altro approccio prevedono necessariamente che questo obiettivo possa essere

²⁴ In *Linguistic Bodies* (2017) Di Paolo, Cuffari e De Jaegher individuano tre livelli di analisi quali sistemi complessi con differenti livelli di grana, tra loro interrelati: il livello biologico (*Organic Bodies*) - costituito da processi precari di auto individuazione metabolica e di accoppiamento adattivo con l’ambiente - il livello sensorimotorio (*Sensorimotor Bodies*) - dove si situano i processi precari di autoindividuazione nella rete di strutture sensomotorie dell’organismo - e il livello linguistico (*Linguistic Bodies*) - nel quale si attua l’interazione dinamica e si produce il senso -.

descritto come una rappresentazione di uno stato futuro. Per supplire a questo problema, è possibile equiparare il termine “obiettivo” con “stato ottimale” in termini omeostatici. Come fanno gli agenti a possedere un parametro di confronto tra i propri schemi motori e gli stati omeostatici ottimali? La risposta deve necessariamente essere configurata in termini di adattività: il livello biologico dell’organismo-agente (quindi al livello più basso di quello sensorimotorio) ha sviluppato una serie di strutture evolutivamente adattate che restituiscono feedback organici alle conseguenze delle azioni intraprese. Questo feedback può determinare un maggiore o minore allontanamento dello stato ottimale, che è deterministicamente correlato a risposte biologiche dell’organismo, le quali determinano a loro volta stati sensoriali spiacevoli o piacevoli, così da spingere ad una nuova agentività “riparatrice” nel caso di spiacevolezza (che altro non è che l’allontanamento dall’*ottimo omeostatico*), o ad una “reiteratrice” nel caso di feedback positivo. L’agentività “riparatrice” porta a migliorare ricorsivamente lo schema di coordinazione sensorimotoria:

Actions are good as long as the agent is viable. (E. Di Paolo et al., 2017, p.122)

Che la teoria del meccanismo di controllo a feedback e la teoria sensorimotoria enattivista siano in linea generale compatibili, è suggerito anche dal recentissimo paper scritto, tra gli altri, da Gallagher (Viale et al., 2023). Non solo, a parer mio da questo lavoro si può meglio comprendere la radice del problema relativo alla “valutazione dell’obiettivo”, che rimane un tema critico in *Sensorimotor Life* (Di Paolo et al., 2017), seppur venga menzionato nel capitolo 5, paragrafo “*Normativity*”, il che porta direttamente al secondo interrogativo.

2) *Il problema della normatività degli schemi sensorimotori*

Lo sviluppo o l’acquisizione di uno schema sensomotorio descrive il modo in cui un agente si sintonizza su una situazione specifica, selezionando e modulando gli schemi di coordinazione del sensomotorio in conformità con le norme pertinenti.

Efficient organizations of sensorimotor coordination patterns developed, acquired, or selected as a consequence of being normatively evaluated. (Di Paolo et al., 2017, p. 58)

Ma, valutato da chi? A questa domanda si è risposto in parte con quanto detto nel punto precedente: la valutazione della coordinazione sensorimotoria può essere intesa ancora in senso di *feedback control mechanism* (lo scarto tra l'obiettivo raggiunto e l'obiettivo atteso). Più nello specifico: quando un'azione reca un vantaggio all'organismo agente, quel vantaggio è tradotto in un processo biologico che aumenta la nostra fitness, e ci riporta ad un livello omeostatico ottimale:

Intrinsic normativity cannot be the result of observers making judgments on behalf of the agent about the “adequacy” of its behavior in relation to their own norms, standards, or goals. Rather, we need to justify this normativity based on the agent’s own nature. [...] In this sense an agent’s actions and environmental events can be good or bad for its continued existence. (Di Paolo et al., 2017, p.121)

Ma, per quanto riguarda la normatività, ci deve essere di più. La normatività, intesa nel senso di Di Paolo e colleghi, ha a che fare con la stratificazione degli schemi sensorimotori che hanno portato vantaggi in termini di adattività:

A concept of regulation that captures these more subtle changes in normative conditions is the concept of adaptivity, defined as:

A system’s capacity, in some circumstances, to regulate its states and its relation to the environment with the result that, if the states are sufficiently close to the boundary of viability, 1. tendencies are distinguished and acted upon depending on whether the states will approach or recede from the boundary and, as a consequence, 2. tendencies of the first kind are moved closer to or transformed into tendencies of the second and so future states are prevented from reaching the boundary with an outward velocity. (Di Paolo, 2005, p.438)

Being adaptive (i.e., actively monitoring and regulating processes with respect to intrinsic norms) entails the capacity to improve living conditions or avoid or address threats to viability by assessing a situation relative to the norms given by self-individuation, and acting on it in a graded and directed manner. This capacity can be more or less efficacious, more or less general. (Di Paolo et al., 2017, p.122)

La normatività è creata dalla ricorsività dei pattern sensorimotori efficaci. È per questo che il concetto di normatività si muove in vari domini: così come è stata presentata una normatività sensorimotoria che, in ultima analisi, sottostà a requisiti di efficacia nel mantenimento del setpoint omeostatico vitale, così si parla di una normatività sociale, nei termini di un'adattività nel compimento di azioni con beneficio per almeno due agenti. In Di Paolo et al. (2014) diventa definitivamente chiaro che le norme sensorimotorie intrinseche (in termini di chiusura degli schemi sensorimotori) sono impostate dal rimodellamento continuo dei pattern motori appresi e preesistenti in accoppiamento con le regolarità dinamiche del mondo, alla ricerca di forme enattive di azione abile nell'ambiente.

Sono debite alcune osservazioni ulteriori.

Gli schemi sensomotori non sono propriamente qualcosa che l'agente possiede, ma qualcosa che l'agente mette in atto. Schema sensorimotorio e abilitazione ambientale vanno sempre insieme. Tuttavia, come confessano gli autori, a volte loro stessi attribuiscono lo schema sensorimotorio all'agente. A detta loro, questa operazione porta confusione, ma anche una buona dose di praticità. Quando compiono quest'attribuzione, è necessario ricordarsi che lo fanno per riferirsi al lato "agente" dei costituenti di uno schema sensomotorio, per esempio, una particolare organizzazione neuromuscolare (che io ho chiamato "struttura sensorimotoria") che diventa attiva quando è accoppiata alle giuste circostanze ambientali.

Riporto una parte della tesi di dottorato di Xabier Barandiaran, che restituisce in modo efficace e sintetico il problema della complessità dell'approccio allo schema sensorimotorio enattivista:

Finally, real life behaviour does rarely involve a single sensorimotor coupling and a more realistic conception would require to consider the subsumption of sensorimotor schemes at different scales. For instance, visuomotor tracking (in itself is a sensorimotor loop) may be nested within spatial navigation, which may in turn be subsumed under a more general scheme of escaping from predator. However, a simplified abstract model permits to see the big picture and to

establish valuable bridges between a model of behavioural autonomy and current large-scale modelling of brain dynamics. (Barandiaran, 2008, p.334)

Vi sono due generali differenze tra lo schema sensorimotorio e lo schema corporeo: il primo è indubbiamente riferito ad una messa in atto, ad un costrutto di agentività nel mondo; il secondo, viceversa, è un costrutto statico, assolutamente inquadrato quale proprietà dell'agente corporeo. la differenza è tra uno schema sensorimotorio inteso come messa in azione della struttura sensorimotoria, e un *body schema* inteso come struttura continuamente modellata dalle interazioni e dai pattern efficaci, ma pur sempre struttura.

Sono infine da rimarcare brevemente altre differenze tra il *sensorimotor scheme* e il *body schema*. In prima istanza, il primo dichiara la sua completa estraneità alla rappresentazione, mentre il secondo è esso stesso una rappresentazione. Il concetto di *body percept* (Reed, 2002) sembra più simile al *sensorimotor scheme*, dato che incorpora in una qualche misura il concetto di “contingenza”, inchiodando il *body schema* a precise sensazioni e posizioni del corpo in un dato momento, e fa suo il concetto di dinamica intesa come continua rilevazione della propria percezione corporea. Eppure, anche questo concetto non sembra coincidere precisamente con quello di *sensorimotor scheme*. Infatti, se il primo sembra fare più affidamento ad una visione tipo “serie di istantanee” scattate in attimi di tempo, il secondo si getta a capofitto sul dinamismo dell'azione-percezione, sottolineando la covarianza tra le due, e ribadendo l'importanza che il flusso sensorimotorio ha nella costruzione degli schemi.

Il punto di vista rappresentazionalista parla delle invarianze del *body schema*, invarianze pur sempre dipendenti dal *body percept* (Reed 2002), e dalla *body image* (Pitron et al., 2018). Queste invarianze potrebbero, come detto, essere paragonate alla stratificazione delle regolarità sensorimotorie.

È da queste regolarità sensomotorie che stiamo partendo per definire il livello minimo di interazione sociale, cioè di interazione tra almeno due organismi dotati di struttura sensorimotoria la cui messa-in-azione permette di estrarre regolarità, e ricordarle.

Un ultimo tassello necessita di essere messo meglio a fuoco prima di entrare nel vivo del terzo capitolo.

Il meccanismo di controllo a feedback applicato alla cognizione

Abbiamo visto che il meccanismo di controllo a feedback è un meccanismo fondamentale per la spiegazione di cosa sia un obiettivo sul piano biologico, e di come gli organismi, nel passaggio dal biologico a quello sensorimotorio, utilizzino reiterazioni per guidare i loro comportamenti. Abbiamo accennato al meccanismo di controllo a feedback senza in realtà soffermarvici. Suppliremo ora.

Il termine *feedback mechanism* è stato utilizzato per la prima volta in cibernetica per caratterizzare la capacità di un sistema di modificare la sua uscita in risposta a un input (Wiener, 1948). Ci sono due tipi di meccanismi a feedback: positivo e negativo. Un meccanismo a feedback positivo si verifica quando un sistema risponde a una perturbazione nella stessa direzione (ad esempio propagando un segnale), mentre un meccanismo a feedback negativo è un sistema in cui il sistema risponde a una perturbazione nella direzione opposta (ad esempio inibendo il segnale). In un senso biologico, un esempio di meccanismo di controllo a feedback negativo è la regolazione dei livelli di zucchero nel sangue nel corpo. Se i livelli di zucchero nel sangue aumentano, il pancreas rilascia insulina per abbassare i livelli di zucchero nel sangue. Se i livelli di zucchero nel sangue diminuiscono, il pancreas smette di rilasciare insulina.

Cosa c'è nella nostra architettura cognitiva e strutturale che ci permette di modificare i nostri comportamenti in base agli input esterni, e addirittura a dirigere e pianificare attivamente la nostra agentività verso obiettivi mutevoli e dipendenti dalla situazione? Immaginiamo un'interazione elementare a modello "arco riflesso", ossia un organismo o una macchina che cambia uno dei suoi stati interni al variare di una condizione interna. È il caso del sistema di riscaldamento delle case odierne: all'avversarsi di una condizione esterna (abbassamento della temperatura ambientale sotto una certa soglia) il meccanismo di riscaldamento si attiva, sino al raggiungimento della soglia in questione. Questa semplice architettura costituisce il più semplice modello di controllo a feedback immaginabile: l'avverarsi di una condizione ne determina l'attivazione di

un'altra. I processi corporei di base della vita sono organizzati seguendo questa causalità circolare. È quella che in biologia viene chiamata omeostasi: la tendenza naturale di un organismo di mantenere un ambiente interno stabile nonostante le fluttuazioni dell'ambiente esterno, ed è fatto di processi innati, cioè stratificati dalla selezione naturale (Biga et al., 2019; Ciaunica et al., 2021). Come detto in precedenza, la regolazione omeostatica implica l'uso di meccanismi di controllo a feedback per mantenere le variabili rilevate dell'ambiente interno entro margini compatibili con la sopravvivenza.

Recentemente Tomasello ha dedicato un intero volume²⁵ alla proposta di basare l'agentività sul meccanismo di controllo a feedback. Per il ricercatore del Max Planck Institut di Lipsia, il nostro modello essenziale di agentività consiste in un sistema di controllo a feedback in cui l'individuo dirige le proprie azioni verso obiettivi, monitorando quelle stesse azioni e dirigendole in modo percettivamente guidato.

Il modello di controllo a feedback potrebbe essere considerato come la base meccanicista della concezione enattivista di intenzionalità minima (o *ur-intentionality*), intesa quale direzionalità di un organismo nel mondo, data dai suoi scopi di automantenimento nel loro scambio dinamico con l'ambiente (Hutto e Myin 2017; Di Paolo, Cuffari, e De Jaegher 2018). L'adattamento evolutivo dei processi metabolici e omeostatici degli organismi e la loro conseguente maggior diversificazione in termini di complessità organizzativa ha fatto sì che si esprimessero accoppiamenti organismo-ambiente sempre più specifici, sino alla conformazione sensorimotoria dei corpi animali. Questa conformazione crea, per Di Paolo e colleghi, un nuovo dominio dell'agentività, la *sensorimotor agency*, con conseguenti nuovi e specifici domini di interazione (Rolla & Huffermann, 2022) e cicli di controllo a feedback sensorimotori. In parole più semplici: il sistema sensorimotorio è una delle strutture possibili ed evolutivamente adattate per lo sviluppo di una agentività efficace dell'organismo sull'ambiente. Per riprendere con forza uno dei paradigmi che stanno alla base della presente tesi (la *teoria dei vincoli biologici*, vedi capitolo precedente),

²⁵ “*Dalle lucertole all'uomo. Storia naturale dell'azione*”, Raffaello Cortina editore, 2023, pubblicato in inglese nel 2022 con il titolo “*The Evolution of Agency: From Lizards to Humans*” per MIT Press.

questa è la struttura alla base della cognizione umana. Ma oltre ad una struttura possibilista, servono delle condizioni abilitanti. Nel presente capitolo sosterrò che la capacità d'interazione è la condizione abilitante di molte caratteristiche della cognizione tipicamente umana, tra le quali la capacità di rappresentazione mentale.

3.2 L'interazione

A partire dalla “svolta interazionista” (L. Murray & Trevarthen, 1986; Auvray et al., 2009) negli studi sulla cognizione sociale, studiare il livello minimo della cognizione sociale significa partire dalle interazioni di base. Il paradigma del *perceptual crossing* (Auvray et al., 2009; Auvray & Rohde, 2012) tenta di costruire un disegno sperimentale di studio delle interazioni “online” (ossia “in tempo reale”, in contrapposizione a quelle “offline”, che prevedono che i soggetti testati siano messi di fronte a rappresentazioni sociali passivamente e studiati in maniera isolata) che elimini il maggior numero di variabili. Questo diventa possibile attraverso l'utilizzo di un software di spazio unidimensionale al cui interno interagiscono tra loro coppie di partecipanti umani bendati, collocati in stanze separate. A ciascun partecipante è permesso spostare un cursore lungo una linea (da qui l'unidimensionalità) utilizzando il mouse di un computer, mouse che vibra restituendo un feedback tattile ogniqualvolta il cursore incontra un ulteriore elemento sulla stessa linea di interazione. Il cursore può incontrare, lungo la linea che rappresenta l'unico grado di libertà di movimento, il cursore dell'altro umano interagente nell'altra stanza, un elemento statico, o ancora un “cursore ombra”, ossia un cursore agganciato ai movimenti dell'essere umano nell'altra stanza, ma spostato lungo la linea. Pertanto, l'unica differenza tra il partner e il suo cursore ombra è che il primo può allo stesso tempo percepire ed essere percepito, mentre l'intro tra il cursore “avatar” e il cursore ombra restituisce il feedback tattile unicamente al proprietario del cursore “avatar”.

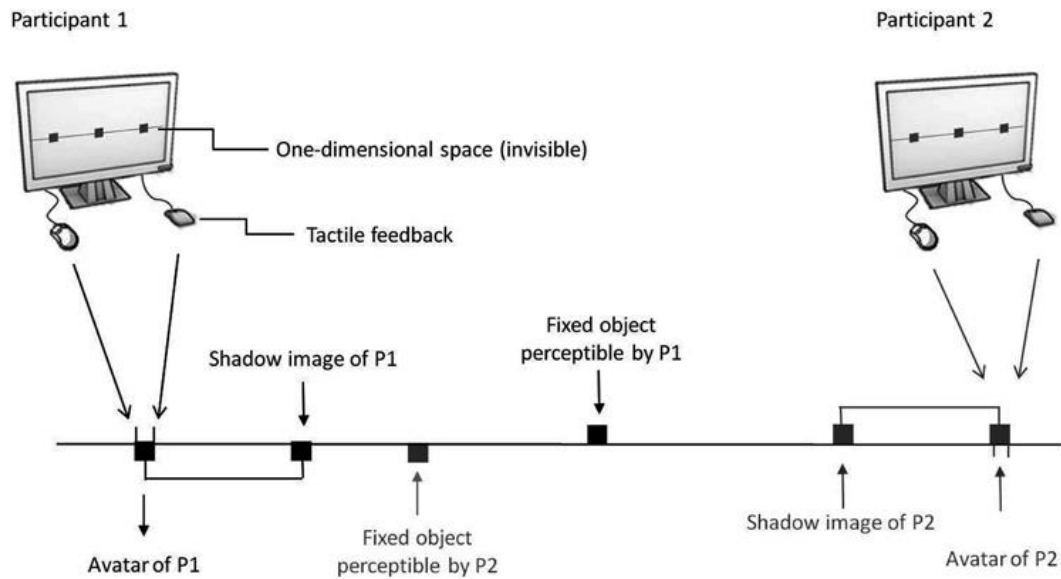


Fig x: esempio schematico del paradigma del perceptual crossing (immagine tratta da Auvry e Rohde 2012)

Ai partecipanti viene chiesto di cliccare quando penano di star interagendo col partner, ossia quando il feedback tattile da loro percepito corrisponde, nella loro opinione, al cursore “avatar” dell’altro partecipante all’esperimento. I risultati di Auvray e colleghi evidenziano una effettiva predominanza di clic quando l’interazione “avatar-avatar” si verifica effettivamente, con una media del 66% dei clic, contro il 23% dei clic sul cursore ombra, e l’11% del cursore statico. La questione davvero interessante di questo esperimento è che non vi è molta differenza nella probabilità di clic tra l’incontro con l’altro cursore avatar e il cursore ombra (i clic per stimolazione dell’avatar del partner e per l’immagine dell’ombra non mostrano una differenza significativa), ma che l’incrocio percettivo con l’altro è molto più frequente rispetto agli incontri con l’immagine dell’ombra, il che spiega perché i partecipanti hanno avuto il 66% di risposte corrette anche se il loro tasso di clic relativo era identico per l’ombra e per l’altro. Ciò è dovuto all’inversione della direzione del cursore attuata dai partecipanti alla presenza dell’incontro con un altro cursore, che dà il via a movimenti di tipo oscillatorio intorno alla fonte sensoriale, con conseguente pattern sensoriale tipico e differente per ogni evento sensorimotorio (ad esempio: quando un partecipante incontra il cursore del partner, entrambi i partecipanti ricevono una stimolazione tattile e, invertendo la direzione del movimento, mettono in atto lo stesso comportamento oscillatorio, cosa che non succede nei casi di cursore statico o cursore ombra, dato che

in questo ultimo caso solo uno dei due partecipanti ha percepito lo stimolo tattile). L'esperimento è stato replicato con l'aggiunta di una seconda dimensione, quindi con l'aggiunta di un grado di libertà nella possibilità di spostamento del cursore, ottenendo risultati simili (Lenay et al., 2011). È interessante osservare che questi e altri studi (ad esempio: Iizuka, Ando, e Maeda 2009) concludono che la discriminazione “avatar-avatar” rispetto a “avatar-ombra” non comporta un riconoscimento cosciente, ma sostanza nella covariazione dei pattern sensorimotori che le diverse interazioni instaurano sia in termini di movimento oscillatorio caratteristico, sia in termini di quantità di tempo spesa nell'interazione, che è chiaramente correlata al comportamento degli interagenti nel momento degli incontri sensoriali²⁶.

This leads to emergent patterns of interaction behavior (e.g., stable anti-phase synchronization of perceptual crossing) that change the task in a way that makes comparison with offline paradigms, where stimuli are passively processed, impossible. (Auvray e Rohde 2012, p.9)

Il paradigma del *perceptual crossing* rappresenta un esempio del cambiamento di paradigma in atto negli studi sulla cognizione sociale. Acquistano qui importanza le dinamiche emergenti dell'interazione dal vivo. Questo approccio interazionista fa parte di una tendenza più ampia della scienza cognitiva, la cui bandiera è per ora in mano ad alcune correnti enattiviste, che considerano seriamente l'interazione incarnata con l'ambiente e le proprietà emergenti del comportamento situato. Come abbiamo visto, questi approcci utilizzano la teoria dei sistemi dinamici come strumento per descrivere il comportamento dei suddetti sistemi in un circuito sensorimotorio chiuso, e prestano molta attenzione all'influenza del corpo e dell'ambiente sul comportamento e sulla cognizione. Ciò comporta un'esposizione alla complessità dei sistemi, parzialmente attutita in esempi quali il *perceptual crossing*: questo approccio si basa su un comportamento limitato in un ambiente virtuale unidimensionale o bidimensionale, che riduce la complessità del comportamento studiato a dimensioni gestibili. I risultati

²⁶ Ulteriore prova della non salienza della coscienza in questa dinamica si osserva negli studi sui modelli di simulazione al computer o con autonomous robots (E. A. Di Paolo et al., 2008) che restituiscono simili risposte comportamentali dell'interazione diadica anche tra agenti molto semplici non dotati di ragionamento sociale esplicito.

dimostrano la potenza e l'importanza delle interazioni online, ma le variabili misurate possono essere molto diverse da quelle utilizzate tradizionalmente nella ricerca sulla cognizione sociale. Queste misure possono essere difficili da correlare con le variabili individuali esistenti, come i giudizi percettivi e le capacità inferenziali. Nondimeno, esse mettono in luce un'altra storia esplicativa, che ha preso quindi il nome di "interazionista".

3.2.1 L'interazione come sistema emergente autonomo e regolatore

Gli sviluppi dell'interazionismo hanno presto portato al tentativo di mappare i circuiti cerebrali che sottendono la capacità di interazione. In questo senso, il tentativo di formalizzazione più vivido prende il nome di *Interactive Brain Hypothesis* (IBH), proposto da Di Paolo e De Jaegher (2012), il quale invita a riconcettualizzare l'interazione quale dinamica abilitante per lo sviluppo della cognizione sociale, in relazione ai network neurali sottostanti. Guardiamo più da vicino quest'ipotesi avanzando ulteriori speculazioni, e tastiamone i punti maggiormente critici.

L'IBH è chiaramente una proposta in netto contrasto con la teoria classica sulla cognizione sociale, quella definita "in prima persona", che attribuisce priorità ai processi individuali di lettura del pensiero altrui, restituita in quella vasta letteratura che indaga principalmente i concetti di *teoria della mente* e *mindreading*. Mentre l'approccio in prima persona racconta di uno specifico *framework*, ormai evidentemente molto limitato, per spiegare alcune dinamiche della cognizione sociale, e l'approccio embodied in seconda persona amplia e ancora ad una più forte spiegazione naturalistica e neurobiologica questa tematica, l'approccio enattivista e interazionista scava in direzione di un livello di grana ancora più fine, laddove la distinzione tra individuo e interazione tende a diradarsi, per capire a cosa è vincolato il nostro embodiment, e quali sono le dinamiche microsociale a cui il nostro sistema corpo-cervello dimostra di essere sensibile. Schilbach e colleghi nel 2006 scrivevano che lo sviluppo della mentalizzazione è una funzione dell'«*interazione dinamica delle interazioni sociali in cui i contenuti degli stati mentali sono sperimentati attraverso*

*una sintonizzazione quasi automatica con gli altri. [Questa sintonia] può quindi costituire una forma basilare e primaria di intenzionalità che predispose la natura diadica insita anche in rappresentazioni mentali più distaccate» (Schilbach et al. 2006, pp. 727-728). La premessa fondamentale dell'IBH è che la cognizione non è determinata interamente dai processi neurali, ma chiaramente implica l'incorporazione di tali processi in un corpo vivente e l'incorporazione di questo corpo in un mondo (De Jaegher, Di Paolo, e Gallagher 2010), ponendo dialetticamente al centro la *relazione* in luogo di un neurocentrismo, o di un suo opposto esternismo, giudicati decisamente carenti sul piano esplicativo. È qui che si dispiega una “natura intrinsecamente relazionale della cognizione” (Di Paolo e De Jaegher 2012, p.2), una relazionalità data dall'accoppiamento di uno o più agenti cognitivi autonomi, in quanto chiusi operativamente ma interlacciati da processi di *coupling*²⁷ che ne cambiano la stabilità, determinando processi di *sense-making* partecipativo (Di Paolo, Cuffari, e De Jaegher 2018) che sono il fulcro di questo approccio e, a parere di chi scrive ma non degli autori dei testi citati, base per l'emergenza della rappresentazione cognitiva. Il *sense-making* partecipativo è definito come il coordinamento dell'attività intenzionale nell'interazione, in cui i processi di *sense-making* individuali sono influenzati e possono essere generati nuovi domini di *sense-making* sociale che non sono già disponibili per ciascun individuo in autonomia. La coerenza delle attività di *sense-making* e i modelli di coordinamento che la rendono possibile non sono legati a semplici mappature, ma a una serie di modi che possono essere concepiti come uno spettro di partecipazione all'interazione, quadri «*in cui le persone sono coinvolte in loop sensomotori continui e multimodali a varie scale temporali e inoltre questi loop sono modulati dall'accoppiamento con i loop sensomotori di altre persone. Non solo le azioni, le percezioni e le decisioni dipendono l'una dall'altra, e spesso avvengono contemporaneamente all'interno di un singolo individuo, ma sono anche interconnesse**

²⁷ Il *coupling*, o l'accoppiamento tra sistemi dinamici, è definito come l'influenza tra le variabili di un sistema e i parametri di un altro sistema con esso interagente. Un esempio di *coupling* tra due sistemi è la dinamica di moto che si instaura tra un essere umano e un cane tenuto al guinzaglio da quello stesso essere umano durante una passeggiata insieme.

con le azioni, le percezioni e le decisioni degli altri²⁸» (Di Paolo e De Jaegher 2012, p.3).

Facciamo però un passo indietro rispetto al concetto di *sense-making partecipativo*, che riprenderemo più avanti. Il primo e fondamentale punto da mettere a fuoco è considerare l'interazione come elemento autonomo rispetto agli individui interagenti ma, ancora una volta: autonomo non è sinonimo di indipendente.

Procediamo con un esempio generale. Due individui che danno vita ad una interazione, come nel caso di una pagaiata su un kayak a due posti, sono soggetti ad una serie di regole sensorimotorie che sostengono, in termini di efficacia, l'interazione: difatti, se è vero che non è necessario che le due persone sul kayak remino contemporaneamente per spostare l'imbarcazione, è senz'altro vero che la modulazione del comportamento dell'uno è influenzata dal comportamento dell'altro, in uno spettro di possibilità che va dal grado sincronico ottimale (la pagaiata di entrambi è sostenuta ritmicamente e in termini di quantità di acqua spostata da ciascun pagaiatore), alla a-sincronicità dell'interazione (uno dei due pagaiatori si oppone al senso di marcia pagaiando al contrario) sino alla rottura dell'interazione (uno dei due abbandona l'imbarcazione e, conseguentemente, l'interazione con l'altro). In questo senso, l'interazione possiede, in primis, una sua autonomia in termini di chiusura operativa e, conseguentemente, di individuabilità quale sistema complesso emergente dal comportamento accoppiato e co-regolato dei due soggetti autonomi sul grado immediatamente inferiore, con specifiche regole che sono proprie dell'interazione e non degli agenti, le cui azioni sono moderate in virtù delle regole di interazione, ma non determinate. È ciò che abbiamo visto con ammirevole pulizia sperimentale nel paradigma del *perceptual crossing*: l'incontro tra i due attori interagenti genera un pattern tipico di oscillazione che va auto-determinandosi in virtù di caratteristiche proprie che descrivono l'interazione e non il comportamento del singolo. La coordinazione sociale è un

²⁸ «[...] where persons are involved in ongoing, multi-modal sensorimotor loops at various timescales and in addition these loops are modulated by coupling with the sensorimotor loops of other persons. Not only do actions, perceptions and decisions mutually depend on one another, and often happen concurrently within a single individual, but they also interconnect with the actions, perceptions and decisions of others». Traduzione mia.

processo di interazione autonomo che non può essere ridotto alla somma delle intenzioni o dei comportamenti individuali (De Jaegher e Di Paolo 2007; Rohde e Stewart 2008; Colombetti e Torrance 2009; Di Paolo e De Jaegher 2012). È per questo motivo che la ricerca empirica sulla cognizione sociale si sta progressivamente muovendo in direzione dell'indagine *online* dell'interazione, in quanto la mancanza di *coupling* dei soggetti interagenti determina una scomparsa di effetti sinergici propri della configurazione interattiva. Questi effetti sinergici sono talvolta interpretati come causali rispetto alla coordinazione del movimento interpersonale (Riley et al., 2011), e sono descritti come sistemi di controllo formati dall'accoppiamento dei gradi di libertà del sistema di riferimento di due o più attori.

3.2.2 Interazionismo ed evoluzionismo. Per una teoria della cognizione sociale precedente alla rappresentazione

La cognizione sociale è il punto di inizio di ciò che ci rende tipicamente umani. Le caratteristiche del nostro essere sociali determinano massicciamente la forma e l'architettura della nostra intera cognizione, al punto da rendere valevole d'indagine l'ipotesi di far derivare la cognizione umana dalla cognizione sociale.

Sul versante neuroscientifico, Schilbach et al. (2008) hanno condotto un'interessante metanalisi sulla sovrapposizione tra aree cerebrali deputate a compiti sociali e quello che è comunemente chiamato *default mode network*. Quest'ultimo rappresenta una delle più studiate e interessanti reti cerebrali globali, inizialmente interpretata quale correlato neurale di una mente libera di vagare in stato cosciente ma di riposo (Raichle et al., 2001; Raichle & Snyder, 2007; McVay & Kane, 2009; Corballis, 2015), si è poi andato via via definendo un ruolo più articolato ed essenzialmente simulativo del *default mode network*, trovando conferma della sua attivazione rispetto al livello di dettaglio del pensiero riferito a compiti attivi (Spreng, 2012; Sormaz et al., 2018) e alla pianificazione del futuro (Andrews-Hanna, 2012), pur mantenendo una correlazione negativa rispetto al network dell'attenzione (Broyd et al., 2009). Di particolare interesse in questo lavoro è il ruolo pervasivo della rete di default in compiti di

cognizione sociale (Andrews-Hanna, 2012; Spreng, 2012). Tornando infatti alla metanalisi di Schilbach e colleghi, questa suggerisce una decisa sovrapposizione tra le regioni del *default system* e quelle della *social cognition*, sino ad ipotizzare che la cognizione sociale sia essa stessa una modalità di default della cognizione. È chiaro che questo genere di inferenze portano con sé molti pericoli: il localizzazionismo *tout-court* è stato giustamente abbandonato da molto tempo, e basare una teoria su una semplice co-occorrenza di attivazione cerebrale (in questo caso parliamo della corteccia prefrontale mediale, del precuneo/corteccia cingolata posteriore e della giunzione temporo-parietale), significa far diventare una mera correlazione statistica (quale la localizzazione delle funzioni cerebrali è) una corrispondenza uno a uno, abnegando alla complessità che caratterizza i network cerebrali su larga e su piccola scala, e il rapporto complesso tra la loro attivazione e l'interpretazione della sua funzione cognitiva. Nondimeno è da mantenere come dato interessante, sicuramente un possibile indicatore della pervasività della cognizione sociale.

Nella sua recente opera, Michael Tomasello (2022), delinea un quadro evolucionista dell'*agency* secondo quattro fasi. La prima di queste, (non ancora *agency*) propria degli attori animati come gli organismi unicellulari, è attribuita a sistemi biologici non organizzati agentivamente, che non hanno possibilità alternative rispetto al movimento finalizzato al raggiungimento di sostanze nutritive e all'evitamento di quelle dannose per la propria fitness. Sono esseri interamente guidati dallo stimolo, e non diretti a un obiettivo (Yin & Knowlton, 2006). A questa categoria appartengono anche organismi più complessi, come il *Caenorhabditis elegans*, che manifesta comportamenti mnemonici relativi alla posizione del cibo (Qin & Wheeler, 2007) e almeno due diversi pattern di movimento di allontanamento da sostanze nocive (Hart & Chao, 2010), ma che non sembrano inibire né controllare l'esecuzione di un'azione, ossia di controllo sulla locomozione che appare per lo più casuale o guidata dallo stimolo (M. Scholz et al., 2017; Tomasello, 2022)²⁹. La seconda tappa dell'evoluzione

²⁹ Su *C. elegans* le cose sembrerebbero essere alquanto articolate: Insel (2010) riporta vari studi nei quali si descrive un comportamento sociale dell'animale. Tra questi, la regolazione del comportamento affiliativo (Macosko et al., 2009), la codifica del recettore neuropeptidico da parte del gene *npr* che muta la propensione da parte di un ceppo ad esibire comportamenti solitari o sociali (Bono & Bargmann, 1998), e l'alimentazione sociale guidata da neuroni che rilevano sostanze chimiche nocive (de Bono et al., 2002; Gray et al., 2004).

dell'agentività descritta da Tomasello (la prima realmente agentiva) è quella degli agenti diretti a uno scopo. La loro comparsa sulla terra risale a 500 milioni di anni fa, e mostrano strutture più complesse e, di conseguenza, la necessità di un coordinamento tra le diverse parti (Godfrey-Smith, 2016). Questa esplosione di possibilità porta ad una selezione dei modi più efficaci di controllo delle proprie azioni secondo parametri di flessibilità e gerarchia tra le parti e, cosa non da poco, si va popolando un mondo nel quale le fonti di cibo diventano mobili e non più fisse, con ciò che ne consegue in termini predatori e difensivi. Il metodo di apprendimento si fa discriminatorio: gli obiettivi e i contesti diventano mutualmente dipendenti. Ciò comporta inevitabilmente funzioni di inibizione del comportamento, laddove al variare repentino di una situazione l'organismo innesta un'inibizione globale del comportamento. Non è ancora il regno della possibilità multipla di azione, ma è la svolta della scelta binaria (al variare della situazione X posso o meno interrompere il mio comportamento Y, in ogni momento di X) che inizia a delineare nicchie esperienziali differenti a seconda delle capacità di azione, e che caratterizza il mondo dei rettili. È con i mammiferi che abbiamo quello che Tomasello chiama comportamento intenzionale del tipo simulativo, il cui sviluppo possiede ragioni intrinsecamente sociali: la lotta per il nutrimento diventa socialmente rilevante in un mondo nel quale, contornato da propri conspecifici riunitisi in gruppo per aumentare il grado di difesa dai predatori, arrivare alle risorse nutritive significa competere con il vicino prossimo in termini di velocità di arrivo rispetto agli altri sulla fonte di nutrimento, e di capacità di riuscire a difendere la propria conquista. Questa via di indagine, definita "ipotesi della complessità sociale", fa derivare l'aumento della complessità cognitiva proprio all'aumento dei parametri salienti del vivere a stretto contatto con i propri simili. È una tesi supportata indirettamente anche da un recente studio (Johnston & Fusi, 2023) su reti neurali artificiali con architettura a *feedforward*, dal quale emerge che la formulazione di rappresentazioni astratte è conseguenza della molteplicità dei vincoli e

Tuttavia, lo stesso Insel invita a riflettere sul fatto che comportamenti sociali complessi possano basarsi su meccanismi molecolari molto semplici. Ciò, seguendo la nostra trattazione e quella di Tomasello, lascia immaginare conformazioni di socialità prive di intenzionalità, il ché ne farebbe emergere con ancora maggior forza il vantaggio evolutivo.

della complessità del comportamento di una rete neurale (artificiale così come biologica).

Se consideriamo che il comportamento inibitorio (esibito anche dagli agenti diretti ad uno scopo rispetto ad impedimenti fisici o di pericolo predatorio) ha qui anche una forte relazione con variabili sociali quali la dominanza (Johnson-Ulrich & Holekamp, 2020) o di aggregazione/disgregazione di gruppo (Amici et al., 2008), capiamo che le contingenze salienti all'inibizione del comportamento diventano, nei mammiferi, eminentemente correlate alla presenza/assenza di conspecifici. Ciò che definitivamente segna il passo tra la capacità agentiva mammaliana rispetto a quella rettiliana sostanza nell'intenzionalità dell'azione, che scaturisce da una capacità simulativa di possibili piani di azioni antecedente messa in atto dell'azione. È una capacità che permette non solo l'inibizione dell'azione flessibile, ma anche e soprattutto la valutazione di possibili esiti di più azioni, che vengono accompagnate da supervisione e controllo cognitivo del comportamento durante il suo svolgersi. È in questa chiave evuzionista che è utile rileggere la letteratura sulle emozioni quali “predispositori all'azione”.

L'idea che l'aggregazione tra conspecifici sia alla base dell'evoluzione delle capacità cognitive è stata già proposta, come si può leggere tornando al primo capitolo, da Dunbar nella sua *teoria del cervello sociale* (Dunbar, 1998). Così come Dunbar, anche Tomasello attribuisce l'espansione della neocorteccia nel cervello dei mammiferi a questioni eminentemente sociali, dunque la conseguente comparsa di abilità cognitive di simulazione, supervisione e monitoraggio delle azioni in un contesto. È qui che assume cogenza la rappresentazione mentale:

[...] cognitive simulations obviously require some form of cognitive representation, as well as the ability to manipulate those representations imaginatively. For mammals, cognitive representations are exclusively perception based, that is, iconic or imagistic. (This does not mean exact replicas of perceptions, as the representations may be categorical or image schematic.) These representations are then used to imagine nonactual situations (although this is likely constrained to types of situations experienced before, thus excluding counterfactual representations). The content of these representations is potential situations in the environment in combination with potential acts and their potential

consequences in those situations. The fact that attention to situations in the environment is mainly based on vision, audition, and other senses, while action plans are based on proprioception, is a main reason why an executive tier is needed. Such cross-domain comparisons require a common workspace and representational format in which intentional actions and environmental outcomes may be imagined together (presumably in a perception-based, image-schematic format). The precise experiential content of these representations depends, of course, on the cognitive capacities and experiential niche of the species. (Tomasello, 2022, p. 52)

Su questo passaggio Tomasello si espone ad alcuni problemi, soprattutto legati a ciò che è considerato “ovvio” dall’autore, che alla prova del dibattito contemporaneo pare essere tutto fuorché tale. Il passaggio in questione, tradotto in italiano: «Le simulazioni cognitive richiedono, ovviamente, una forma di rappresentazione cognitiva, come pure la capacità di manipolare immaginativamente quelle rappresentazioni» (ibidem).

Alla luce dei temi affrontati in questa sede, soprattutto nel secondo capitolo dedicato alla rappresentazione, questo assunto va attentamente analizzato. Le simulazioni necessitano sempre di rappresentazioni? E ancora, se la simulazione necessita della rappresentazione, la capacità tipicamente mammaliana di simulazione arriva prima della socialità, decretando quindi un primato della rappresentazione sulla socialità?

Partiamo dal secondo punto, più facile da sciogliere. Dal punto di vista evolucionistico, la socialità è una caratteristica emersa casualmente e dimostratasi vantaggiosa per numerosi motivi³⁰, quindi promossa e reiterata in varie forme. Solo una volta consolidatasi quale organizzazione di talune specie, essa è andata a co-constituire una nicchia ecologica specifica, rendendo possibile la promozione adattiva di altre capacità, anche queste emerse casualmente. Tra queste capacità giace la capacità simulativa, dunque rappresentazionale. In questo senso Tomasello ci racconta di una capacità simulativa selezionata positivamente in relazione ad una nicchia ecologica (ed esperienziale) di natura sociale.

³⁰ Per una rispolverata di molti plausibili motivi, tornare al capitolo 1, sez. 1.3: *Il percorso evolutivo della socialità*.

Ma è proprio sulla capacità rappresentazionale che dobbiamo soffermarci. Se la capacità di simulare esplica la sua funzione tramite la manipolazione di rappresentazioni mentali, vien da sé che tutti i mammiferi capaci di simulazione dovrebbero essere anche capaci di rappresentazione mentale. Difatti, lo studioso è convinto che la capacità di rappresentazione mentale sia strettamente legata alla coscienza, e che questa emerga in virtù del livello esecutivo che fornisce uno spazio di lavoro globale e una memoria di lavoro che consente la simulazione, quindi la valutazione comparata e cross-modale al fine di ottimizzare la presa di decisione.

Reptiles and other goal-directed agents are sentient of the outside world; mammals and other intentional agents are conscious of their own actions and perceptions. Conscious experience thus exists, in my view, only in creatures who operate with an executive tier of functioning, including most mammals and whatever nonmammalian species operate in this way. (Tomasello, 2022, pp.64-65)

Una coscienza dunque presente anche nei mammiferi, in termini di spazio di lavoro mentale nel quale alcune informazioni sono attenzionate e godono di una possibilità di elaborazione simulativa eccezionale, con un effetto di controllo cognitivo della percezione e dell'azione.

È ipotesi del presente lavoro che la capacità simulativa preceda la capacità rappresentazionale, e che per andare dalla prima alla seconda sia necessaria una organizzazione sociale degli “animali simulativi”.

3.3 La Simulazione prima della Rappresentazione

In letteratura non vi è una chiara distinzione tra atto di simulare e atto di rappresentare mentalmente. In linea generale possiamo affermare che vi è una maggior propensione a parlare di simulazione in ambito *embodied*³¹, data la volontà di radicare i processi

³¹ Anche se non raramente è stato utilizzato come sinonimo di *predizione* in altre correnti o discipline (cfr. Kahneman et al., 1982; Wells & Gavanski, 1989).

cognitivi sul corpo, e quindi di prendere posizione rispetto ad un rappresentazionalismo che ha storicamente messo da parte la *res extensa* (Goldman, 2006). In questo senso, vi è una profonda interconnessione tra il dato corporeo e l'uso del termine *simulazione*, che viene definita come una «riattivazione di stati percettivi, motori e introspettivi acquisiti durante l'esperienza con il mondo, il corpo e la mente» (Barsalou, 2008, p.618) o ancora più radicalmente in termini sia percettivi che motori:

A 'simulation' theory of cognitive function can be based on three assumptions about brain function. First, behaviour can be simulated by activating motor structures, as during an overt action but suppressing its execution. Second, perception can be simulated by internal activation of sensory cortex, as during normal perception of external stimuli. Third, both overt and covert actions can elicit perceptual simulation of their normal consequences. (Hesslow, 2002, p.242)

Ciò che interessa noi in questo particolare passaggio è articolare meglio la proposta di Tomasello, evidenziando che la simulazione non si basa necessariamente e solamente su rappresentazioni mentali, ma che anzi costituisce il meccanismo utilizzato per spiegare la relazione tra il sensorimotorio e il cognitivo, e dunque l'apparizione del mondo interiore, con le sue rappresentazioni.

La teoria simulazionista, come sottolinea Hesslow (2012), è ontologicamente parsimoniosa, e non implica necessariamente il costrutto di rappresentazione mentale. La strategia epistemologica adottata per giustificare la simulazione senza la rappresentazione è quella di ancorare alle neuroscienze, e non alla mente simbolica, la simulazione. È così che il primo degli assunti del simulazionismo si muove nel terreno del motorio, portando a sé un numero massiccio di dati sperimentali (già revisionati in questa tesi nel capitolo 2) che identificano l'attività non attuativa (alle quali non corrisponde nei fatti un reale movimento del corpo) di aree motorie, premotorie e zone della corteccia parietale quali effettivi campi neurali di simulazioni delle possibilità di movimento (Decety et al., 1994; Beisteiner et al., 1995; Lotze et al., 1999; Schwoebel et al., 2002; Meister et al., 2004), dunque non ancora realizzato, ma già cognitivamente simulato. Difatti, volendo restringere ai minimi termini l'argomentazione, dire che il comportamento può essere simulato non significa altro

che dire che esso può manifestarsi nei circuiti cerebrali senza dover necessariamente dare luogo ad un'azione manifesta (Hesslow, 2012). Similmente, sul lato della percezione, si fa affidamento sui dati sperimentali relativi all'attivazione delle aree sensoriali, con stimolo esterno assente. Questione leggermente differente quando *simulazione* è utilizzato quale sinonimo di *anticipazione* o *predizione*. Questo terzo punto lavora a valle dei primi e più parsimoniosi assunti sulla simulazione (motoria e sensoriale), e ha a che vedere con il fatto che un'azione o una sensazione simulata porta con sé un'attività percettiva successiva che simula a sua volta la percezione che si sarebbe verificata al compiersi di un'azione o una sensazione. Pensiamo all'atto immaginativo di una pietra che colpisce il nostro piede. Quella scena, solamente evocata mentalmente, attiva in noi non solo i pattern sensoriali grosso modo attinenti alla durezza del masso, all'impatto con il nostro corpo, alla dimensione dell'oggetto, ma anche alle ipotetiche conseguenze sensoriali, attivando in noi i circuiti del dolore che ne conseguirebbe. In questo senso, queste percezioni simulate possono funzionare come stimoli per nuovi comportamenti nascosti (Hesslow, 2012) e per decisioni basate su sensazioni corporee di possibili futuri (Damasio et al., 1996).

È cruciale osservare che nella totalità di questo processo simulativo non abbiamo bisogno di fare appello al concetto di rappresentazione. A spiegare la simulazione sembrerebbe bastare la catena di attivazione neurale che si innesca a partire da una rievocazione interna di determinati stimoli, che non si attuano per via di un processo inibitorio dell'apparato effettore.

In sintesi, respingo, come sembra emergere dall'ultimo lavoro di Tomasello, l'idea secondo la quale la simulazione cognitiva sia basata su rappresentazioni mentali, affermando piuttosto il contrario: le rappresentazioni sono basate su simulazioni. Le simulazioni, dunque, quale materia prima utilizzano? A questa domanda rispondo in accordo al *Protocollo di informazione sensorimotorio*, proposto e descritto nel capitolo due della presente tesi: le simulazioni utilizzano parametri sensorimotori come mattoni di base per la propria elaborazione.

3.3.1 La mente pre-rappresentazionale: il *know-how* sensorimotorio e la competenza senza comprensione

È dalle invarianze risultanti dai corpi in atto nell'ambiente e nelle ricorsive contingenze della dinamica interattiva che scaturisce il *know-how* sensorimotorio (Di Paolo et al., 2018; Carvalho, 2021).

Il concetto di *sensorimotor know-how* assume importanza capillare nella formulazione dell'ipotesi secondo la quale la rappresentazione è possibile soltanto come emergenza dell'interazione, e che l'attribuzione di senso (il *sense-making* partecipativo in Di Paolo et al., 2018), in quanto pratica socializzata di pattern interattivi tra più agenti, si sedimenta sottoforma di rappresentazione nella cognizione dei singoli agenti: il *know-how* sensorimotorio, diventata pratica normativa e socializzata, rimane come simbolo mentale proprio in quanto pattern ricorsivo, cioè come nuova e specifica conformazione persistente di informazione sensorimotoria. Questo è ciò che chiamo rappresentazione. Quella ricca parte di *know-how* sensorimotorio che, tramite l'interazione e la socializzazione, si fa duratura e normativa, pervenendo infine come rappresentazione.

Il concetto di *know-how*, così centrale per la dissertazione enattivista e che permette ora a noi di argomentare in favore di una simulazione differente e antecedente alla rappresentazione, è stato tuttavia trascurato dagli stessi studiosi che ne fanno uso, come lamentano Rolla e Huffermann (2022, p. 351). Gli stessi autori si impegnano nel definire il *know-how* come l'individuazione, a un livello molto elementare, di una conoscenza pratica, implicita, di come agire nel mondo, che prevede un certo grado di successo, stabile nel tempo, rispetto all'obiettivo dell'azione.

To know how to do a somersault, for instance, is to successfully perform a pattern of acts that result in the full rotation around one's horizontal axis. And this can be done across a wide range of conditions—but naturally not across all conditions. An experienced gymnast must be able to do it more or less regardless of the path or terrain they are in, be it rubber flooring, vinyl, or hardwood floor, for instance. But obviously we do not expect them to be able to do a somersault standing in a rocky terrain, or confined in a crowded room with a very low ceiling, for instance.

A novice who does a somersault by chance at their first attempt, on the other hand, does not know how to do it because they do not meet the stability condition. We do not expect them to be regularly successful after a fortuitous first try. So conceived, therefore, know-how rules out actions which are successful merely by luck. That is, know-how entails stable success, just like know-that entails non-accidentally true belief. (Rolla e Huffermann 2022, p.352)

Il grado di successo stabile nel tempo dell'azione va a costituire, proprio in virtù della sua continua efficacia, una sedimentazione di schemi sensorimotori, definiti come «un'organizzazione di schemi di coordinazione [sensomotoria] che viene regolarmente utilizzata dall'agente perché valutata come preferibile (in base a un quadro normativo pertinente), per raggiungere un particolare obiettivo» (Di Paolo, Cuffari, De Jaegher 2018, p.58). La nozione di *know-how* riesce ad identificare la ragione per la quale non è necessario il contenuto mentale per postulare un'agentività efficace sul mondo, a tenere traccia di quell'efficacia, e a migliorarne il grado valutando implicitamente lo scarto tra i diversi risultati delle proprie azioni. Soprattutto, la socializzazione del *know-how*, che diventa quindi *know-how condiviso* (Di Paolo et al., 2018), pone le condizioni sensorimotorie minime per un “saper fare” che non è solo individuale, ma che è pratica sociale. Pone quindi le condizioni sensorimotorie per la rappresentazione.

Abbiamo detto che il *know-how* condiviso riguarda le pratiche messe in atto nell'interazione tra più agenti, ma è importante tenere a mente che il «*know-how* condiviso non è la somma dei *know-how* dei singoli individui e non 'appartiene' strettamente a nessuno dei partecipanti» (ivi, p. 75). Il motivo è che l'esecuzione di un atto sociale dipende necessariamente dalla messa in atto di atti parziali che si svolgono in un determinato ambiente. Di conseguenza, il coordinamento degli atti parziali viene messo in atto congiuntamente, in modo che non esista un agente sociale completamente indipendente

Un ulteriore argomento a favore di una simulazione antecedente alla rappresentazione ci viene fornito da Daniel Dennett, in una sua ampia trattazione recente (Dennett, 2018). Come per Tomasello, Dennett pone al centro l'intenzionalità quale caratteristica degli animali superiori, parlando della *comprensione* (la capacità di comprendere)

come di una facoltà emergente, del tutto successiva alla competenza (la capacità di fare, il *know-how*). «Per prima arriva la competenza. La comprensione non è la fonte della competenza o l'ingrediente attivo della competenza. La comprensione è composta di competenze.» (Dennett, 2018, p.103³²). Dennett scompone in quattro gradi progressivi la complessità che porta alla capacità di comprensione negli organismi viventi: il primo livello è occupato dalle *creature darwiniane*, dotate di competenze selezionate dall'evoluzione ma nelle quali è impossibile l'apprendimento: le variazioni nel comportamento di queste creature si manifestano casualmente per effetto delle mutazioni genetiche e dell'ambiente; il secondo livello è quello delle *creature skinneriane*, creature dotate di un sistema di rinforzo dei comportamenti utili alla fitness: riprendendo Tomasello, sono le creature dotate di meccanismo a feedback sia positivo che negativo, che variano dunque la probabilità di riproposizione di un comportamento. Successive a queste ultime sono le *creature popperiane*: sono le prime vere creature con facoltà simulativa, capaci di estrarre informazioni dall'ambiente e trattenerle per poterle elaborare offline, così da non rischiare direttamente la propria vita. Anche queste creature non assurgono alla comprensione, dato che questo tipo di simulazione è in tutto e per tutto una competenza selezionata, una capacità incorporata. Infine, le *creature gregoriane*, le uniche dotate di capacità di comprensione, laddove per comprensione si intende una capacità emergente di un sistema già competente.

La stratificazione conseguente alla reiterazione di comportamenti sottoposti al filtro della selezione, basati sulle possibilità sensorimotorie dell'organismo agente, che godono di efficacia in relazione all'ambiente in cui vengono agiti, senza che questo implichi in qualche modo la facoltà di comprensione da parte dell'organismo, che va quindi a correggere il «percepire è comprendere, implicitamente, gli effetti del movimento sulla stimolazione sensoriale» (Noë, 2004, 1), percepire che non è affatto comprendere, ma avere competenza sensorimotoria necessaria ma non sufficiente alla comprensione.

³² I numeri di pagina delle citazioni letterali in Dennett 2018 si riferiscono all'edizione italiana, dal titolo *Dai batteri a Bach. Come evolve la mente*, 2018, Raffaello Cortina Editore.

L'inversione di significato operato da Dennett si inserisce pienamente in una correzione in senso evoluzionistico dell'epistemologia della filosofia della mente, rispetto alla concezione classica, questione affrontata parallelamente anche per ciò che riguarda gli studi sulla razionalità:

The use of adaptive explanations to understand the nature of human rationality represents a significant innovation with respect to standard economic theories, which assume that economic agents are optimizers, thus possessing unconstrained knowledge, time and computational power. (Mastrogiorgio et al., 2022, p. 4)

3.4 *Competence e know-how* sensorimotorio. Basta questo a depennare la Rappresentazione?

Nella concezione dennettiana di competenza, non abbiamo bisogno di una rappresentazione mentale per spiegare ciò che le creature darwiniane, skinneriane e popperiane dimostrano di saper fare, dato che la competenza è un concetto applicabile sin fino al livello dei tessuti biologici:

Si tratta, se volete, di tessuti che generano aspettative, dotati di una notevole competenza che non hanno bisogno di comprendere. (Dennett, 2018, p.187)

Le aspettative di cui parla Dennett sono i modelli anticipatori della codifica predittiva gerarchica bayesiana che, a partire dall'esperienza passata, implementano i nuovi dati salienti e contestuali del presente per apporre aggiustamenti probabilistici su cosa aspettarci dal futuro. In quest'ottica il cervello è una macchina predittiva che genera costantemente aspettative sui futuri input sensoriali, a partire da quelli passati, e aggiustando i propri modelli ricalibrandoli in base all'errore tra l'input sensoriale atteso e l'input sensoriale osservato. Le caratteristiche chiave della teoria della codifica predittiva possono essere sintetizzate in tre passaggi (Sprevak & Smith, 2023):

Modello gerarchico: il cervello costruisce un modello gerarchico della realtà, dove le informazioni a livelli più bassi sono influenzate da previsioni a livelli più alti.

Minimizzazione dell'errore di predizione: il cervello cerca di ridurre la discrepanza tra le previsioni e le informazioni sensoriali effettive.

Aggiornamento dei modelli interni: quando c'è una discrepanza tra previsione e realtà sensoriale, il cervello aggiorna i suoi modelli interni per riflettere meglio la realtà.

Il PP (*Predictive Processing*) è un framework che ha di fatto portato a far emergere nuove implicazioni nelle neuroscienze e nelle scienze cognitive. Pensiamo alla dinamica dell'*enfacement*, che ci dice di come il nostro modello interno del nostro volto possa mutare in dipendenza dell'integrazione multisensoriale (Tsakiris, 2008; Panagiotopoulou et al., 2017; Porciello et al., 2018; Bufalari et al., 2019): un soggetto esposto alla visione di un progressivo *morphing* del proprio volto è condizionato a riconoscere come proprio un volto diverso rispetto al proprio se all'esposizione visiva è associata una stimolazione tattile sincrona.

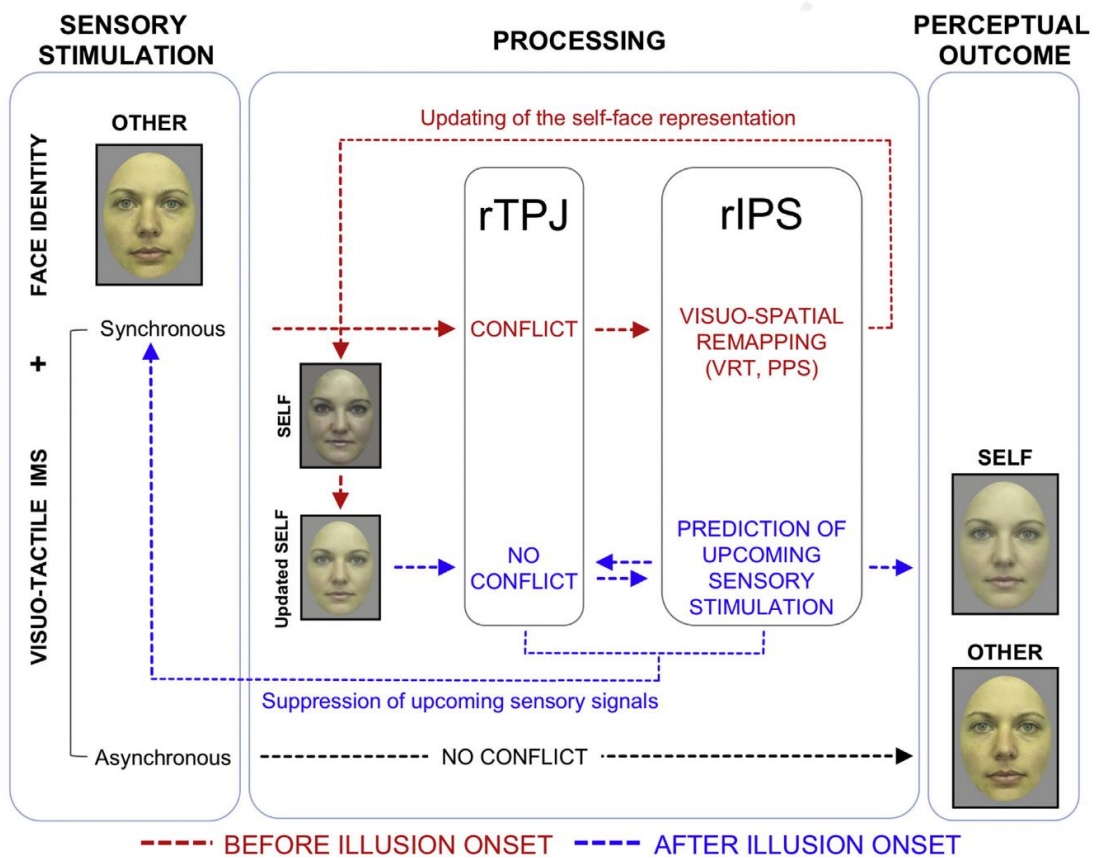


Figura 7. La dinamica dell'*enfacement* è spiegata tramite un modello a feedback che rileva una discrepanza tra il modello interno del proprio volto e lo stimolo visuo-tattile

del soggetto. Al verificarsi di una condizione di sincronicità tra un'immagine proiettata su uno schermo di un volto non corrispondente al proprio (con alcune caratteristiche in comune, come il genere) e una stimolazione tattile sul proprio volto e osservata sul volto nello schermo, si instaura un meccanismo di *updating* del modello interno (che gli autori localizzano tra la giunzione temporo-parietale – che rileva il *mismatch* – e il solco intraparietale – che effettua un continuo *remapping* visuospaziale del modello interno) in direzione di una minimizzazione della discrepanza tra il modello interno e l'immagine visualizzata, che aggiorna il modello stesso (da Porciello et al. 2018).

È importante capire che questi modelli interni non sono necessariamente interpretabili come rappresentazioni mentali basate su manipolazioni di simboli, ma possono essere configurate quali risposte sensomotorie, fisiologiche e neurali frutto della competenza dei tessuti corporei e delle popolazioni neurali, allenati e selezionati in modo da rispondere predittivamente ai futuri sensoriali possibili. Un buon esempio sono le affordance, programmi sensomotori incorporati nella relazione tra le possibilità di un corpo e le “offerte” dell'ambiente: codifiche istantanee generate a partire da competenze stratificate filogeneticamente e ontogeneticamente, concretizzatesi in attivazioni di programmi motori e/o sensoriali. È questa quella che Dennett chiama *competence*, e che contrappone alla *comprehension*, ovvero l'immagine manifesta dell'oggetto mentale.

Si potrebbe sostenere, ed è stato fatto (Hutto & Myin, 2017) che il PP metta la parola fine alla necessità di postulare contenuti mentali per spiegare la cognizione. Difatti, con gli argomenti del *know-how sensorimotorio* e della *competenza senza comprensione* ho anch'io sostenuto che una formulazione naturalistica della cognizione minima non necessita di una rappresentazione in sé. In questo sposto la critica di Hutto e Myin rivolta alla ricerca di una rappresentazionalità del modello interno, inteso nel framework del PP.

La posizione rappresentazionalista del PP è sostenuta, tra gli altri, da Clark, che si chiede «come nasce la conoscenza, quella che alimenta le previsioni alla base della percezione e [...] dell'azione?» (Clark, 2016, p. 14), ma è una domanda a cui ho già dato risposta: basta la ricorsività sensorimotoria e la plasticità neurale che ricalibra le connessioni a spiegare la formulazione di aspettative del sistema corpo-cervello nella

forma di un setpoint omostatico³³. Detto con altri termini, questo modello tiene traccia delle regolarità statistiche a diversi livelli di grana spaziale e temporale (Kiebel et al., 2008; Wiese, 2017). Per i sostenitori della mente contenutistica, sono queste regolarità statistiche (che suggerirei di chiamare *regolarità statistiche sensorimotorie*) a definire il centro di rappresentazionalità nel PP. Ne consegue che l'elaborazione sensoriale attuata dal cervello non è esclusivamente di tipo bottom-up, ma anzi la componente top-down predittiva è costantemente in atto per eseguire inferenze attive che modellano la percezione stessa. Il paradigma del Predictive Processing porta a tante controversie rispetto ad una nuova concezione di rappresentazione che sembra supportare. Si comprende il nucleo del problema in *Embodied Prediction* di Andy Clark:

In a very real sense, the prediction error signal is not a mere proxy for incoming sensory information—it is sensory information. [...] Your “error signal” carried some quite specific information. [...] The content [...] is a pretty rich message. Indeed, it does not (content-wise) seem different in kind to the downward-flowing predictions themselves. Prediction error signals are thus richly informative. (Clark, 2015, p.5)

Il segnale d'errore è da Clark definito come dotato di un contenuto riccamente informativo di natura sensoriale. Ancora più dichiaratamente, Summerfield e Egner (2009) chiamano *representation units* quelle popolazioni neurali che codificano la predizione.

Ora, dato che questo segnale d'errore è di natura top-down, sembra che tale caratteristica sia sufficiente a denotare di rappresentazionalità il contenuto informativo della predizione con la quale è confrontato l'input bottom-up. Credo che questa sia un'operazione opinabile, e che la sua adozione dipenda totalmente da cosa siamo disposti ad accettare come significato di *rappresentazione* in accordo con Maher (2017), il quale sostiene che l'interpretazione dei processi in termini di cicli di feedback non implica automaticamente una comprensione basata sul concetto di rappresentazioni. Per essere qualificato come ciclo di feedback, un processo richiede

³³ Vedi capitolo 3: “*Il problema della normatività degli schemi sensorimotori*”.

semplicemente di essere reattivo ai propri effetti, modulando di conseguenza la propria attività. Similmente, Gallagher (2008), il quale sottolinea che la capacità di anticipazione e la causalità dinamica sono elementi centrali nel controllo motorio e nell'azione, sostenendo che queste dinamiche predittive non necessitano di essere concepite come rappresentazioni in quanto non realmente disaccoppiate dall'ambiente, ma proprio generate a cascata dalle affordance ambientali, dunque sempre online e in *coupling* rispetto al corpo in azione. Attraverso il PP framework risulta quantomai chiaro un accordo di contenuto tra i due schieramenti, e un disaccordo di forma, tant'è vero che «tuttavia, gli enattivisti radicali non sono negazionisti del contenuto; non abbracciano un eliminativismo globale sul contenuto³⁴» (Hutto & Myin, 2017, p.121). Non tornerò su questo tema, già affrontato nel capitolo 2, ma il palesarsi di questa dinamica ci costringe a ridefinire i parametri minimi della rappresentazione mentale.

Il punto concreto sul quale mettere alla prova la sopravvivenza della rappresentazione nelle scienze cognitive è esplicitare i campi epistemologici nei quali fare a meno di tale costrutto ci impedisce o ci rende qualitativamente inferiore l'indagine di ricerca. L'enattivismo sensorimotorio e la competenza dennettiana ci hanno fatto vedere che possiamo spiegare molto della cognizione minima senza fare ricorso alle rappresentazioni, o almeno in molti dei sensi in cui la rappresentazione è definita in letteratura. Nondimeno, permangono molte e diverse capacità cognitive che fanno ricorso al significato e alla simbologia condivisa, e non lo fanno come vezzo ma come necessità, che certamente possiamo e dobbiamo considerare naturalisticamente *grounded* sul corpo, ma che finiscono per acquisire una autonomia di sistema proprio nel senso enattivista di Barandiaran (2008; 2017) e Di Paolo e colleghi (2017; 2018) e, di conseguenza, una piena cittadinanza all'interno della nostra disciplina.

³⁴ Traduzione dell'autore.

Capitolo 4

La pratica sensorimotoria condivisa come condizione necessaria per la rappresentazione

Condividere la struttura corporea ci permette di possedere schemi corporei simili. La comunanza dei vincoli biologici di specie sta alla base della salienza delle invarianze sensorimotorie, che come specie utilizziamo non soltanto per agire con efficacia nel mondo, ma anche per fornire segnali e agganciare quei segnali a programmi sensomotori. In quest'ottica, i neuroni specchio sono la specializzazione cellulare che per eccellenza palesa il vantaggio evolutivo di riuscire a simulare l'azione dell'altro in noi. Si potrebbe riformulare la funzione specchio come segue: essa riesce a ricostruire interi programmi sensorimotori a partire da elementi di invarianza comune. Abbiamo visto nel capitolo appena concluso quanta importanza abbiano per noi alcuni stimoli, con particolare riferimento verso gli stimoli interattivi, con i quali ingaggiamo esplorazioni da cui emergono pattern ricorrenti che si sedimentano nella nostra struttura neurocognitiva sottoforma di schemi sensorimotori: competenze incarnate frutto di un processo di ottimizzazione sul piano organico, neurale e sociale.

In questo ultimo capitolo affronto l'ultimo tassello di questo puzzle senza bordi, che dalla capacità di percepire e di agire porta alla possibilità di possedere permanenze rappresentazionali, tracce salienti su cui la nostra cognizione lavora ricorsivamente come macchina predittiva. È in questo senso che ritengo vada letta la rappresentazione mentale: un'exaptation particolarmente efficace in funzione predittiva, sulla quale si concentrano molte energie attentive, di autoregolazione e controllo. Ma predire cosa? Il comportamento dei conspecifici. È qui che il solo know-how sensorimotorio non basta. La forza della socialità umana sta nella esplosiva capacità normativa dei suoi gesti, dei suoi simboli e dei suoi significati. Com'è potuto accadere che una specie dotata di una comunicazione così flessibile e quindi fraintendibile, così affetta da variabilità di contesto, di ruolo e di intenzionalità possa aver cristallizzato pratiche

comuni diffuse prima in decine, poi centinaia fino ai miliardi di individui? Citando Dawkins (1976), come hanno fatto i memi ad attecchire nel nostro cervello? Come si passa dalla competenza alla comprensione?

4.1 Dalla struttura sensorimotoria agli schemi sensorimotori condivisi

Comprendere è un processo che, allo stato dell'arte, non è ancora stato del tutto chiarito dalle scienze cognitive, ovvero non c'è accordo unanime sul suo significato, e quindi sul suo utilizzo (Alfredo Paternoster, 2023; Calzavarini, 2023). Si evince dai paragrafi precedenti che il concetto di comprensione utilizzato in questo lavoro prende piede dalla sua formulazione dennettiana (2018), nella quale converge il costrutto di rappresentazione e di immagine manifesta. È intuitivo pensare che alla comprensione debba associarsi la padronanza di un oggetto mentale, esplorabile mentalmente in maniera top-down. Eppure, nella letteratura scientifica cognitiva, la rappresentazione non ha necessariamente aderenza con il concetto di coscienza, seppure sia rintracciabile una decisa correlazione. Ho già esposto nello scorso capitolo gli immensi problemi definatori che accompagnano l'uso epistemologico del concetto di rappresentazione, e ora è giunto il momento di spiegare il perché, secondo chi scrive, un buon indicatore deve essere costruito per mezzo dell'analisi filogenetica e ontogenetica.

Se assumiamo, come si è fatto nel presente lavoro, che le varie facoltà cognitive di natura sensoriale e motoria siano essenzialmente frutto di meccanismi di controllo a feedback ricorsivi implementati neuralmente, non abbiamo bisogno di ricorrere alla rappresentazionalità per definire il funzionamento di tale sistema. Al contrario, ne facciamo giustamente ricorso quando necessitiamo di un'ontologia di alto livello per catalogare, ad esempio, un programma motorio quale "l'afferrare". Il complesso programma motorio gerarchico che sottostà all'afferramento non ha bisogno di una rappresentazione per attuarsi, mentre noi che lo studiamo abbiamo bisogno di una rappresentazione (un'etichetta) per definirlo. Differentemente, se immaginassimo di afferrare qualcosa al posto di afferrarla veramente, metteremmo in moto lo stesso

programma motorio inibendo la parte attuativa. Per evocare tale programma, dovremmo stavolta simulare la condizione di afferramento. Tale simulazione può avvenire essenzialmente in due modi: in maniera bottom-up, ovvero tramite un'affordance evocata da un oggetto del tutto inconscia, o in maniera top-down, per mezzo di una evocazione immaginaria. Ecco che ciò che appare come immagine percepita nella nostra mente è in tutto e per tutto una rappresentazione. Dunque, spiegare la cognizione minima senza l'utilizzo della rappresentazione non significa dire che la rappresentazione non esista. Proprio l'impresa scientifica e la strutturazione di ontologie per definire modelli della realtà rendono chiara la nostra capacità sia di creare che di utilizzare rappresentazioni.

Un ulteriore esempio. Nella concezione popolare vi è la falsa credenza che un'artista, diciamo un pittore, abbia già un'immagine in mente quando egli si mette all'opera, che lui va riproducendo sul foglio di carta. La realtà, più verosimilmente, è che l'artista va creando quell'immagine a partire da ricorsività sensorimotorie, mettendo in atto quel know-how appreso in ore e ore di pratica. È la sedimentazione e l'affinamento dei pattern sensorimotori che gli permette di raffigurare ciò che vuole raffigurare. Ad un certo punto, l'artista sarà stato in grado di creare la sua rappresentazione. Ora quella rappresentazione è lì, fa parte del mondo e diventa oggetto, dotato delle due caratteristiche fisiche, e quindi delle sue informazioni sensoriali agganciate alle azioni che sono state necessarie per costituirlo. Così anche per i gesti, le parole, i segni, co-creati dalle contingenze sensoriali-motorie-sociali, sono diventate inquiline di un sistema nato per muoversi, per agire nel mondo. Il punto cardine di questo ultimo capitolo è capire che la possibilità di rappresentare, seppur virtualmente attuabile dalla tecnologia corporea dell'individuo, non avrebbe nessuna ragione di esistere se non in un ambiente sociale. Rappresentare ci è stato utile per condividere.

Lo dico in maniera più netta: la rappresentazione si è selezionata positivamente a causa della nostra natura sociale. Ripeto sottolineando che ciò non vuole significare certo che essa non necessiti di strutture corporee e cognitive atte a permetterne la comparsa, tutt'altro. Proprio in virtù del complesso di strutture selezionate dall'evoluzione, che catturano e manipolano un tipo di informazione che abbiamo

detto essere eminentemente sensoriale (da qui la formulazione del *Protocollo di informazione sensorimotorio* del capitolo 2), ci è resa possibile la comunicazione³⁵. Homo sapiens ha potuto costruire una nicchia cognitiva (Pinker, 2010) pronta alla diffusione di strumenti mentali condivisi rivelatisi spaventosamente utili da trattenere neuralmente e manipolare mentalmente. Le enormi potenzialità della *competenza senza comprensione* ci obbligano alla parsimonia esplicativa e ci costringono ad evitare la fascinazione insita nella tentazione di spiegare la rappresentazione per mezzo dell'evidente complessità dei suoi prodotti. La rappresentazione mentale deve quindi essere efficace in virtù della sua trasmissibilità, della sua possibilità di "infettare il comportamento" dell'altro e cambiarne gli obiettivi, che altro non sono che programmi all'azione. Senza una permanenza mentale comune e condivisa non è possibile che si passi da un livello opportunistico e miope di collaborazione (quella che Tomasello attribuisce agli scimpanzé), che si estingue al venir meno di un beneficio contingente, all'impresa collaborativa a lungo termine attuata dal sapiens. Sfruttando la comunanza strutturale (Gallese, 2003a, 2009; Ammaniti & Gallese, 2014) e le invarianze sensorimotorie con il mondo (Di Paolo et al., 2017) il sapiens ha saputo generare non solo segnali contingenti, ma anche inferenze bayesiane particolarmente persistenti e ricorsive proprio in quanto efficaci rispetto ad un tipo di collaborazione più duratura, più diffusa e regolatoria del comportamento. È l'efficacia sociale della rappresentazione ad aver permesso il passaggio dalla competenza alla comprensione, verso quell'immagine manifesta che altro non è che un'exaptation di strutture applicate all'intenzionalità collettiva di animali dal comportamento flessibile.

Con l'aiuto di alcuni schemi grafici, ricapitoliamo facendo un po' di ordine.

Un organismo dotato di una struttura sensorimotoria va' incontro alle contingenze del mondo fisico. In questo incontro, la struttura sensorimotoria tipica degli organismi dotati di apparati neurali approfitta, tramite meccanismi di controllo a feedback, delle ricorsività percepibili per creare modelli interni di sé e del mondo, che riesce a distinguere tramite una copia di efferenza (Von Holst, 1954) generata in associazione

³⁵ Rimando ancora una volta all'intera opera di Alessandra Falzone e Antonino Pennisi per i più lucidi esempi di come la comunicazione sia resa possibile e plasmata dai vincoli biologici.

al comando motorio, annullando il segnale sensoriale nato come sottoprodotto di un movimento dell'organismo, strutturando così la differenza tra sensazione (ciò che accade internamente all'organismo) e percezione (ciò che accade esternamente) (Humphrey, 2012). Alcuni definirebbero questo primo modello interno come una rappresentazione, altri, come abbiamo detto, negherebbero. Sicuramente tale concetto non può condividere molto con la nozione classica di rappresentazione mentale. Ciò di cui ci rendiamo conto è che l'approccio enattivista spiega, sino a qui, molto efficacemente sul piano naturalistico dinamiche di interazione organismo-ambiente e come le co-occorrenze tra i due definiscano questo rapporto in termini di affordance, e dunque in termini di risparmio computazionale della materia neurale. Ciò che non è ben delineato longitudinalmente in ambito enattivista è l'accettazione degli schemi sensorimotori quali qualità dell'organismo agente, e non del sistema dinamico organismo-ambiente, che invece ne definisce la genesi, non l'attribuzione.

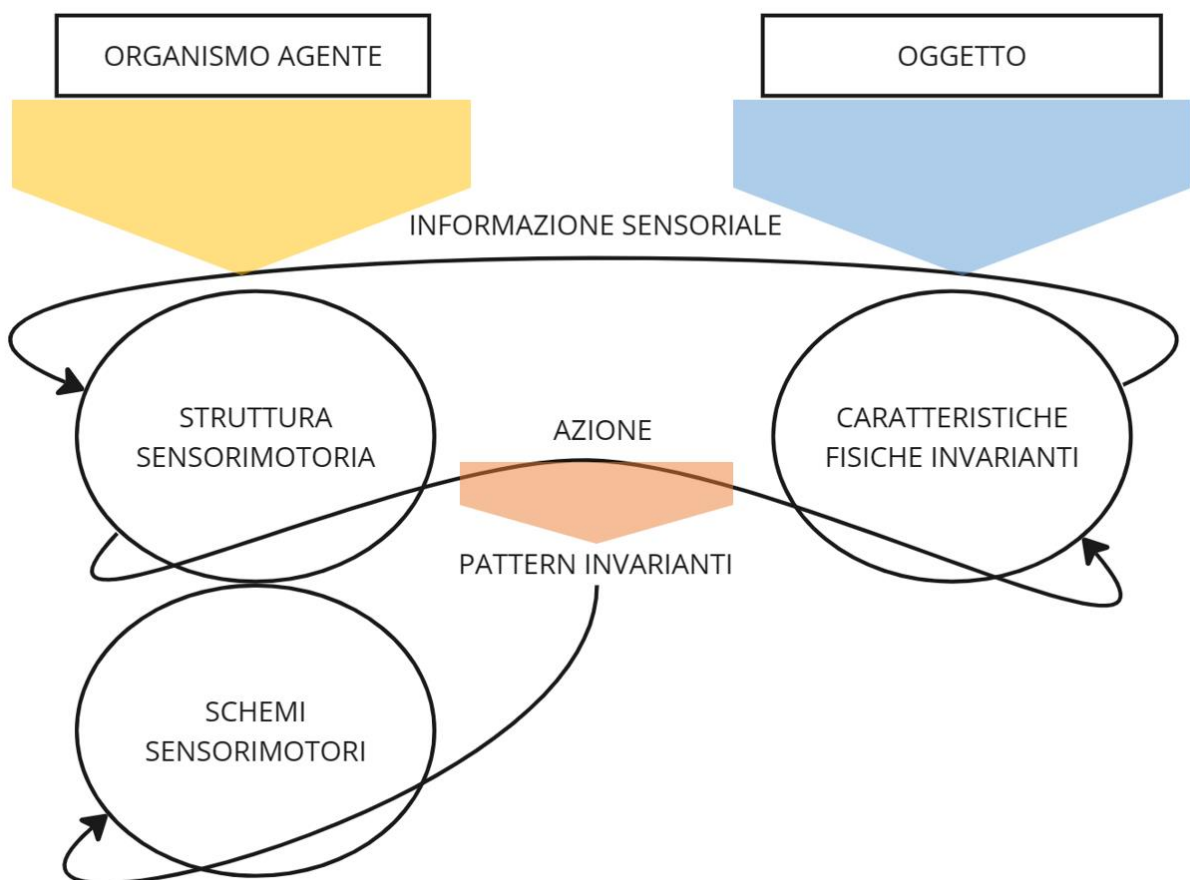


Figura 8. Rappresentazione grafica semplificata della dinamica della creazione di schemi sensorimotori tra organismo e ambiente. Gli organismi agenti, operando nell'ambiente per mezzo di una struttura sensorimotoria, catturano l'informazione sensoriale dei parametri ambientali (oggetto) nel suo sviluppo nel tempo, consolidando pattern sensorimotori invariati efficaci che strutturano schemi sensorimotori interni all'organismo.

Un esempio può essere l'utilizzo di un coltello. Pensandoci neonati, non avendo quindi alcuna esperienza del dolore che può arrecare una lama affilata sulla nostra pelle, potremmo tentare un approccio prensile dalla parte opposta al manico. Questa si rivelerebbe tagliente, dunque dolorosa. Un secondo simile approccio rivelerebbe un'invarianza nel restituirmi lo stesso dolore, e così via. Successive e continue interazioni sensorimotorie con il coltello si stabilizzerebbero in uno schema di presa dalla parte del manico, in virtù dell'efficacia omeostatica (nel ricorsivo effetto dannoso su di me se lo afferro dalla parte della lama), sia di quella funzionale (nell'assolvere con efficacia a compiti di taglio). Nell'interazione ricorsiva ed efficace si è andata formando un'invarianza sensorimotoria, che ha un aspetto di *schema sensorimotorio* implicito sul lato dell'agente, e di *affordance* sul lato dell'oggetto.

Ma cosa succede quando un organismo dotato di struttura sensorimotoria incontra un altro organismo dotato della stessa struttura? Succede che ogni agente crea i propri schemi sensorimotori che, nel caso di agenti conspecifici, risulteranno simili, dati gli stessi vincoli biologici; viceversa divergeranno significativamente al variare della distanza filogenetica tra le specie. Interessandoci noi a *Homo sapiens*, possiamo notare che, nella comunanza di strutture biologiche e dunque di strutture sensorimotorie, vanno configurandosi continue interazioni di schemi sensorimotori condivisi: camminare, correre, saltare, guidare. Tutte condizioni sensorimotorie metastabili possibili. Sta proprio nella comunanza delle strutture il segreto per la condivisione delle invarianze: se utilizzo un movimento per inseguire un obiettivo, anche l'altro agente a me prossimo avrà verosimilmente capacità di attuare lo stesso movimento. Se l'obiettivo è condiviso (e abbiamo visto come, nella nostra specie, condividere un obiettivo possa apportare grossi vantaggi evolutivi) i processi interni di rilevamento di invarianza del primo agente si coordinano con i movimenti del secondo agente e

viceversa, instaurando ulteriori invarianze sul livello intersoggettivo (agente-agente), quelle che possiamo chiamare *schemi sensorimotori condivisi*.

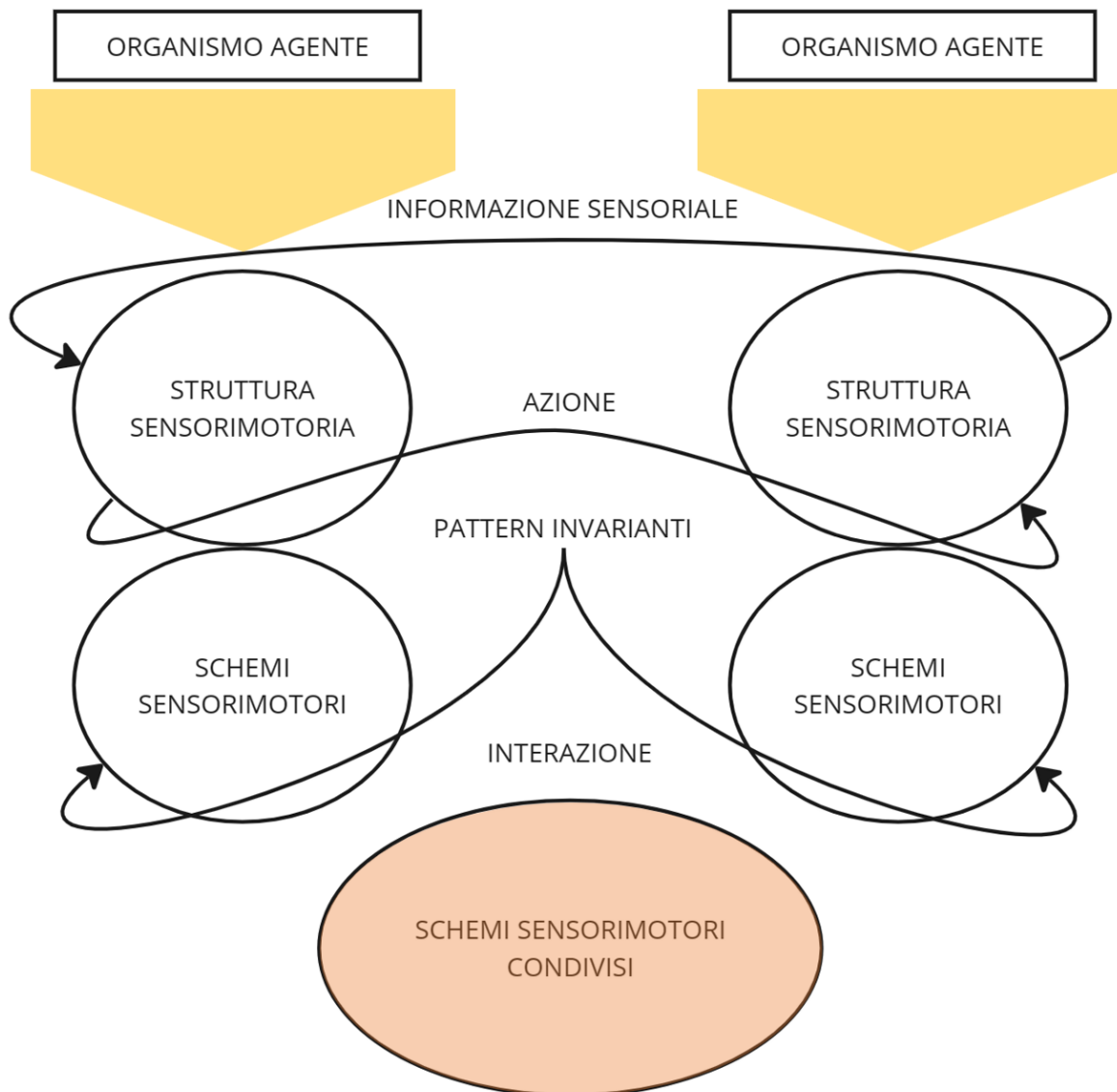


Figura 9. Rappresentazione grafica semplificata dell'incontro tra due organismi dotati di struttura sensorimotoria. Al pari della dinamica con i parametri ambientali, gli organismi vanno strutturando pattern sensorimotori invariati determinati dalle informazioni in arrivo rispetto all'agentività tra i corpi. In questo caso però, tra i due organismi agenti l'invarianza supera la dimensione fisica statica degli oggetti (comunque mantenuta dai corpi degli agenti) per muoversi nell'interattività non di un solo corpo, ma di due corpi. Gli schemi sensorimotori diventando dunque comuni, condivisi.

Le caratteristiche di contingenza assumono peculiarità specie-specifiche modulate dall'esperienza comune: nella continua pratica del gesto, l'alzata di braccio del

neonato attiva l'affordance di afferramento, e il programma motorio della presa in braccio del *caregiver*. In questo senso, il cervello umano, ma in generale gli apparati neurali, costituiscono reti bayesiane ricorsive, con collegamenti in avanti (*feedforward*) e all'indietro (*feedback*) che permettono il costituirsi plastico di strutture ottimizzate per la risposta motoria, attraverso l'estrazione delle regolarità statistiche salienti per l'organismo (Dennett, 2018). Queste reti sono talmente funzionalmente ottimizzate da riuscire ad anticipare, le eventuali risposte rispetto ai dati ambientali (dati di forma degli oggetti e di scopi contingenti), attivando in via preventiva diversi programmi motori che competono sul sostrato neurale (Cisek, 2007). E qui che si gioca il passaggio tra il livello organico e quello corporeo.

4.2 Dal movimento al significato passando per il gesto

Una delle capacità peculiari e fondanti della cognizione umana è quella di saper attribuire significati plurimi a contingenze fisiche, facendo emergere un livello semantico:

Riconoscere un isomorfismo tra due strutture note fa compiere un notevole passo in avanti nella conoscenza. Io sostengo che la percezione di isomorfismi è ciò che crea i significati nella mente umana. (Hofstadter, 1979, p.59³⁶)

Alcuni segnali fisici, nel mondo umano, possiedono significati. È uno slittamento graduale che inizia traslando l'informazione in segnale: Questo primo passaggio è facilmente osservabile nel mondo animale: lo *stotting* delle gazzelle inibisce la propensione all'attacco dei predatori; le femmine di scimpanzé mostrano un rigonfiamento e un arrossamento nella regione anogenitale nel momento dell'ovulazione costituendo un segnale per i membri del gruppo; il cercopiteco verde informa i simili della presenza di un predatore strisciante nelle vicinanze con un segnale vocale specifico. Il regno animale e vegetale comunica tramite segnali, e

³⁶ Il numero di pagina si riferisce alla versione italiana *Gödel, Escher, Bach: un'Eterna Ghirlanda Brillante*, edita nel 2021 da Adelphi.

questi cambiano il comportamento di coloro i quali recepiscono il segnale (Zahavi, 1975; Falzone, 2012). Come ci ha spiegato Dennett, Homo sapiens si distingue dagli altri animali per aver acquisito la comprensione oltre che la competenza, che ha trasformato il segnale in significato, quindi in segno.

Concentriamoci ora sul passaggio dal movimento al gesto. Abbiamo letto il movimento corporeo attraverso la definizione di *competence* dennettiana, che propone un rovesciamento di significato rispetto alla più classica concezione chomskyana. Per il linguista di Filadelfia, la *competence* identifica una conoscenza innata, modulare e dominio-specifica della funzione cognitiva, laddove per il filosofo di Boston questa è il risultato di un processo evolutivo su un comportamento selezionato positivamente per la sua efficacia adattiva e, perciò stesso, competente. Allo stesso tempo abbiamo utilizzato il concetto di *know-how* sensorimotorio di matrice enattivista, per rendicontare da un punto di vista differente la stessa dinamica di sedimentazione di pattern di schemi di coordinazione messa in atto dagli agenti. Utilizziamo ora queste due prospettive complementari, unite alla proposta di Tomasello, per delineare un percorso filogenetico adatto a spiegare il passaggio dal movimento al gesto.

Partiamo da quella “normatività” analizzata nei termini enattivisti (Di Paolo et al., 2017) che è da individuarsi quale processo ricorsivo di comportamenti agentivi del singolo organismo sensorimotorio in interazione con l’ambiente, che in questa ricorsività sedimenta la competenza (sempre alla maniera di Dennett) di agire efficacemente nel mondo selezionando azioni efficaci (abilità permesse dalle possibilità della struttura biologica del tessuto neurale, flessibile e sensibile al feedback), con capacità di trasmettersi in maniera cross-generazionale sul livello non solo genetico, ma anche comportamentale e culturale. È importante notare che sia la *competence* dennettiana che il *know-how* enattivista si muovono entro vari domini: così come è possibile identificare contingenze organismo-ambiente sottoposte, sul piano biologico, a requisiti di efficacia nel mantenimento del setpoint omeostatico funzionale all’evitamento dello stato di morte organica, così è possibile parlare di una normatività sociale, nei termini di un’efficacia nell’attuazione di comportamenti con beneficio per un gruppo, il cui beneficio stesso è la ragione della sua reiterazione e

sedimentazione. Comprendiamo dunque che il comportamento o l'azione dannosa non è inibita in quanto preventivamente vagliata rispetto ad un obiettivo intenzionale calibrato mentalmente (cosa che succede soltanto in quelle che Dennett chiama *creature gregoriane*, cioè *Homo sapiens*), ma è selezionata negativamente proprio in termini di abbassamento della fitness individuale.

Centrale è la capacità di tenere traccia dell'efficienza delle interazioni sensorimotorie con il mondo, migliorandole attraverso il ricorso di un meccanismo a feedback basato sulla neuroplasticità. Ancora una volta, si pone quale precetto metodologico d'analisi la teoria dei vincoli biologici: la natura plastica dei tessuti neuronali permette risposte flessibili agli stimoli e incentiva la modifica del comportamento per l'ottimizzazione del risultato. È una qualità che pretende un grande scotto da pagare: un periodo decisamente lungo di sviluppo nei mammiferi, con particolare riferimento a *Homo sapiens*, e quindi di vulnerabilità e dipendenza dai *caregiver* (Coqueugniot et al., 2004; Gunz et al., 2019; Tomasello, 2019, 2022). Strutture selezionate dall'evoluzione che vincolano le possibilità neuroplastiche, abbreviando i tempi di adattamento comportamentale dell'organismo alle sfide dell'ambiente. Con Pennisi e Falzone:

I vincoli strutturali che presiedono alle variazioni della forma richiedono processi selettivi lunghissimi e gradualmente [...]. 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 [...]. Il tutto, però, costituisce una dinamica evolutiva unitaria. (Pennisi & Falzone, 2017, p.69)

Ma come si passa dalle contingenze sensorimotorie al valore normativo del gesto? Nel gesto è già presente un valore semantico?

Tomasello (2019) ci aiuta a delineare una sequenza chiara a partire da un'analisi filogenetica e ontogenetica comune tra umani e grandi scimmie della *comunicazione gestuale*. Osservando le grandi scimmie, Tomasello classifica due tipologie di gesti comunicativi: i *richiami d'attenzione* e i *movimenti d'intenzione*. I primi sono costituiti

da azioni finalizzate ad attirare l'attenzione di un conspecifico su qualche aspetto contingente del contesto o verso sé stessi, in ottica comunicativa. I secondi riguardano azioni ritualizzate attraverso la reiterazione di un movimento naturale. Facciamo l'esempio di due scimpanzè che, giocando, simulano una lotta: la reiterazione del gioco, che inizia con un movimento specifico quale può essere l'attaccare giocosamente il partner dell'interazione muovendo il braccio verso di lui, con la successione delle volte in cui questo movimento è ripetuto (la sedimentazione della contingenza sensorimotoria) diventa sempre più familiare, e dunque prevedibile, agli agenti interagenti che in futuro ne riconosceranno con sempre meno difficoltà il segnale di invito al gioco che il movimento costituisce, sino a diventare un gesto, ossia un movimento riconosciuto dagli agenti attori dell'interazione ed associato a successivi sviluppi prevedibili in quanto familiari, resisi normativi dalla reiterazione dei movimenti in co-occorrenza di contesti appropriati.

Rendiamoci conto di una cosa: non abbiamo bisogno né di comprensione, né di rappresentazione mentale per rendicontare la dinamica appena descritta di ritualizzazione del movimento in gesto: è sufficiente la possibilità di agire e di percepire, oltre ad un obiettivo che non è propriamente un oggetto mentale ma, come abbiamo detto, riguarda l'omeostasi organica, sensorimotoria, comportamentale e sociale di strategie evolutive consolidate nel tempo che presentano sempre variazioni sottoposte alla prova della selezione. Talvolta, la non necessità del costrutto di rappresentazione per spiegare il *know-how* sensorimotorio, che ora abbiamo fatto nostra per descrivere il passaggio dal movimento al gesto, è stata interpretata in ambito enattivista quale occasione per smantellare il costrutto riducendo l'intera cognizione all'azione. Come sostengo in questo lavoro, questo è un abbaglio mosso da una apparente parsimonia esplicativa, ma che a ben guardare porta a tesi riduzioniste che non riescono a dare conto di funzioni cognitive centrali, quali la *comprensione*.

C'è una considerazione su cui voglio portare l'attenzione: il gesto, differentemente dal movimento, è intrinsecamente sociale. Senza almeno una diade di agenti a condividere le pratiche sensorimotorie non può esistere questo processo di ottimizzazione e riconoscimento del movimento che porta al gesto. Molti studi suffragano l'ipotesi che

le «forme gestuali non sono solo improvvisazioni individuali di singoli parlanti, ma sono piuttosto prodotte dall'uso ripetuto di particolari forme, orientamenti, movimenti e posizioni delle mani» (Ladewig & Bressemer, 2013, p. 222), rimarcando la convenzionalità dei fenomeni gestuali con parametri ricorrenti come la forma della mano durante la gestualità, la traiettoria e l'orientamento, così come la posizione nello spazio (ibid.), e denotando quindi una prevedibilità tra movimento, forme gestuali e significato (cfr. Cienki & Müller, 2008) sino a identificare relazioni tra obiettivo espressivo e ambiente (Streeck, 2010).

Ne consegue che la socialità costituisce l'ambiente di selezione delle pratiche sensorimotorie condivise, pratiche che sostengo essere alla base della capacità di comprensione, e quindi di rappresentazione. Per spiegare quest'ultima frase è necessario interrogarsi sul vantaggio evolutivo della capacità di comprendere, ovvero di percepire e manipolare mentalmente immagini manifeste. Vi sono in natura esempi di *competence* che bastano a spiegare creazioni di rara complessità: pensiamo alla straordinaria abilità costruttiva visibile nei termitai costruiti dal genere *Macrotermes*. Questi termitai possono raggiungere altezze notevoli e sono caratterizzati da una struttura interna intricata con camere e tunnel. Sono inoltre progettati non solo come rifugio, ma anche per aiutare nella regolazione della temperatura e dell'umidità, essenziali per la coltivazione dei funghi di cui le termiti si nutrono. Una struttura complessa di estrema raffinatezza, la quale non può trovare giustificazione in una supposta capacità di comprensione o di rappresentazione mentale delle *Macrotermes*, ma solo facendo ricorso alle capacità sensorimotorie di questi organismi eusociali. La mia ipotesi è che l'efficacia evolutiva della comprensione sia da ricercare nella natura flessibile del nostro comportamento (A. W. Kandel et al., 2016; Pennisi & Falzone, 2016; Pennisi, 2020; Scerri & Will, 2023) che, a differenza del comportamento rigido degli animali eusociali (Nowak et al., 2010; Falzone, 2012; Nowak, 2012; E. O. Wilson, 2012) permette il trasferimento di informazioni in un ambiente sociale non determinate unicamente da un codice rigido, ma piuttosto da elementi pragmatici utilizzati al fine di persuadere i conspecifici (F. Ferretti & Adornetti, 2021; F. Ferretti, 2022; F. Ferretti et al., 2022), per diffondere il più possibile la strategia individuale di comportamento e farla così diventare una

strategia adottata dal gruppo, aumentando di conseguenza le possibilità che questa abbia successo nella competizione intergrupale. La rappresentazione trova il suo vantaggio evolutivo in quanto strumento cognitivo di persuasione, in una specie dotata di comportamento flessibile quale è Homo sapiens.

In questo senso, la rappresentazione è in tutto e per tutto un caso di *exaptation* emersa dall'incontro di una struttura neuro-sensorimotoria flessibile immersa in sfide ambientali di natura fortemente sociale, terreno fertile per il passaggio dalla competenza alla comprensione.

4.2.1 Dal gesto alla parola

L'idea che il linguaggio umano abbia origine dalla gestualità non è nuova e si basa su prove evoluzionistiche, ontogenetiche e neuroscientifiche. Questa concezione, nota come teoria gestuale delle origini del linguaggio, suggerisce uno sviluppo graduale di quest'ultimo, con un' genesi di associazione tra gesti manuali, espressioni facciali e suoni vocali (Corballis, 2008). Si ipotizza quindi che, inizialmente, il linguaggio era legato strettamente al gesto, ma con il tempo si è evoluto verso una forma più indipendente e autonoma. L'inversione del ragionamento, ovvero il primato del corpo sul cervello, vede un grande promotore nella figura di Leroi Gourhan, paleoantropologo che scrisse un testo intitolato *Le geste et la parole. Technique et language* (1964). Secondo Leroi Gourhan, le funzioni cognitive sono plasmate quale conseguenza della struttura corporea, che quindi vincola le possibilità del suo "inquilino", il cervello. Lo sviluppo cognitivo necessita di essere sempre messo in relazione all'evoluzione della struttura corporea che, modificandosi, apre a nuove possibilità d'azione o chiude a vecchie. Il cervello coordina a partire da queste possibilità. L'origine gestuale del linguaggio si muove in maniera agevole dentro questa ipotesi di lavoro. Vediamo come.

Riprendendo il discorso del paragrafo precedente con Tomasello (2019), è probabile che i *movimenti d'intenzione* fossero inizialmente accompagnati da segnali vocali per

attirare l'attenzione quando il contatto visivo non era possibile. Tuttavia, rimane incerto se l'associazione tra gesto e segnale vocale sia precedente alla comunicazione verbale non gestuale (Corballis, 2008).

A livello sociale, pratiche comuni basate sul movimento andavano acquisendo importanza in virtù della loro capacità di potenziare la cooperatività: tantopiù l'individuo riusciva a tenere traccia dei gesti e delle pratiche sensorimotorie adottate dalla comunità in cui era immerso, tantopiù questo riusciva a trarre vantaggio dalla vita comunitaria, riuscendo a ingaggiare azioni collaborative sempre più raffinate, performanti e dai buoni frutti. Sostengo che l'importanza di uno sviluppo neocorticale, propria della *Social Brain Hypothesis* (Dunbar, 1998) non sia tanto da ricercare nella necessità di tenere memoria dei volti amici da quelli nemici, o dei collegamenti relazionali che intercorrevano tra i membri (Dunbar, 1992; Barrett et al., 2002), ma che alla base vi sia la necessità di trattenere pratiche sensorimotorie comuni³⁷. Ciò collegherebbe finalmente la natura pervasivamente sensorimotoria della neocorteccia, rendicontata nell'arco di questo intero lavoro di tesi, con l'importanza capillare dell'interazione sociale, il cui cablaggio nel sistema sensorimotorio non si ferma ai soli neuroni specchio, già di per sé neuroni senso-motori, ma che si espande pervasivamente in aree sensoriali e associative, con particolare riferimento all'area del corpo extrastriata, già area di prima discriminazione tra il proprio e l'altrui corpo, e alla giunzione temporo-parietare, area dalle mille interpretazioni, correlata con innumerevoli compiti sociali (Saxe, 2006; Myers & Sowden, 2008; Van Overwalle, 2009; Gazzaniga et al., 2014; Ogawa & Matsuyama, 2023).

Proprio dal punto di vista neuroscientifico e genetico, crescenti evidenze empiriche supportano interpretazioni motorie del linguaggio, funzione intrinsecamente sociale. Lieberman (2006) sostiene che la facoltà di linguaggio si sviluppa a partire dal controllo motorio esercitato dai gangli della base e dalla loro connessione con aree corticali. In questo senso, un ulteriore supporto proviene dall'analisi del gene FoxP2, inizialmente considerato il "gene del linguaggio" (Falzone, 2004; Cimatti, 2007) ma successivamente identificato come un gene regolatore coinvolto nello sviluppo di

³⁷ E in questo senso credo vada reinterpretata la dinamica del *grooming* analizzata da Dunbar (1992).

strutture chiave, tra cui i gangli della base, importanti per la formazione di reti sensomotorie corticali e sottocorticali (Fisher & Marcus, 2006). Queste strutture sono cruciali per sequenze complesse di movimenti, che sono fondamentali per il linguaggio (Scharff & Haesler, 2005; Lieberman, 2006).

Ulteriori ricerche sull'area di Broca hanno evidenziato la sua natura motoria, in particolare dopo la scoperta dei neuroni specchio nell'area F5 della corteccia dei macachi, considerata omologa dell'area di Broca negli umani. Questo rafforza l'idea che il linguaggio sia basato su una componente motoria (Rizzolatti & Arbib, 1998) e supporta l'idea che il linguaggio sia in origine un sistema gestuale prima che vocale (Lieberman et al., 1967). L'area di Broca, inizialmente selezionata per la regolazione di sequenze motorie, si sarebbe poi rifunzionalizzata per il linguaggio, applicando le regole motorie a domini più astratti.

L'area di Broca svolge un ruolo cruciale nella codifica dei movimenti umani complessi, un processo che può essere fondamentale per la comprensione e/o la programmazione delle azioni. (Clerget et al., 2009)

Hagoort propone di guardare alle funzioni premotorie dell'area di Brodmann 6 e dell'opercolo frontale come ai precursori di computazioni più direttamente collegate al linguaggio. Queste funzioni, attraverso un processo di exaptation, avrebbero formato un network con uno scopo più generale e amodale, includendo l'area di Brodmann 44. Quest'ultima funge da collegamento tra le funzioni premotorie gerarchiche dell'area 6 e le funzioni integrative multimodali dell'area di Brodmann 45 ((Hagoort, 2005; Willems et al., 2007)), tanto che lo studioso invita ripensare all'appellativo "area" in favore di "complesso" di Broca, proprio in virtù della sua stretta relazione con le aree motorie prossimali.

Ciò ci porta, senza soluzione di continuità, alla teoria dei vincoli biologici applicata al linguaggio, che ci suggerisce che la facoltà di linguaggio è emersa grazie a notevoli modifiche anatomiche, tra cui cambiamenti nel tratto vocale con l'abbassamento della laringe. Questi cambiamenti sono stati resi possibili dall'adozione di una postura eretta, che ha liberato gli arti anteriori per la gestualità e ha permesso l'espansione encefalica. Altri cambiamenti importanti includono l'inattivazione del gene MYH16, che ha avuto

effetti sulla muscolatura e ossatura mascellare (Falzone, 2012; Stedman et al., 2004), migliorando la capacità di articolazione motoria fine, in associazione all'espansione del controllo corticale sulla voce attraverso il tratto piramidale (Ploog, 2002).

Questi sviluppi sottolineano la necessità di un approccio multidisciplinare per comprendere il ruolo del movimento e del corpo nella facoltà di linguaggio. La metodologia deve basarsi sulla descrizione dei vincoli biologici quali limitatori delle possibilità delle funzioni cognitive. Questo approccio è essenziale per definire i limiti di ciò che la cognizione può o non può essere, come illustrato dalla *Biological Constraint Theory*.

Focalizzandosi sul passaggio dal gesto alla parola, il gesto facciale assume un ruolo cruciale, particolarmente evidente nello studio della lingua dei segni. Corballis fornisce una panoramica significativa in questo contesto, quando indaga le lingue dei segni:

I gesti facciali sono sempre più riconosciuti come una componente importante delle lingue dei segni dei sordi. Questi gesti tendono a concentrarsi sulla bocca e si distinguono dal mouthing, in cui il segnante produce silenziosamente la parola parlata contemporaneamente al segno che ha lo stesso significato. I gesti della bocca sono stati studiati principalmente nelle lingue dei segni europee e sono stati proposti schemi per la composizione fonologica dei movimenti della bocca per le lingue dei segni svedese (Bergman e Wallin 2001), inglese (Sutton-Spence e Day 2001) e italiana (Ajello et al. 2001). I gesti facciali svolgono un ruolo importante anche nella lingua dei segni americana, fornendo l'equivalente della prosodia nel parlato, e sono fondamentali anche per molte altre funzioni linguistiche, come la marcatura di diversi tipi di domande o l'indicazione di modifiche avverbiali dei verbi (Emmorey 2002) [...] (Corballis, 2008, 14).

Il gesto, attraverso la sua reiterazione contestuale, scaturisce da una competenza sensorimotoria condivisa, fungendo da intermediario tra il movimento e il significato. Il processo passa da un'associazione cross-modale, che va dalla causalità materiale del mondo fisico, fino all'informazione del segnale verbale, culminando nella parola quando la ripetizione gesto-fonazione si diffonde sulla scala sociale, diventando

normativa. È un processo di exaptation dove le strutture vengono rifunzionalizzate e i circuiti neurali, originariamente e intrinsecamente motori, vengono riutilizzati.

Il punto centrale è che la vita di gruppo plasma il tipo di informazione, e quindi la qualità delle contingenze sensorimotorie a cui i cervelli sono esposti: la vita di gruppo promuove un certo mondo fisico nel quale il cervello vive e a cui si adatta con i suoi meccanismi predittivi. Questo è vero filogeneticamente quanto ontogeneticamente.

4.2.2 Dal gesto alla pratica condivisa

All that needs to be assumed is that normally developing participants in such practices are already set up, nonaccidentally, to target and tune into the expressively rich intentional attitudes of others. (Hutto & Myin, 2017, p.140)

Il gesto, movimento ottimizzato nella ricorsività d'azione tra due agenti, costituisce una proto-pratica. Cosa manca al gesto per divenire pratica sociale? La diffusione su larga scala. Per permettere ciò devono già essere predisposti, oltre ad una somiglianza corporea, una serie di strutture adattatesi ad attivarsi in relazione ad azioni dirette ad uno scopo. A corroborare queste visione, le neuroscienze hanno fatto luce sul fatto che l'osservazione e l'esecuzione di un'azione condividono l'attivazione del sistema motorio (Molenberghs et al., 2012; Moriuchi et al., 2017; Ruffino et al., 2017). Grazie alle scoperte degli ultimi trent'anni siamo sempre più vicini al comprendere capacità quali il riconoscimento, l'empatia, l'azione condivisa, e quanto queste scaturiscano in larga parte dall'ottimizzazione neurale dei pattern sensorimotori modellati dalle interazioni tra conspecifici, a tal punto da creare catene di network neurali a doppia trasmissione (feedback e feedforward). Proprio dall'applicazione del *Predictive Processing Framework* arrivano i modelli neurofunzionali più approfonditi per la spiegazione del *mirror system*. L'idea è che l'informazione visiva venga elaborata nel momento stesso in cui viene trasmessa da connessioni in avanti lungo il sistema specchio da programmi di basso livello degli atti motori a programmi di alto livello delle intenzioni che sottendono l'azione. L'osservazione di un'azione determina

l'attivazione di neuroni nel solco temporale superiore, che stimolano l'attività del lobulo parietale inferiore, che a sua volta stimola l'attività dell'area premotoria ventrale (Kilner et al., 2007; Urgen & Miller, 2015). Tale modello ha ricevuto, e continua a ricevere, buone prove sperimentali (Kilner et al., 2004; Saygin et al., 2012; Maranesi et al., 2014; Bonini et al., 2014). L'esperienza sensorimotoria modula i network neurali in un modo tale per cui modelli di alto livello vengono a generarsi in virtù delle invarianze esperite dall'agente, che poi modulano con sempre più raffinatezza le informazioni in entrata generando errori di predizioni che, nello scambio ricorsivo di informazione, cambiano i pesi dei nodi della rete, per ridurre al minimo l'errore e aggiornare i modelli interni. Ulteriori conferme in questo senso arrivano dall'individuazione di diverse classi di neuroni specchio: i neuroni specchio reattivi e predittivi (Maranesi et al., 2014). Applicato all'osservazione dell'azione: creato un modello interno, all'osservazione della cinematica del corpo diretto all'azione si attiva in noi l'intero programma motorio in maniera predittiva e, a seconda dello scarto tra l'azione osservata e l'azione predetta, il modello verrà aggiornato, e dunque il programma motorio ad esso agganciato. Ne consegue che la causa dei comandi motori, dell'obiettivo, e quindi dell'intenzione dell'agente osservato è direttamente e costantemente stimata a partire dai soli input visivi iniziali.

Questa struttura, unita alla specificità dei corpi in azione che determina le caratteristiche del segnale, costituisce la condizione di possibilità del gesto. Una volta acquisito il gesto, questo si riversa a cascata nella comunità dei conspecifici proprio per la sua efficacia quale segnale ottimizzato.

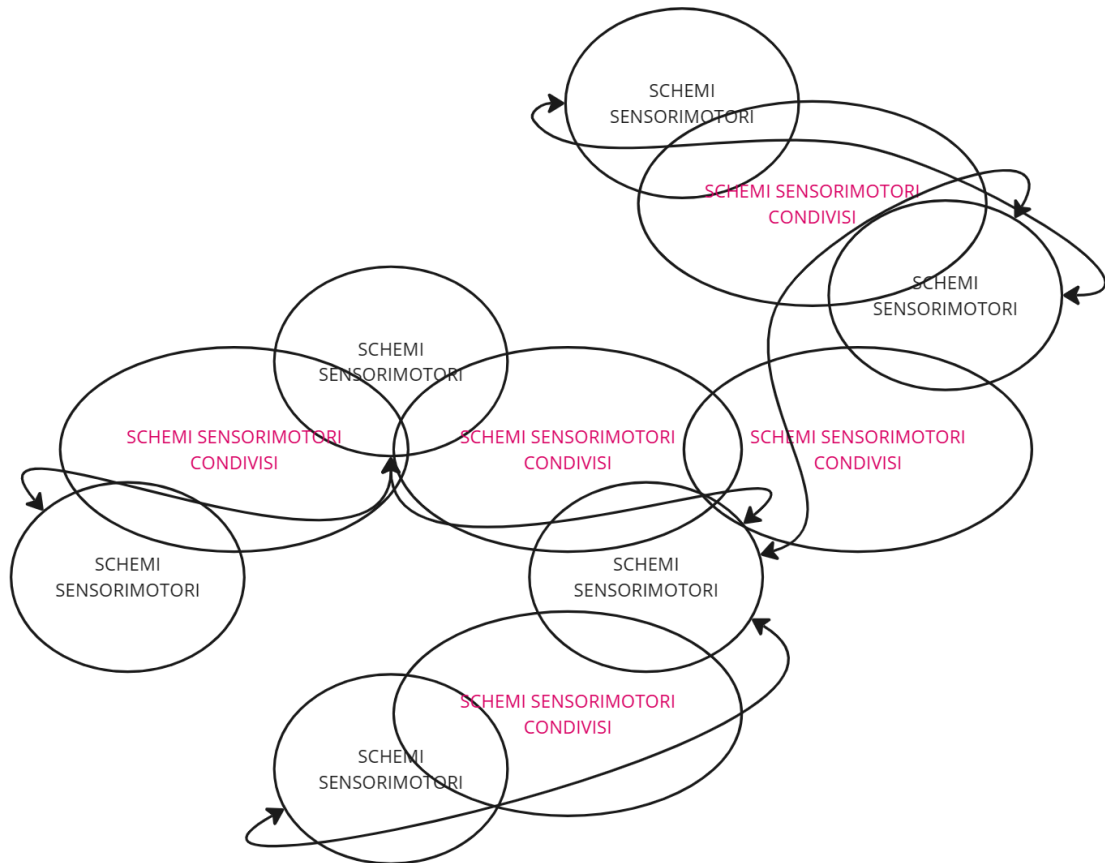


Figura 10. Gli schemi sensorimotori condivisi, dalle contingenze dell'interazione tra due agenti ottimizzate sul piano prima neurale e corporeo e poi comportamentale, si diffondono nella comunità quali pratiche sensorimotorie condivise.

L'istituzione di pratiche sensorimotorie aumenta il grado di informatività interno al sistema, cioè il gruppo all'interno del quale gli individui interagiscono. Nell'ottimizzazione, il segnale si libera progressivamente dai vincoli più dispendiosi: il gesto motorio si accompagna al segnale vocale, il segnale vocale si fa modello autonomo e diventa pratica esso stesso, e si libera dalla necessità del gesto. Ciò crea la possibilità per l'espansione del gruppo, in virtù di un'ottimizzazione della comunicazione, che ne permette l'assimilazione. La condivisione di pratiche sensorimotorie comuni diventa il distinguo tra comunità differenti.

La letteratura, dalle neuroscienze alla psicologia sociale, è cosparsa di prove che sottolineano il ruolo fondativo del sensorimotorio nella vita di gruppo. La ricerca sulle nostre capacità imitative rileva che imitare un movimento costituisce un compito più

semplice rispetto che rispondere a uno stimolo simbolico, ad esempio un'istruzione verbale (Brass et al., 2000). Imitare l'altro è talmente facile e attraente per noi che Chartrand e Lakin hanno proposto di parlare di *ideomotor theory*, *chameleon effect* o mimetismo motorio, per definire la tendenza che due persone hanno ad imitarsi vicendevolmente durante un'interazione, senza che ne siano coscienti o ne abbiano intenzione (Lakin et al., 2003; Lakin & Chartrand, 2003; Lakin et al., 2008; Chartrand & Lakin, 2013; Cracco & Brass, 2018), e ciò potrebbe essere letto alla luce della nostra specializzazione a carpire e creare schemi motori condivisi. «L'evidenza empirica suggerisce una relazione bidirezionale tra la mimica non consapevole, da un lato, e la simpatia, il rapporto e l'affiliazione, dall'altro. In altre parole, la mimica non conscia crea affiliazione e l'affiliazione può essere espressa attraverso la mimica non conscia³⁸» (Lakin et al., 2003, p. 145). Ingaggiare imitazioni alla ricerca di invarianze è un'operazione che gli agenti mettono in atto automaticamente, ed è correlata all'affiliazione: in questo senso, la pratica sensorimotoria condivisa determina sia l'appartenenza ad un gruppo (l'essere rilevato quale membro dell'ingroup), sia la vicinanza tra i membri dello stesso gruppo. Le persone imitano gli altri anche quando ciò compromette la buona riuscita di un compito (Brass et al., 2000; Stürmer et al., 2000; Kilner et al., 2003), mettendo in evidenza l'immediatezza e l'involontarietà della nostra capacità imitativa, che difficilmente riesce ad essere controllata (Moors & De Houwer, 2006; Heyes, 2011). Ci sono inoltre alcune evidenze che indicano una correlazione tra imitazione automatica e grado di empatia (Müller et al., 2013; E. E. Butler et al., 2016), mentre risulta evidente il suo ruolo di facilitatore delle interazioni sociali (Gallese, 2007; Wang & Hamilton, 2012; Stel et al., 2016). A supporto dell'importanza dei vincoli biologici nella possibilità d'imitazione, è stato riscontrato che l'imitazione automatica è un processo fortemente determinato, oltre che dai movimenti, dalla compatibilità degli effettori (Cracco et al., 2018). Cracco e colleghi hanno dimostrato, in due differenti lavori (Cracco et al., 2015; Cracco & Brass, 2017), l'impatto che il numero di agenti osservati ha sull'imitazione automatica, rilevando risposte imitative più forti all'osservazione di due mani di differenti individui eseguire

³⁸ Traduzione dell'autore.

un'azione, piuttosto che di due mani appartenenti allo stesso individuo, dando forza all'idea che il sistema motorio e il tratto corticospinale (Cracco et al., 2016) configurino pattern sensorimotori in relazione non solo all'altro, ma anche a interi gruppi, denotando una maggiore tendenza dei soggetti degli esperimenti a imitare azioni di gruppo rispetto a quelle individuali (Tsai et al., 2011; Ramenzoni et al., 2014). Infine, molte ricerche hanno rilevato che la sincronizzazione motoria all'interno di un gruppo porta a conseguenze sociali positive: Cohen e colleghi (2009), studiando l'allenamento sincronizzato in un equipaggio di canottaggio, rilevano che questo crea un aumento di endorfine rispetto a un regime di allenamento simile svolto individualmente; Reddish, Fisher e Balbulia (2013) dimostrano come percepire la sincronia in presenza di un obiettivo condiviso rafforza le tendenze cooperative del gruppo, similmente a quanto scoperto qualche anno prima da Wiltermuth e Heath (2009) che, in tre differenti esperimenti, correlano il grado di sincronia delle azioni congiunte con l'aumento della cooperazione, rafforzando il legame sociale anche indipendentemente dalla generazioni di emozioni positive.

4.3 La rappresentazione e la sua genesi sociale

Suggeriamo che questo modo di conoscere, intendendo il nostro ambiente principalmente come uno spazio sociale costituito da potenziali interlocutori, continui a essere il nostro modo pervasivo di dare senso al mondo. (Schilbach et al., 2008)

In questo paragrafo è indagata l'ipotesi secondo la quale il modo di intrattenere schemi e relazioni sensorimotorie sociali e condivise a costituire la condizione di possibilità della creazione di senso, elemento distintivo della rappresentazione mentale. In questa direzione, sono paradigmatici gli esperimenti nei quali figure geometriche astratte con pattern di movimento paragonabili a quelli umani sono sufficienti a suscitare interpretazioni di senso sociale (Castelli et al., 2004; Heider & Simmel, 1944; Santos et al., 2008).

Una chiave interpretativa che ha ricevuto molte conferme empiriche nella psicologia dello sviluppo riguarda la questione dell'emergenza del sé attraverso l'interazione con gli altri (Rochat & Striano, 2002; Newen & Vogeley, 2003; Meltzoff, 2007; Schilbach et al., 2008). Alla base di tale interpretazione vi è l'importanza evolutiva del contesto sociale della rappresentazione del sé e gli indicatori di un comportamento innato dell'essere umano a rivolgere l'attenzione verso indizi sociali già dai primi momenti di vita (Meltzoff & Moore, 1997; Trevarthen & Aitken, 2001; Tomasello, 2020; Wei et al., 2021).

In *A Radical Enactivist Approach to Social Cognition*, Paolucci (2020) espone un punto di vista che esclude la necessità della rappresentazione per la cognizione sociale, ribaltando il paradigma mentalista: è la cognizione sociale ad essere necessaria per la mentalizzazione, e non viceversa.

Instead of being the condition of possibility of social cognition, mindreading can be thought as an effect of social cognition that develops starting with embodied interactions. (Paolucci, 2020, p. 60)

Mettere la cognizione sociale prima del *mindreading* è un'inversione del ragionamento che abbiamo visto essere accolto dalla quasi totalità degli studiosi della mente embodied, anche se non vi è un accordo puntuale sulla descrizione di cosa sia la cognizione sociale in sé, e quali le sue componenti minime.

Elisabeth Spelke si pone a metà tra chi sostiene che la mente umana possiede un solo meccanismo flessibile di scoperta delle regolarità dell'esperienza, e chi invece sostiene una specializzazione plurale per affrontare differenti sfide dell'organismo nel mondo. Lo fa postulando una cognizione umana basata su cinque sistemi di rappresentazione (Spelke & Kinzler, 2007): la conoscenza degli oggetti e dei loro movimenti, degli agenti e delle loro azioni mirate, del numero e delle operazioni aritmetiche, dei luoghi del tracciato navigabile e delle loro distanze e direzioni reciproche, e delle forme geometriche. La posizione di Spelke è interessante perché pone la cognizione sociale tra le componenti di base della cognizione umana, ma configurandola già in maniera rappresentazionalista. Nel paper citato, che prende il nome della sua più celebre teoria della *Core Knowledge*, Spelke passa in rassegna gli indizi sperimentali che

confermano l'innatismo dei cinque sistemi rappresentazionali, e nello stesso paper afferma l'erroneità sia degli approcci che tentano di far risalire le capacità cognitive da una sola componente di base, sia di chi ne postula molte:

We believe its research has shown that both these views are false: humans are endowed neither with a single, general-purpose learning system nor with myriad special-purpose systems and predispositions. Instead, we believe that humans are endowed with a small number of separable systems of core knowledge. New, flexible skills and belief systems build on these core foundations. (Spelke & Kinzler, 2007, p. 89)

Il problema, così come esposto da Spelke, risulta fuori fuoco sul piano evuzionista, in quanto non sembra tener conto delle scale temporali filogenetiche. Più che affermare che entrambi i punti di vista siano falsi, sembrerebbe più corretto sostenere che entrambi i punti di vista siano veri. Attenendoci agli studi sulla comparsa della vita sulla terra, non possiamo che constatare la radice comune, risalente a più di 3,5 miliardi di anni fa, di tutte le forme di vita (Pievani, 2017). L'evoluzione è un percorso graduale fatto di prove ed errori che dai batteri e dalle cellule procariote ha portato ad organismi complessi formati da tessuti organizzati di cellule eucariote, con alcune accelerazioni e colpi di scena degni della stocasticità che contraddistingue l'evoluzione. La cognizione umana, in quanto frutto di questo processo, può essere letta nelle sue componenti minime, e quindi tentando di estrapolare una radice comune dalla pletora di facoltà cognitive che ci contraddistinguono, oppure essere indagata da uno stadio filogeneticamente avanzato, ponendo così gli assiomi della cognizione in maniera arbitraria. Se seguiamo questo discorso, non risulta chiaro il perché non si possano configurare i cinque pilastri di Spelke sotto l'unica facoltà di riconoscimento delle regolarità del mondo, declinata sotto cinque aspetti differenti. Difatti, questo è ciò che è stato fatto nel presente lavoro, cercando di rendere conto di come i sistemi sensorimotori potessero incamerare contingenze creando differenti modelli, tutti governati da un *Protocollo di informazione sensorimotorio*. Sarebbe in questo senso più utile tracciare linee comparative di presenza di queste conoscenze negli altri

animali, per supporre una eventuale demarcazione filogenetica³⁹. Rimane però interessante ai nostri scopi l'evidenza proposta da Spelke di una rilevanza cruciale sul piano ontogenetico (quindi focalizzato sullo studio dello sviluppo nell'arco della vita dell'essere umano odierno) della conoscenza sociale umana (Spelke & Skerry, 2013), che potrebbe essere riletto sotto una luce enattivista, illuminandoci sulla discriminazione di quali invarianti sensorimotorie risultino particolarmente impattanti nella vita del bambino, sin dalla sua nascita.

È interessante notare che i bambini, già dai primi tre-sei mesi di vita, sono ottimi discriminatori di volti, ma che quest'abilità non è selettiva per i volti umani, confermandosi anche relativamente a volti animali (Pascalis et al., 2002; Di Giorgio et al., 2012) mentre, con il passare del tempo, tale abilità aumenta per i volti dei conspecifici rispetto ai volti degli altri animali (Pascalis et al., 2005). Questi esperimenti danno contezza di quanto sia instabile una lettura innatista della cognizione sociale, e quanto invece questa sia dipendente dalle caratteristiche sensorimotorie e all'esposizione ad esse nel tempo. Ne derivano alcuni elementi precoci (la salienza dei volti) e altri determinati dall'esposizione (la predilezione per i volti umani): leggere questa evoluzione sotto la lente sensorimotoria permette di derivare una matrice comune ancorata al corpo e allo sviluppo delle strutture cerebrali in chiave incarnata. Differentemente, suddividere in step ontogenetici rilevando la comparsa delle abilità sociali pecca di saltazionismo ontogenetico e parzialità teorica, utile sul piano sperimentale ma limitata sul piano speculativo. A ulteriore conferma della radice sensorimotoria della socialità, i bambini di 3-4 mesi sono capaci di identificare volti umani in movimento molto meglio rispetto ad una condizione di esposizione statica: nella prima condizione sono necessari 30 secondi di familiarizzazione con un volto precedentemente sconosciuto per avere successo nel

³⁹ Cosa alla quale Spelke dimostra di essere più attenta nei suoi studi più recenti (Spelke, 2022), cercando di rintracciare un punto di unione delle proprietà di conoscenza di oggetti, luoghi e numerosità nella storia evolutiva degli organismi (*They are different facets of a single kind of cognitive system.* – p. 190). Come conseguenza, Spelke invita alla cautela sull'innatezza dei sistemi *core* (“non includo l'innatezza come proprietà del sistema numerico, nonostante l'evidenza di rappresentazioni amodali delle grandezze numeriche nei neonati umani. L'innatezza del sistema numerico di base è difficile da determinare, perché si applica a insiemi di entità diverse, compresi probabilmente i suoni e i movimenti della madre che i feti sperimentano nel grembo materno.” – *ivi* – Traduzione mia).

riconoscimento, contro i 90 secondi nella condizione statica (Otsuka et al., 2009). Inoltre, quando ai neonati umani vengono presentate immagini di volti di scimmie, accompagnate da nomi specifici e contesti sociali, essi conservano la capacità di percepire le differenze configurazionali tra un volto di scimmia e l'altro. Invece, se ai bambini vengono mostrate le stesse immagini senza alcuna identificazione nominale o contesto sociale, la loro abilità di riconoscere i volti di scimmie si riduce. Questo fenomeno si verifica anche nei bambini che non hanno avuto una sistematica esposizione ai volti di scimmia, come riportato dagli esperimenti di Scott e Monesson (2009; 2010).

Ne consegue che, se l'attenzione per i volti si dimostra essere una caratteristica innata⁴⁰, i cambiamenti nella percezione dei volti sono modulati dall'esperienza sociale. Sulla base di questi risultati, Spelke ipotizza che i neonati siano dotati di un sistema di base per rappresentare i loro partner sociali come esseri che sperimentano stati di attenzione e di emozione come i loro, e che condividono le loro esperienze con il neonato e tra di loro, negli stati di impegno sociale. Alla luce delle teorie enattiviste sensorimotorie delle quali si è qui restituito contezza, sembra più appropriato mostrare cautela rispetto al denotare di rappresentazionalità tali abilità. Se equipariamo la rappresentazione ai modelli interni di stampo enattivista, sostengo che non ci siano differenze sostanziali tra la posizione di Spelke e quelle enattiviste di Di Paolo e colleghi. Se invece, come ritengo più utile, facciamo coincidere la rappresentazione con l'immagine mentale manifesta, e dunque con la capacità di comprensione dennettiana, siamo costretti a respingere con forza il rappresentazionalismo di Spelke: basta la competenza sensorimotoria a spiegare le capacità minime della *Core Knowledge*.

Tornando ai dati sperimentali e guardando in maniera più generale, possiamo sostenere senza molti dubbi che la relazione con gli altri si dimostra essere un bisogno innato (Cacioppo & Patrick, 2008), tanto che è possibile individuare un sistema omeostatico atto a mantenere la connessione con i conspecifici, una predisposizione adattativa che

⁴⁰ Sarebbe decisamente interessante capire, anche in questo caso, quanto questo innatismo sia dovuto al fatto che il neonato è, nella quasi totalità dei casi, direttamente esposto alla percezione sensorimotoria di un conspecifico sin dai primi secondi post-parto.

fornisce la spinta motivazionale alla conservazione dei contatti sociali e dunque alla prevenzione delle conseguenze negative dell'isolamento (Eisenberger & Cole, 2012). È una dinamica che ricorda i meccanismi di feedback negativo dell'omeostasi fisiologica, che può essere individuata sin fino al sul piano neurologico (Matthews & Tye, 2019).

In virtù di quanto detto, proviamo ora ad andare nel senso opposto rispetto a Spelke, per ritrovarci sul piano della rappresentazione: l'importanza delle contingenze sensorimotorie condivise, definite quali capacità di cognizione sociale minima, determina nell'essere umano una permanenza avvertita dell'informazione cognitiva che è la cifra distintiva della rappresentazione mentale.

Questa è un'idea che non troviamo nell'enattivismo sensorimotorio di Di Paolo e colleghi ma, in maniera forse paradossale, è rintracciabile, sotto una differente forma, nell'enattivismo radicale di Hutto e Myin:

It is a multi-storey story, one that centrally involves special sociocultural platforms and constructions that enable new forms of cognition. Nevertheless, it is possible to explain how the platforms came to be and how they make those new forms possible without gaps. REC⁴¹'s tale is one of cognitive niches and how they scaffold more basic minds to introduce novel cognitive features and capacities. The REC assumption is that sociocultural practices introduce something genuinely new and qualitatively distinct into the cognitive mix. Through their acquaintance with culture, some cognitive creatures acquire the capacity to think about the world in wholly new ways. Through mastering what are for them novel practices, they become capable of new forms of thinking of a unique kind. [...] It enables enactivists and others to make a clean and radical break with intellectualist ways of thinking about the basis of cognition and opens up the logical possibility of explaining contentful states of minds as part of entry into sociocultural practices. (Hutto & Myin, 2017, pp. 137-139)

Sorprendentemente, l'approccio radicale non esclude stati mentali dotati di contenuto. I due filosofi continuano come segue:

⁴¹ REC sta per *Radical Embodied Cognition*.

Beyond this, for the sociocultural emergence of content, we need to assume that our ancestors were capable of social processes of learning from other members of the species, and that they established cultural practices and institutions that stabilized over time. [...] As a baseline, all that is required is that basic minds can target and respond to certain things in ways relevant for learning various tasks from their fellows. [...] There is no reason to suppose that the cognition at play in such social engagements and interactions must be grounded in representationally based rules of any kind. Rather, all that needs to be assumed is that normally developing participants in such practices are already set up, nonaccidentally, to target and tune into the expressively rich intentional attitudes of others. (ivi, p. 139-140)

Il contenuto, il senso e il significato, emergono socioculturalmente. All'instaurarsi di un particolare tipo di norme sociali, che a loro volta dipendono dalle pratiche che implicano l'uso di sistemi simbolici condivisi, si va formando un'*ecologia cognitiva* (Sutton, 2015) che dona processi mentali contenutistici proprio in virtù di pratiche normative che necessitano di essere oggettivizzate, quindi astratte dal piano sensorimotorio per diventare regolatorie di quello stesso piano.

Sul fronte degli studi comparativi, l'approccio allo studio della socialità si concentra molto nel confronto tra le capacità sociali umane e quelle delle grandi scimmie. Per Tomasello e colleghi (2005) ciò che ci distingue in quanto umani è la capacità di tracciare attività collaborative condividendo obiettivi e intenzioni. Abbiamo già visto il buon grado di accordo che la posizione del lavoro che state leggendo condivide con Tomasello, mentre ne abbiamo criticato la scarsa attenzione che pone nella differenza che intercorre tra simulare e rappresentare, e la riformulazione in chiave sensorimotoria e predittiva della "lettura delle intenzioni altrui", appellandoci a Dennett per qualificare tale capacità nei termini di una *competenza*, non già di una *comprensione*. Quel che ora stiamo indagando è l'interpretazione di una traiettoria evolutiva che pone al centro della specie-specificità umana la capacità di intrattenere complesse trame sociali. In particolare, alcune posizioni sembrano suggerire tesi a supporto di una socialità precedente alla coscienza di sé (*self-awareness*). Questa concezione, che andiamo a riassumere e analizzare attraverso i risultati sperimentali,

andrebbe a corroborare l'ipotesi proposta da questo lavoro: la coscienza di sé, che possiamo catalogare quale vera e propria rappresentazione mentale, ovvero immagine manifesta e esempio di *comprensione* dennettiana, diverrebbe un'utile capacità emersa per monitorare e regolare la propria immagine (e quindi i segnali emessi dal sé!) rispetto alla normatività del gruppo che, nell'interpretazione di questa tesi, ha reso possibile quell'intelligenza machiavellica caratteristica della nostra specie.

Per capire se un bambino o un animale non umano abbia concezione di sé, Gordon Gallup ideò, negli anni '70, un originale protocollo sperimentale chiamato *mark test*: i soggetti da testare venivano "marchiati" a loro insaputa sul volto, e poi venivano esposti alla propria immagine riflessa su uno specchio. Rilevare il marchio utilizzando lo specchio avrebbe significato riconoscere se stessi nell'immagine osservata, dimostrando così di possedere una rappresentazione mentale del proprio volto, e quindi del sé (Gallup, 1970).

Dagli studi inizialmente condotti sugli scimpanzé emergeva che, in un primo momento, essi tendevano a rapportarsi con il loro riflesso come fosse un conspecifico, mentre dopo qualche giorno iniziavano ad avere comportamenti autodiretti. Questa capacità si è poi riscontrata anche nei bonobo e negli orango (Suarez & Gallup, 1981; Walraven et al., 1995; Westergaard & Hyatt, 1994) e sparuti segni non molto convincenti nei gorilla (Swartz & Evans, 1994; Nicholson & Gould, 1995; Posada & Colell, 2007; per una review: Murray et al., 2022), mentre non sembra essere presente negli altri primati (Lethmate & Ducker, 1973; Gallup, 1979; Ledbetter & Basen, 1982; per una review: Anderson & Butler, 2021).

Indizi interessanti emergono studiando l'età di insorgenza del riconoscimento di sé. Inizialmente suggerita a venti mesi negli scimpanzé (S. Hill et al., 1970), è stata poi allungata a ventiquattro-trentasei mesi negli scimpanzé (Calhoun & Thompson, 1988; Lin et al., 1992; Povinelli et al., 1993) per poi essere nuovamente ridotta: Inoue-Nakamura (2008) ha concluso che i segni di superamento del *mark test* possono essere osservati a partire dall'età di diciotto mesi negli scimpanzé ad ampia esposizione allo specchio. In questo primate, il successo del riconoscimento è anche inversamente

proporzionale all'età dell'esemplare, con una progressiva perdita della capacità con l'avanzare dell'età (de Veer et al., 2003).

Negli anni '10 del ventunesimo secolo si è andata confermando l'idea secondo la quale, tra i primati, fossero essenzialmente solo le grandi scimmie, oltre all'uomo, a mostrare chiari segni di autoriconoscimento, (J. R. Anderson & Butler, 2021), mentre per le altre scimmie si andava consolidando l'evidenza che esse trattavano l'immagine riflessa come un altro, e non come sé, attuando (prima dell'effetto abitudine) molteplici comportamenti sociali (Bayart & Anderson, 1985; Anderson, 1994), o attenuando le conseguenze negative della solitudine quando presente lo specchio (Anderson & Chamove, 1986).

Recenti studi hanno intensificato l'esplorazione delle differenze neuroanatomiche tra le grandi scimmie e le scimmie minori (Butler & Suddendorf, 2014). È così andato evidenziandosi che gli scimpanzé con maggiore tendenza a riconoscere sé stessi in uno specchio presentano una connettività più accentuata nei circuiti frontoparietali, gli stessi coinvolti nel riconoscimento di sé negli esseri umani (Hecht et al., 2017). Hopkins, Latzman, Mahovetz, Li e Roberts (2019) hanno individuato una correlazione tra il superamento del *mark test* e lo spessore corticale in varie aree del cervello, in particolare nelle regioni cingolate, temporali superiori e frontali. Si è anche notato che le variazioni individuali nella capacità di auto-riconoscimento negli scimpanzé possono essere parzialmente attribuite a un polimorfismo nel gene AVPR1A, associato a funzioni sociali e cognitive (Mahovetz et al., 2016) in modo indiretto: una maggiore concentrazione di recettori per la vasopressina nei maschi di scimpanzé determinerebbe una probabilità di risposta aggressiva maggiore alla visione di un volto, che impedirebbe quell'esplorazione sensorimotoria utile a riconoscere la sincronità visuo-tattile necessaria al riconoscimento. Secondo le ricerche attuali, la ricostruzione filogenetica suggerisce che la capacità di riconoscimento di sé sia stata trasmessa attraverso tutte le specie di grandi scimmie da un antenato comune, esistito dopo la divergenza dalle moderne scimmie minori e prima della divisione che ha dato origine agli oranghi moderni (Suddendorf & Collier-Baker, 2009). In realtà, sparuti casi di superamento del test del marchio si sono osservati anche negli elefanti (Plotnik

et al., 2006) e nei delfini (Reiss & Marino, 2001). Seguendo questi dati si chiarisce dunque la stretta correlazione che intercorre tra la capacità di auto-riconoscimento e l'alto grado di socialità della specie animale in oggetto.

Nei bambini i primi segni di auto-riconoscimento allo specchio sono osservabili a partire dai 18 mesi (Nielsen et al., 2006; Broesch et al., 2011). Più che per l'età, che risulta avere una variabilità individuale abbastanza larga, è interessante interpellare la componente sociale nel superamento del *mark test*. Ad esempio, nello studio di Lewis e colleghi (1989) su bambini di età compresa tra i nove e i ventiquattro mesi, si dimostra che la sensazione di imbarazzo è correlata al riconoscimento di sé, a differenza della paura. Ciò implica che la rappresentazione di sé è fortemente proiettata e modulata in funzione relazionale: attraverso la nostra apparenza veicoliamo segnali eminentemente sociali, e un maggior controllo sulle nostre espressioni si costituirebbe come un vantaggio adattivo. Ritengo infatti che l'immagine di sé, intesa quale rappresentazione mentale, sia utile soltanto in ottica sociale, e in questo senso deve essere ricercata la sua emersione quale capacità umana. Nella stessa direzione i risultati dell'esperimento di Rochat, Broesch e Jayne (2012), nel quale sono stati disegnate due procedure sperimentali del *mark test* leggermente differenti: in una, i bambini venivano marchiati a loro insaputa, e poi esposti alla propria immagine allo specchio in presenza dello sperimentatore e della madre; nell'altra si ricomponeva la stessa condizione, con la sola variazione di apporre il marchio anche sul volto della madre e dello sperimentatore. I risultati mostrano che i bambini del secondo gruppo, quello con il "marchio condiviso", mostrano una significativa esitazione nel rimuovere il marchio, toccandolo senza rimuoverlo o addirittura, in alcuni casi, rimettendolo dopo esserselo tolto. Nel primo gruppo, solo un bambino ha mostrato esitazione. Gli sperimentatori leggono questo comportamento come sintomatico dell'autocoscienza umana e della capacità di simbolizzazione (Bard et al., 2006), che dunque sarebbe costituita in seno all'importanza di un sé collocato socialmente.

Concludo questo ultimo capitolo con una riflessione di carattere più generale. Alla luce dei dati riportati, la stretta correlazione tra socialità e riconoscimento di sé sembra

sostenere l'ipotesi di una rappresentazione del sé funzionale alla vita di gruppo. Difatti, possedere un'immagine manifesta del proprio volto permette all'individuo un maggiore controllo dei segnali comunicativi, capacità chiave nei contesti sociali, in ottica persuasiva. La persuasione è una componente fondamentale sia per la cooperazione che per la competizione, in quanto essenziale per la motivazione al perseguimento di un obiettivo di gruppo, ma anche come strumento di evitamento della sanzione sociale, elemento di diminuzione della fitness individuale.

Davanti alla confusione sul ruolo e sulla definizione della rappresentazione mentale (Riegler et al., 1999; Ramsey, 2007; de Vignemont, 2007; G. Ferretti, 2016b; Schlicht, 2018; Bianchi & Castiello, 2023; A. Borghi, 2023) le scienze cognitive devono fermarsi a ricalibrarne i parametri definitivi. In questo lavoro ho fornito una problematizzazione del carattere della rappresentazione, argomentando che il problema che scaturisce nel fare a meno di una rappresentazione non è tanto quello di non poter spiegare aspetti complessi o di alto livello della cognizione, o ancora rendere conto degli aspetti "offline". Questi aspetti sono spiegabili tramite raffinati gradi di competenza neurale che utilizza l'esperienza del corpo per catturare invarianze sensorimotorie e riutilizzarle al fine di prevedere i feedback dell'ambiente, così da reagire il più velocemente possibile quando l'informazione ricevuta non collima con quella aspettata. Ciò che realmente non possiamo spiegare senza fare ricorso alla rappresentazione è il livello sociale, talmente importante per l'essere umano da determinarne il *sensu di sé*. Non esisterebbe nessun senso di sé senza schemi sensorimotori condivisi in una specie dotata di comportamento flessibile, e nessun bisogno di attuare questa rappresentazione prototipale. Il linguaggio, in quanto specifica facoltà di comunicazione, è intrinsecamente sociale, e la sua genesi non è giustificabile senza una socialità precedente. Il passo oltre è capire che molte facoltà specie-specifiche sono emerse in virtù della capacità di rappresentazione, e che queste, oltre ad essere patrimonio della specie, lo sono anche dei singoli individui. Se la rappresentazione mentale ha la sua genesi nella socialità, ciò non significa che questa non sia una facoltà individuale. Difatti, lo è, e aumenta enormemente le potenzialità della nostra cognizione aiutando a generare permanenze informative di straordinaria efficacia, e sulle quali è possibile attuare elaborazioni mentali con un altissimo grado

di ricorsività (ciò che viene chiamata *riflessività*). Ciò non toglie che la ragione per la quale si annovera tra le nostre capacità cognitive è una ragione essenzialmente sociale.

Configurando una rappresentazione mentale con la caratteristica fondamentale di essere condivisa, evitiamo sovrapposizioni definitorie, accogliamo le tesi enattiviste sulla cognizione minima ma finalmente denunciando la necessità di predisporre invarianze normative quali elementi essenziali della rappresentazione, e quindi della cognizione umana. Dalla competenza biologica di autondividuazione dei sistemi organici arriviamo alla comprensione di noi stessi senza soluzione di continuità naturalistica, potendo individuare finalmente la cognizione sui suoi molti livelli. Partendo dai primordi della vita cooperativa umana, i cui individui sono dotati di capacità comunicative e comportamentali flessibili, postuliamo la rappresentazione quale strumento cognitivo necessario a far apparire come un vincolo esterno (normativo) un vincolo interno (sensomotorio). Così, ad esempio, possiamo digiunare senza che vi sia effettivamente un'imposizione dell'ambiente, possiamo esprimere gioia in condizioni di disagio per evitare sanzioni dai nostri simili, possiamo immaginare storie per convincere i conspecifici a seguirci nella nostra strategia di riproduzione e sopravvivenza, tentando di aumentare le nostre possibilità di successo.

La divergenza più visibile con la teoria del contenuto sociale proposta da Hutto e Myin sostanzia nel fatto che, per questi ultimi, la mente dotata di contenuto è una questione solamente socioculturale, mentre nel lavoro che state leggendo la rappresentazione ha una filogenesi e una ontogenesi sociale, ma una volta acquisita diventa patrimonio dell'individuo. E in questo senso credo vada letta la capacità d'immaginazione, l'*imagery*.

Foglia e O'Regan propongono di basare l'immaginazione sull'esercizio della conoscenza dei pattern sensorimotori che occorrono nelle dipendenze tra input sensoriali e output motori.

Imaging a cup thus is to be currently making use of the fact that one is familiar with and poised to exercise (practical) knowledge of the general patterns of sensorimotor dependencies that are typical of a cup-type interaction, such as the fact that it looms large in the visual field when we physically approach it, and that

its hidden parts become accessible through potential exploratory movements. What one imagines, under this circumstance, does not depend on engaging an activity of looking at “nothing” by partly reproducing the perceptuo-motor behavior that would take place were the imaged object to be actually present, but it consists in being in a state of “attunement” to the sensorimotor laws that have been previously established (learned). (Foglia & O’Regan, 2016, p. 193)

Secondo gli autori, il processo immaginativo non è legato alla riproduzione parziale del comportamento sensomotorio che si manifesterebbe se l'oggetto pensato fosse realmente presente. Piuttosto, si basa sulla capacità di essere in sintonia con le leggi sensorimotorie già apprese. Questa armonia con una norma sensomotoria implica una predisposizione a riconoscere una familiarità acquisita con le modalità di cambiamento degli stimoli sensoriali in relazione a potenziali movimenti. Tale armonia, che suggerisce l'applicabilità di una regola simile a una legge, può esistere anche in assenza di movimento fisico e di stimolazione sensoriale effettiva. È importante notare che il tipo di sapere impiegato in questa armonizzazione è di natura implicita e pratica, non cognitiva. Durante un'esperienza immaginativa, non si attivano percezioni specifiche o un insieme limitato di eventi e condizioni, ma piuttosto si attiva la consapevolezza della potenziale applicabilità di una legge che descrive gli eventi equivalenti. Lo stato immaginativo si fonda sulla capacità di richiamare in ogni momento la conoscenza delle leggi che definiscono l'interazione tra movimento e percezione sensoriale.

Questo è un punto controverso, dato che proprio sul campo dell'*imagery* si gioca un'aspra battaglia sul tema della rappresentazione, e ciò che in definitiva distingue l'approccio sostenuto in questa tesi da quello dell'enattivismo radicale. Ho già evidenziato una differenza basilare tra simulazione e rappresentazione e, a differenza di quanto sostenuto da Barsalou (2016) e in accordo con Hesslow (2012), una priorità della prima sulla seconda. Questo ci permette di distinguere anche la rappresentazione dalla predizione, utilizzata largamente nel *Predictive Processing account*, dunque evitando una “scivolosità” del termine (A. Borghi, 2023) che le scienze cognitive devono superare. Ma, allo stesso tempo, individuo nell'esercizio dell'immaginazione, capacità cognitiva di cui gli umani sono evidentemente capaci, il pieno dominio della

rappresentazione mentale, in virtù di una persistenza dell'informazione che si configura quale immagine manifesta (Dennett, 2018), e che si è resa necessaria nel mondo sociale, data l'importanza delle pratiche sensorimotorie condivise nel regolare il comportamento individuale. Qui prendo le distanze da Foglia e O'Regan e dall'enattivismo radicale, affermando che il sensorimotorio è sicuramente condizione necessaria ma non sufficiente per l'immaginazione. Le altre condizioni necessarie, difatti, sono la presenza di un comportamento flessibile e l'attuazione di pratiche sensorimotorie condivise (quindi sociali) e ricorsive, messe in atto dagli agenti. A partire da ciò, a mio parere, possiamo meglio inquadrare la differenza, delineata inizialmente da Gallagher (1986) e de Vignemont (2007; 2007), tra la *body imagery*, ossia la parte di informazione sensoriale e le credenze relative al proprio corpo di cui siamo consapevoli, e il *body schema*, risultato di competenze sensorimotorie inconsapevoli, che costituisce la mappatura utile alla pianificazione e all'esecuzione delle azioni, e che entra in accordo con la separazione tra *competenza* e *comprensione* configurata da Dennett.

Basandoci su questo esempio, la domanda alla quale spero di aver risposto in questo ultimo capitolo è la seguente: a cosa serve una *body imagery* se già siamo provvisti di un *body schema*? La risposta è che attraverso la *body imagery* possiamo modulare i segnali del nostro corpo in ottica sociale, grazie ad una immagine manifesta che è il risultato di una persistenza informazionale sul quale il nostro cervello concentra la sua capacità di elaborazione in maniera più efficace ed ampliando il numero di passaggi ricorsivi attuabili su quella stessa informazione, laddove il *body schema* ci aiuta ad agire sul mondo fisico, piano sul quale è sufficiente una competenza sensorimotoria.

4.4 I vincoli della rappresentazione

In una riformulazione sensorimotoria della *Social Brain Hypothesis*, abbiamo affermato che la rappresentazione si origina a partire dalla sempre maggiore richiesta di un particolare tipo di persistenza di informazione radicata sul corpo in interazione: il

know-how sensorimotorio condiviso. Dotati di una struttura comune, i sapiens hanno approfittato dell'abilità di costituire analogie (Hofstadter, 2001) per partecipare ad un tipo di comunicazione flessibile basata sul corpo e sul movimento, per meglio cooperare con i membri dell'ingroup, coagulare gli interessi individuali in pochi ed essenziali interessi comuni e tentare di anticipare le mosse dei membri dell'outgroup. Si è così andata determinando una selezione di gruppo (Williams, 2017) che ha promosso i gruppi che esibivano una coesione interna più forte (Evans & Dion, 1991, 2012; Grossman et al., 2022), ovvero pratiche sensorimotorie che riuscissero a regolare con più efficacia i comportamenti degli individui cooperativi. Il grado di permanenza dell'informazione normativa all'interno del gruppo, permessa attraverso la reiterazione delle pratiche sensorimotorie condivise è, in questo senso, direttamente correlata al vantaggio cooperativo di un gruppo sugli altri gruppi prossimi territorialmente.

È evidente ma non realmente indicativo rilevare che la vita di gruppo è antecedente ad ogni espressione di una cognizione dotata di contenuto rappresentazionale⁴². Seppur costituendo un assunto troppo generale, esso è sicuramente rispettato: la vita di gruppo, nel contesto dell'evoluzione dei primati, è un fenomeno che risale a milioni di anni fa. Si ritiene che i primi antenati dei primati moderni abbiano vissuto in gruppi già 52-58 milioni di anni fa, durante il Paleocene e l'Eocene (Fleagle, 2013), mentre, se assumiamo la capacità di produzione di manufatti come indicatore di una permanenza cognitiva informazionale tale da costituire una prima prova certa di capacità di rappresentazione mentale, abbiamo un buon margine nel costatare che la più antica prova di "comportamento tecnologico", ad oggi, è datata intorno ai 3,3 milioni di anni fa (Harmand et al., 2015). Si riscontrano però, oltre ai mammiferi e agli uccelli (animali con alto grado di socialità e comprovata abilità nel modificare oggetti materiali per utilizzarli come strumenti), anche alcuni pesci, come i labridi, osservati ad utilizzare rocce come incudini per rompere i gusci di molluschi o granchi per accedere al loro interno (Jones et al., 2011), o i pesci arco, noti per creare "pistole ad acqua" sparando getti d'acqua per abbattere insetti fuori dalla propria portata acquatica

⁴² Per come è stato formulato il costrutto di rappresentazione in questo lavoro.

(Dewenter et al., 2017). Ciò rende difficile correlare il grado di socialità con il grado di manipolazione degli oggetti, dati due ordini di problemi: in primo luogo, definire la socialità per gradi appare un esercizio arbitrario, mentre parrebbe più accurato parlare di diverse forme di vita di gruppo e di interazione; in secondo luogo, per una abilità manipolatoria realmente rappresentazionale abbiamo bisogno di una conferma dell'astrazione del problema, e quindi di una risoluzione "offline" sempre aggiornata alla forma del problema contingente.

Per questo motivo risulta più rilevante agli scopi di questo lavoro applicare un'inversione del ragionamento: come abbiamo sostenuto, le caratteristiche della rappresentazione sono vincolate da parametri sensorimotori (il *protocollo di informazione sensorimotorio*), ma è utile chiederci come la rappresentazione vincola la cognizione, in particolar modo quella sociale. Tale ragionamento ci permette di definire la rappresentazione quale *exaptation*, delineando i parametri che danno forma alla nostra cognizione dotata di capacità rappresentazionali, per determinare infine il perché tale costruito sia, ad oggi, ancora necessario.

Partiamo dall'assunto formulato nei precedenti paragrafi: la rappresentazione nasce filogeneticamente e ontogeneticamente come rappresentazione condivisa, migrando da pratica sensorimotoria a simbolo astratto, informazionalmente sempre radicata sul corpo. Negli ultimi anni sta accelerando l'interesse per lo studio del processo di astrazione, e sono sempre di più le interpretazioni che fanno derivare questi processi cognitivi dall'interazione sociale (Tylén et al., 2010; Bahrami et al., 2010; Olsen & Tylén, 2022; A. M. Borghi et al., 2022). Nel processo di astrazione, si enfatizza il riconoscimento e la delineazione delle dimensioni organizzative essenziali, spesso occulte, di un fenomeno, relegando in secondo piano o omettendo del tutto i particolari meno rilevanti e accidentali. Questo meccanismo di astrazione ci permette di generalizzare le nostre esperienze e conoscenze, applicandole in modo versatile a diversi scenari, attraverso la mappatura delle loro analogie a un livello più elevato (ritorna la capacità di comporre analogie come elemento fondamentale della cognizione, come suggeritoci da Hofstadter). Tale capacità facilita l'adattamento e l'azione efficace in contesti nuovi o in ambienti in continuo cambiamento.

L'interazione costringe alla dissonanza cognitiva, e al conseguente processo di riparazione tramite negoziazione (Voiklis & Corter, 2012). Chiaramente, il linguaggio gioca un ruolo decisivo. Ad esempio, è stato riscontrato che l'etichettatura verbale delle categorie facilita i processi di astrazione (Lupyan et al., 2007; Lupyan, 2008), e questo è un risultato in pieno accordo con lo sviluppo naturalistico delineato in questa tesi: il linguaggio è già frutto di un processo di astrazione che parte dal movimento per arrivare alla prassi passando per il gesto (si veda il paragrafo 4.2). Come suggeriscono Olsen e Tylén (2022, p. 5) la condizione collaborativa ha due elementi centrali: la presenza del linguaggio e la presenza dell'interazione, ma ancora più in profondità rispetto al *claim* di Olsen e Tylén possiamo affermare che la presenza del linguaggio presuppone già la presenza dell'interazione: la cognizione sociale (in tutte le sue espressioni, compreso il linguaggio) è vincolata dalle regole dell'interazione, sebbene il linguaggio riesca a liberare l'interazione dall'utilizzo di alcune strutture corporee, efficientandone il decorso in svariati contesti. I gruppi determinano, nella loro continua negoziazione di prospettive, rappresentazioni ad un livello sempre maggiore di astrazione, resistenti alle variazioni e quindi più facilmente trasferibili a nuovi stimoli (Tylén et al., 2020; Goregliad Fjaellingsdal et al., 2021), ma il tipo di interazione determina il tipo e la qualità del processo di astrazione:

[...] social interaction facilitates human reasoning and problem-solving processes in ways that are qualitatively different depending on the nature and affordances of the interaction. In particular, we have argued that interaction can stimulate processes of abstraction when varied individual information is integrated and generalized across members of a group, facilitating the flexible transfer of experiences and knowledge between contexts. (Olsen & Tylén, 2022, p.7)

Mannella e Tummolini (2022) hanno condotto ricerche per identificare i meccanismi che potrebbero essere alla base della motivazione interna nella creazione dei concetti. Hanno proposto un modello computazionale che si basa su un segnale di coerenza sensomotoria interna dell'agente, derivante da molteplici modalità come la vista, il tatto, la propriocezione e l'azione. Secondo questo modello, l'emergere dei concetti implica un processo in cui diverse esperienze sensomotorie vengono mappate su uno spazio condiviso di bassa dimensione, facilitandone l'allineamento. Questa coerenza

interna assume un ruolo critico nella modifica dei concetti. In questa prospettiva, l'apprendimento dei concetti è visto come lo sviluppo di competenze tramite la convergenza progressiva, dove la memoria del sistema è interpretata come la riattivazione di stati all'interno dello spazio comune.

Per esplorare ancora più a fondo i modi in cui l'interazione sociale genera la rappresentazione e, di converso, come questa vincoli l'interazione a specifici modi che vanno a costituire la cognizione sociale “matura”, guardare alla psicologia dello sviluppo è, ancora una volta, operazione preziosa. Fu Piaget il primo studioso ad ancorare saldamente l'apprendimento dei bambini alle loro capacità d'interazione sensoriale e motoria con l'ambiente (Piaget, 1923, 1972a; Brainerd, 1978; Di Paolo et al., 2014). I due concetti chiave della teoria piagetiana sono *assimilazione* e *adattamento*: con il primo si identifica un processo attraverso il quale aspetti ambientali vengono catturati da un agente, generando una risposta accoppiata del sistema fisiologico o comportamentale dell'agente stesso; con il secondo si intende quel processo attraverso il quale l'agente impara ad interagire con successo con l'ambiente, facendo variare gli schemi di coordinazione sensorimotoria in modo adattivo rispetto al contesto. Unita alle teorie del costruttivismo vigotskyano, all'interno delle quali l'apprendimento avviene attraverso interazioni sociali con adulti più esperti o coetanei (*apprendimento mediato socialmente*), possiamo disvelare un profondo accordo tra l'acquisizione di capacità di astrazione, e dunque anche metacognitive, con lo sviluppo di competenze sensorimotorie condivise socialmente.

Tomasello (2019) evidenzia come lo sviluppo dell'essere umano sia caratterizzato da una nicchia ontogenetica cooperativa. Nella sua impostazione, assume importanza centrale il modo, unicamente umano, di creazione di una soggettività “oggettivata”, ossia un piano prospettico nel quale esiste, nella mente di ogni individuo, un Sé ed un altro rispetto al Sé configurato come “oggettivo” con il quale confrontare i parametri soggettivi. Le grandi scimmie e le altre specie animali non hanno un modo simile a quello umano di suddividere l'esperienza. Prendono il mondo per come appare a loro, senza confrontarlo con nient'altro. La loro comprensione del mondo non è integrata in un modo che porta alla distinzione tra il soggettivo e l'oggettivo. Per cogliere la

distinzione tra il soggettivo e l'oggettivo l'individuo deve saper triangolare una situazione condivisa con un altro individuo allo stesso momento. Per fare ciò, deve essere in grado di condividere l'attenzione triadicamente. Il percorso ontogenetico che porta il neonato a costituire questa capacità prende avvio da meccanismi innati ancorati a elementi strutturali, come il circuito specchio e il sistema limbico, che permettono all'infante di sollecitare l'attenzione e la cura dei *caregivers*: emozioni specie-specifiche e modi corrispondenti di esprimerle, con particolare rilevanza per le emozioni sociali espresse nel sorriso e nel riso sociale, che aumentano i legami sociali tra gli individui (Caruana & Borghi, 2016). Tra i 2 ei 9 mesi di età, nei bambini con sviluppo tipico, si assiste ad un costante aumento del tempo trascorso a guardare gli occhi degli altri. Verso i 6 mesi si consolida l'abilità di seguire la direzione dello sguardo altrui verso bersagli ravvicinati. Nel percorrere lo sviluppo delle capacità sociali appare evidente l'importanza che assume la continua esposizione del bambino ai conspecifici, e ai pattern sensorimotori che con questi può ingaggiare. Con la "rivoluzione del nono mese", quando gli infanti iniziano a interagire con gli altri in attività intenzionali per mezzo della capacità di attenzione congiunta, si va delineando un "Noi" che altro non è che l'affinamento di quel know-how condiviso che va rafforzandosi in virtù di un vantaggio reciproco (la cura e la protezione dalla parte del bambino, l'interesse per la sopravvivenza del proprio patrimonio genetico dalla parte dei *caregivers*, e tutti i comportamenti di corollario selezionati positivamente). Siamo ancora nella competenza senza comprensione: il bambino va rafforzando pratiche sensorimotorie sociali in virtù di una loro continua stimolazione e promozione. Al contrario di quanto sostiene Tomasello, se facciamo affidamento ad una prospettiva enattiva possiamo fare a meno di un "obiettivo congiunto" inteso in maniera rappresentazionale. È sufficiente la ricorsività del feedback positivo per innescare e affinare pratiche prosociali del livello che stiamo analizzando. I resoconti enattivisti possono spiegare aspetti dell'attenzione congiunta analizzando i flussi dinamici e le regolarità dei processi sensorimotori che si esprimono nelle attività degli agenti che agiscono congiuntamente (Maye et al., 2017). Per esempio, l'importanza dell'incontro e del mantenimento dello sguardo dei due agenti verso un oggetto comunemente osservato, assieme al monitoraggio dello sguardo dell'altro, costituisce di per sé un

sistema dinamico che si autosostiene, i cui individui partecipanti attuano competenze sensorimotorie precedentemente acquisite per negoziare in maniera ricorsiva nuovi pattern in direzione cooperativa. Nel neonato, a circa 4 mesi di vita, si ha un riconoscimento dei pattern di attenzione visiva degli altri verso il proprio volto e il proprio corpo, e iniziano i primi tentativi di dirigere l'attenzione verso di sé con vocalizzazioni (Reddy, 2003), probabilmente sulla scorta della competenza acquisita con il pianto istintivo, a cui seguono le attenzioni dei *caregivers*. A nove mesi si manifesta la capacità di attenzione congiunta verso un obiettivo (Seemann, 2012), ed entro il primo anno di vita sviluppano la capacità di notare quando gli altri prestano attenzione a oggetti che si trovano a una certa distanza da loro. Questa capacità si evolve ulteriormente attorno alla metà del loro secondo anno di vita, quando iniziano a comprendere che l'attenzione degli altri può estendersi anche a oggetti che non sono immediatamente presenti e a eventi che si svolgono nel corso del tempo (Moll & Meltzoff, 2011). Solitamente, questa evoluzione della cognizione sociale viene interpretata come conseguenza dello sviluppo di capacità cognitive di base. Credo, invece, che ci sia buon margine nel sostenere l'inversione degli assunti, ovvero che sia la continua interazione tra conspecifici a dare forma alla cognizione e promuovere la permanenza dell'informazione, necessaria per una mente dotata di contenuto. A sostenere questa inversione anche la constatazione che i bambini si impegnano con i partner sociali intorno ai 3 mesi (Brazelton et al., 1975; Kaye & Fogel, 1980) e con gli oggetti solo successivamente, intorno ai 4-6 mesi (Bruner, 1985; Lockman & McHale, 1989). È in un secondo momento, a partire dall'attività sensorimotoria multimodale e ricorsiva delle pratiche d'interazione che si va producendo l'impegno triadico tra bambino, *caregiver* e oggetto (de Barbaro et al., 2016): così, il passaggio da un'interazione diadica a una triadica può essere analizzata a partire dalle sequenze caratteristiche e invariante tra sguardo ed esplorazione (tipicamente manuale ma non solo) dell'oggetto del bambino in *coupling* con il *caregiver*. Nello studio di de Barbaro e colleghi (2013), risulta che a quattro mesi di età, i neonati dimostrano la capacità di integrare diverse percezioni sensoriali, concentrandosi sugli oggetti presentati dalle loro madri. Nel periodo compreso tra i sei e i dodici mesi, si osserva una progressiva autonomia tra le mani e gli occhi dei bambini, accompagnata da una maggiore

complessità nelle sequenze di gioco che coinvolgono più oggetti. In questo stesso intervallo temporale, le interazioni madre-bambino sono diventate più sofisticate, includendo ad esempio lo scambio di turni, in risposta all'evoluzione delle capacità sensorimotorie del bambino. Questo porta a suggerire che l'emergere dell'attenzione triadica non sia un salto qualitativo nella cognizione sociale, quanto piuttosto una progressione graduale dello sviluppo sensorimotorio, facilitata dall'incremento delle interazioni sociali guidate dai genitori. Ci si accorge così che tra i 4 e i 12 mesi l'attività multimodale visuotattile del bambino è fortemente modulata dalle azioni dei *caregivers*, ad esempio, «l'alternanza dello sguardo dei neonati tra i propri oggetti e quelli della madre può consentire un confronto tra le azioni dei loro oggetti e quelle della madre mentre effettuano aggiustamenti online della propria attività manuale» (de Barbaro et al., 2013, p. 496).

Il processo di emersione della rappresentazione inizia da questi aspetti dell'interazione che dirigono la capacità di elaborazione cognitiva verso *cues* di natura intersoggettiva, per poi costituire e modellare le *affordance* in relazione alle differenti invarianze sensorimotorie che vanno sedimentandosi. Così, un cucchiaio ci inviterà ad una sua presa specifica non già solamente in base alla forma, ma anche (probabilmente soprattutto) in base all'interazione appresa socialmente, alla pratica condivisa che si costituisce neuralmente come aspettativa (nel senso adottato nel *Predictive Processing account*). L'importanza capillare dell'informazione sociale assorbe materia computazionale al punto da emergere quale immagine manifesta (Dennett, 2018), entrare nello spazio di lavoro globale neuronale (Baars, 2005) o superare la soglia di integrazione dell'informazione (Tononi, 2004). La competenza diventa comprensione in virtù di una permanenza e ottimizzazione dell'informazione cognitiva che libera le possibilità di una simulazione ricorsiva sull'informazione, generando *affordance* sul mondo che sono già “micro- astrazioni” nella misura in cui definiamo il processo di astrazione come la delineazione delle dimensioni organizzative essenziali di un fenomeno, relegando in secondo piano o omettendo del tutto i particolari meno rilevanti e accidentali (A. M. Borghi et al., 2022; Olsen & Tylén, 2022).

Un ultimo passaggio è necessario. Una volta acquisita la rappresentazione quale esattamente tra la nostra capacità di costituire analogie su base sensorimotoria e la particolare importanza delle pratiche sociali ricorsive selezionate come vantaggiose a scopi di sopravvivenza e di riproduzione, essa ha generato un livello del tutto peculiare, il livello semantico, che rende possibile la migrazione del gesto in segno. Questo è ciò che vincola universalmente la nostra cognizione: l'importanza delle pratiche sociali impedisce alla cognizione di formulare qualcosa di differente dal senso, dal segno, dal significato, ovvero da operazioni intrinsecamente sociali. Le permanenze si espandono popolando lo spazio mentale come i memi di Dawkins (1976), e la loro origine sociale è talmente radicata nella genesi della nostra cognizione che è essa stessa a dare forma alla realtà.

La possibilità sensorimotoria di condivisione di pratiche è la capacità universale che si declina seguendo diversi pattern (diverse pratiche) che determinano diverse vie per la creazione di senso (Classen, 2023). Se interpretiamo le culture come *clusters* di differenti pratiche sensorimotorie, la ricerca ci dimostra che la “forma cognitiva” è fortemente influenzata dalla cultura, sino a determinare il modo in cui percepiamo sensorialmente il mondo (Segall et al., 1966). *Different practices, different minds*⁴³. Ad esempio, le pratiche culturali influenzano il modo in cui i bambini sviluppano abilità motorie. In alcune culture, i bambini sono incoraggiati a camminare presto e spesso, mentre in altre, il trasporto prolungato dei bambini ritarda l'inizio della deambulazione. Queste differenze possono influenzare non solo lo sviluppo motorio ma anche la percezione dello spazio e la coordinazione (Karasik et al., 2010). Similmente si riscontrano differenze culturali a causa dell'enfaticizzazione di specifiche modalità sensoriali nell'educazione. Per esempio, nella cultura occidentale è data molta importanza alla visione, mentre in altre culture, come in alcune comunità indigene, l'udito, l'olfatto o il tatto possono essere più enfatizzati. Questo influenza la percezione sensoriale e la creazione di senso (Classen, 1999, 2023).

L'astrazione, basata sulla capacità di analogia e ottimizzata per mezzo della prassi ricorsiva, che in ultima istanza dà vita ai concetti, si porta dietro i vincoli del corpo.

⁴³ Personale rivisitazione del claim del paper di Casasanto (2011): *Different bodies, different minds*.

Ciò è sempre più evidente dall'entità dell'accumularsi degli studi che ancorano i concetti alle aree sensorimotorie (Lakoff & Johnson, 1980; Gallese & Lakoff, 2005; Howell et al., 2005; Lakoff & Johnson, 2008; Barsalou et al., 2012; Caruana & Borghi, 2013; Pazzaglia, 2013; Vigliocco et al., 2014; Ghio & Tettamanti, 2016; A. M. Borghi et al., 2019; Mazzuca et al., 2021). E allora la rappresentazione, vincolata al formato sensorimotorio ed emersa in relazione alla reiterazione delle strutture in atto intersoggettivamente, vincola a sua volta la cognizione ad un unico spazio informativo: lo spazio semantico.

Conclusioni

Il presente lavoro si inserisce all'interno della letteratura delle scienze cognitive embodied tentando, essenzialmente, un processo di cucitura, nella convinzione che, ad oggi, sia quantomai essenziale uno sforzo di sintesi della costellazione degli approcci esistenti. Una spinta centripeta in contrapposizione alla forza centrifuga che caratterizza, ormai dall'inizio degli anni '90 dello scorso secolo, gli studi sulla mente. Forza centrifuga che ha indubbiamente segnato innumerevoli e rilevanti traguardi per la comprensione della cognizione, ma che ha finito per disgregare una rotta comune che oggi si mostra confusa sin dalla sua legenda: il vocabolario della nostra disciplina non è armonico e condiviso come ci si aspetterebbe da una epistemologia salda e consolidata.

Tale processo di cucitura non è stato certo praticato unendo un'accozzaglia di oggetti eterogenei, ma inseguendo una coerenza teorica fortemente basata sulle evidenze sperimentali e nel tentativo di dirimere i più dolenti punti nevralgici dell'impalcatura logica delle varie posizioni incarnate, accettando questioni fortemente enattiviste e proponendo una visione di unione, necessaria dal punto di vista esplicativo. Sono convinto che ciò non si sia tradotto in una "non ben precisata via di mezzo", ma in una salda intelaiatura concettuale con la quale riposizionare costrutti tanto fondamentali quanto, ad oggi, evanescenti. Non saranno certo le etichette *post-hoc* o le autoproclamazioni di forza a far sopravvivere i paradigmi vigenti, ma la loro attuazione sul campo empirico, che esigerà necessariamente mutazioni adattive delle formulazioni originarie. Le stesse prove empiriche oggi ci informano che sia gli approcci embodied minimali, sia gli approcci enattivisti radicali possiedono grandi punti di forza ed evidenti punti di debolezza, ma soprattutto ci informano di una divergenza tra i due approcci in larga parte soltanto apparente. Il mio lavoro si è molto occupato di dipanare queste false dicotomie.

Modificare la mappa vigente per esplorare zone oscure dell'epistemologia delle scienze cognitive attraverso un intenso lavoro di revisione. Così, da apparente minaccia da superare, l'enattivismo si rivela meglio radicato nel naturalismo di quanto

non sia l'approccio embodied minimale, e ciò costringe le scienze cognitive a ricalibrare l'asticella della rappresentazione, che non può più essere inquadrata solamente quale forma di codifica della realtà.

Il reale campo da gioco delle scienze cognitive contemporanee è quello del ricongiungimento tra l'approccio naturalista e quello rappresentazionalista, testando i limiti degli sviluppi non rappresentazionali che arrivano dall'intelligenza artificiale, dalla *grounded robotics* e dagli studi sull'intelligenza delle piante (Hiernaux, 2021; Bianchi & Castiello, 2023) per definire con franchezza cosa sia possibile rendicontare senza ricorrere ad una qualche forma di contenuto mentale, e cos'altro invece ne ha necessità.

Nel mio lavoro ho fornito un'interpretazione del costrutto di rappresentazione che ritengo essere necessario nel panorama delle scienze cognitive contemporanee in virtù della sua irriducibilità, dimostrando che, nella pratica sociale dei corpi in interazione, si sedimentano invarianze che vanno a costituire il piano regolatorio della vita di gruppo e della comunicazione specie-specifica che la pervade. Queste invarianze costituiscono il mattone primo della rappresentazione, che ha il suo precursore nel gesto. Il segnale costituito dal gesto si libera di alcuni vincoli corporei per trasferirsi su altri (i vincoli del linguaggio), esplodono le potenzialità ricorsive, l'invarianza sensorimotoria si astrae in segno e parola. La capacità di costituire analogie raggiunge un punto critico, le norme sensorimotorie sociali cominciano ad abitare la cognizione dotandola di un contenuto, un'immagine manifesta utile a parametrizzare il Sé, l'Altro e il mondo, e ad acquisire nuovi vantaggi evolutivi rendendoci capaci di “vederci da fuori”, e modulare i nostri segnali, prima generati inconsapevolmente in quanto *competenze sensorimotorie*, in modo che possano essere manipolati *ad hoc*, diventando *comprensione*.

È la scintilla di un nuovo e irriducibile livello emergente: la generazione del piano semantico.

Bibliografia

- Adelmann, P. K., & Zajonc, R. B. (1989). Facial efference and the experience of emotion. *Annual Review of Psychology*, *40*, 249–280. <https://doi.org/10.1146/annurev.ps.40.020189.001341>
- Adenzano, M., & Enrici, I. (2005). Comprendere le menti altrui: Meccanismi neurocognitivi dell'interazione sociale. *Quaderni di Psicoterapia Cognitiva*, *8*(1), 14–28.
- Aizawa, K. (2014). The Enactivist Revolution. *AVANT. Pismo Awangardy Filozoficzno-Naukowej*, *5*(2), 19–42.
- Aizawa, K. (2015). What is this cognition that is supposed to be embodied? *Philosophical Psychology*, *28*(6), 755–775. <https://doi.org/10.1080/09515089.2013.875280>
- Aizawa, K. (2017). Cognition and behavior. *Synthese*, *194*(11), 4269–4288. <https://doi.org/10.1007/s11229-014-0645-5>
- Alegiani, A. (2021). La teoria della codifica predittiva e la rappresentazione mentale. *Sistemi intelligenti*, *1/2021*. <https://doi.org/10.1422/100383>
- Alfredo Paternoster. (2023). Sul concetto di comprensione. *Sistemi intelligenti*, *2*, 231–250. <https://doi.org/10.1422/107437>
- Alt, K. W., Al-Ahmad, A., & Woelber, J. P. (2022). Nutrition and Health in Human Evolution—Past to Present. *Nutrients*, *14*(17), 3594. <https://doi.org/10.3390/nu14173594>
- Amici, F., Aureli, F., & Call, J. (2008). Fission-Fusion Dynamics, Behavioral Flexibility, and Inhibitory Control in Primates. *Current Biology*, *18*(18), 1415–1419. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2008.08.020>
- Ammaniti, M., & Gallese, V. (2014). *La nascita dell'intersoggettività. Lo sviluppo del sé tra psicodinamica e neurobiologia*. Raffaello Cortina.
- Anderson, J. R. (1994). The monkey in the mirror: A strange conspecific. In M. L. Boccia, R. W. Mitchell, & S. T. Parker (A c. Di), *Self-Awareness in Animals and Humans: Developmental Perspectives* (pp. 315–329). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511565526.023>

- Anderson, J. R., & Butler, D. L. (2021). Mirror Self-Recognition: Five Decades of Primate Research. In A. B. Kaufman, J. C. Kaufman, & J. Call (A c. Di), *The Cambridge Handbook of Animal Cognition* (pp. 415–440). Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/9781108564113.022>
- Anderson, J. R., & Chamove, A. S. (1986). Infant stumptailed macaques reared with mirrors or peers: Social responsiveness, attachment, and adjustment. *Primates*, 27(1), 63–82.
<https://doi.org/10.1007/BF02382523>
- Anderson, M. L. (2007). The Massive Redeployment Hypothesis and the Functional Topography of the Brain. *Philosophical Psychology*, 20(2), 143–174.
<https://doi.org/10.1080/09515080701197163>
- Andrews, P., & Johnson, R. j. (2020). Evolutionary basis for the human diet: Consequences for human health. *Journal of Internal Medicine*, 287(3), 226–237. <https://doi.org/10.1111/joim.13011>
- Andrews-Hanna, J. R. (2012). The Brain’s Default Network and Its Adaptive Role in Internal Mentation. *The Neuroscientist*, 18(3), 251–270. <https://doi.org/10.1177/1073858411403316>
- Anellis, I. H. (2008). The First Russell Paradox. In T. Drucker (A c. Di), *Perspectives on the History of Mathematical Logic* (pp. 33–46). Birkhäuser. https://doi.org/10.1007/978-0-8176-4769-8_3
- Ashby, W. R. (1947). Principles of the Self-Organizing Dynamic System. *The Journal of General Psychology*, 37(2), 125–128. <https://doi.org/10.1080/00221309.1947.9918144>
- Auvray, M., Lenay, C., & Stewart, J. (2009). Perceptual interactions in a minimalist virtual environment. *New Ideas in Psychology*, 27, 32–47.
<https://doi.org/10.1016/j.newideapsych.2007.12.002>
- Auvray, M., & Rohde, M. (2012). Perceptual crossing: The simplest online paradigm. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnhum.2012.00181>
- Avenanti, A., Sirigu, A., & Aglioti, S. M. (2010). Racial bias reduces empathic sensorimotor resonance with other-race pain. *Current Biology*, 20(11), 1018–1022.
<https://doi.org/10.1016/j.cub.2010.03.071>
- Aziz-Alaoui, M., & Bertelle, C. (2009). *From System Complexity to Emergent Properties*. Springer Science & Business Media.

- Baars, B. J. (1993). *A Cognitive Theory of Consciousness*. Cambridge University Press.
- Baars, B. J. (2002). The conscious access hypothesis: Origins and recent evidence. *Trends in Cognitive Sciences*, 6(1), 47–52. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01819-2](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01819-2)
- Baars, B. J. (2005). Global workspace theory of consciousness: Toward a cognitive neuroscience of human experience. In S. Laureys (A c. Di), *Progress in Brain Research* (Vol. 150, pp. 45–53). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(05\)50004-9](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(05)50004-9)
- Babbitt, C. C., Warner, L. R., Fedrigo, O., Wall, C. E., & Wray, G. A. (2010). Genomic signatures of diet-related shifts during human origins. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 278(1708), 961–969. <https://doi.org/10.1098/rspb.2010.2433>
- Bach-y-Rita, P., & W. Kercel, S. (2003). Sensory substitution and the human–machine interface. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(12), 541–546. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2003.10.013>
- Bahrami, B., Olsen, K., Latham, P. E., Roepstorff, A., Rees, G., & Frith, C. D. (2010). Optimally Interacting Minds. *Science*, 329(5995), 1081–1085. <https://doi.org/10.1126/science.1185718>
- Bain, A. (1868). *The Senses and the Intellect*. Longmans, Green & Co.
- Baldo Gentile, J. O. (2022). A Sensory Information Protocol for a Computational Embodiment. *Reti, saperi, linguaggi*, 1/2022, 177–196. <https://doi.org/10.12832/104547>
- Ballard, D. H. (1991). Animate vision. *Artificial Intelligence*, 48(1), 57–86. [https://doi.org/10.1016/0004-3702\(91\)90080-4](https://doi.org/10.1016/0004-3702(91)90080-4)
- Barandiaran, X. (2008). *Mental Life. A naturalized approach to the autonomy of cognitive agents* [University of the Basque Country, Spain]. https://xabierbarandiaran.files.wordpress.com/2010/06/barandiaran_-_2008_-_phd_thesis.pdf
- Barandiaran, X. E. (2017). Autonomy and Enactivism: Towards a Theory of Sensorimotor Autonomous Agency. *Topoi*, 36(3), 409–430. <https://doi.org/10.1007/s11245-016-9365-4>
- Bard, K. A., Todd, B. K., Bernier, C., Love, J., & Leavens, D. A. (2006). Self-Awareness in Human and Chimpanzee Infants: What Is Measured and What Is Meant by the Mark and Mirror Test? *Infancy*, 9(2), 191–219. https://doi.org/10.1207/s15327078in0902_6
- Barrett, L., Dunbar, R., & Lycett, J. (2002). *Human Evolutionary Psychology*. Princeton University Press.

- Barsalou, L. W. (1999). Perceptual symbol systems. *Behavioral and Brain Sciences*, 22(4), 577–660.
<https://doi.org/10.1017/S0140525X99002149>
- Barsalou, L. W. (2008). Grounded Cognition. *Annual Review of Psychology*, 59(1), 617–645.
<https://doi.org/10.1146/annurev.psych.59.103006.093639>
- Barsalou, L. W. (2016). On Staying Grounded and Avoiding Quixotic Dead Ends. *Psychonomic Bulletin & Review*, 23(4), 1122–1142. <https://doi.org/10.3758/s13423-016-1028-3>
- Barsalou, L. W., Santos, A., Simmons, W. K., & Wilson, C. D. (2012). Language and simulation in conceptual processing. In *Symbols and Embodiment*. Oxford University Press.
<https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199217274.003.0013>
- Bartunov, S., Santoro, A., Richards, B., Marris, L., Hinton, G. E., & Lillicrap, T. (2018). Assessing the Scalability of Biologically-Motivated Deep Learning Algorithms and Architectures. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 31.
<https://proceedings.neurips.cc/paper/2018/hash/63c3ddcc7b23daa1e42dc41f9a44a873-Abstract.html>
- Bayart, F., & Anderson, J. R. (1985). Mirror-image reactions in a tool-using, adult male *Macaca tonkeana*. *Behavioural Processes*, 10(3), 219–227. [https://doi.org/10.1016/0376-6357\(85\)90069-5](https://doi.org/10.1016/0376-6357(85)90069-5)
- Beauchamp, M. S. (2015). The social mysteries of the superior temporal sulcus. *Trends in cognitive sciences*, 19(9), 489–490. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2015.07.002>
- Bechtel, W., & Abrahamsen, A. (2005). Explanation: A mechanist alternative. *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, 36(2), 421–441. <https://doi.org/10.1016/j.shpsc.2005.03.010>
- Beisteiner, R., Höllinger, P., Lindinger, G., Lang, W., & Berthoz, A. (1995). Mental representations of movements. Brain potentials associated with imagination of hand movements. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology/Evoked Potentials Section*, 96(2), 183–193. [https://doi.org/10.1016/0168-5597\(94\)00226-5](https://doi.org/10.1016/0168-5597(94)00226-5)
- Bekkali, S., Youssef, G. J., Donaldson, P. H., Albein-Urios, N., Hyde, C., & Enticott, P. G. (2021). Is the Putative Mirror Neuron System Associated with Empathy? A Systematic Review and

- Meta-Analysis. *Neuropsychology Review*, 31(1), 14–57. <https://doi.org/10.1007/s11065-020-09452-6>
- Bekkering, H., De Bruijn, E. R. A., Cuijpers, R. H., Newman-Norlund, R., Van Schie, H. T., & Meulenbroek, R. (2009). Joint Action: Neurocognitive Mechanisms Supporting Human Interaction. *Topics in Cognitive Science*, 1(2), 340–352. <https://doi.org/10.1111/j.1756-8765.2009.01023.x>
- Benasayag, M. (2016). *Il cervello aumentato, l'uomo diminuito*. Edizioni Centro Studi Erickson.
- Berthoz, A., & Petit, J.-L. (2006). *Phénoménologie et physiologie de l'action*. Odile Jacob.
- Bianchi, M., & Castiello, U. (2023). Il concetto di rappresentazione nelle scienze cognitive classiche e post-classiche. La sfida della cognizione vegetale. *Giornale italiano di psicologia*, 2, 349–386. <https://doi.org/10.1421/107796>
- Bickhard, M. H. (1998). Levels of representationality. *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*, 10(2), 179–215. <https://doi.org/10.1080/095281398146824>
- Biga, L. M., Bronson, S., Dawson, S., Harwell, A., Hopkins, R., Kaufmann, J., LeMaster, M., Matern, P., Morrison-Graham, K., Oja, K., Quick, D., Runyeon, J., Oeru, O., & OpenStax. (2019). *Anatomy & Physiology*. OpenStax/Oregon State University. <https://open.oregonstate.edu/aandp/>
- Blakemore, S.-J., & Decety, J. (2001). From the perception of action to the understanding of intention. *Nature Reviews Neuroscience*, 2(8), Articolo 8. <https://doi.org/10.1038/35086023>
- Blank, H., Anwander, A., & Kriegstein, K. von. (2011). Direct Structural Connections between Voice- and Face-Recognition Areas. *Journal of Neuroscience*, 31(36), 12906–12915. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2091-11.2011>
- Block, N. (2005). Action in Perception by Alva Noë. *The Journal of Philosophy*, 102(5), 259–272. <https://doi.org/10.5840/jphil2005102524>
- Bolt, N. K., & Loehr, J. D. (2021). The motor-related brain activity that supports joint action: A review. *Acta Psychologica*, 212, 103218. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2020.103218>

- Bonini, L. (2017). The Extended Mirror Neuron Network: Anatomy, Origin, and Functions. *The Neuroscientist: A Review Journal Bringing Neurobiology, Neurology and Psychiatry*, 23(1), 56–67. <https://doi.org/10.1177/1073858415626400>
- Bonini, L., Maranesi, M., Livi, A., Fogassi, L., & Rizzolatti, G. (2014). Ventral premotor neurons encoding representations of action during self and others' inaction. *Current Biology: CB*, 24(14), 1611–1614. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2014.05.047>
- Bono, M. de, & Bargmann, C. I. (1998). Natural Variation in a Neuropeptide Y Receptor Homolog Modifies Social Behavior and Food Response in *C. elegans*. *Cell*, 94(5), 679–689. [https://doi.org/10.1016/S0092-8674\(00\)81609-8](https://doi.org/10.1016/S0092-8674(00)81609-8)
- Borghi, A. (2023). Le piante e gli esseri umani, tra rappresentazione e cognizione. *Giornale italiano di psicologia*, 2, 393–398. <https://doi.org/10.1421/107798>
- Borghi, A. M., Barca, L., Binkofski, F., Castelfranchi, C., Pezzulo, G., & Tummolini, L. (2019). Words as social tools: Language, sociality and inner grounding in abstract concepts. *Physics of Life Reviews*, 29, 120–153. <https://doi.org/10.1016/j.plrev.2018.12.001>
- Borghi, A. M., Osińska, A., Roepstorff, A., & Raczaszek-Leonardi, J. (2022). Concepts in interaction: Social engagement and inner experiences. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 378(1870), 20210351. <https://doi.org/10.1098/rstb.2021.0351>
- Bowles, S., & Gintis, H. (2011). A Cooperative Species: Human Reciprocity and Its Evolution. In *A Cooperative Species*. Princeton University Press. <https://doi.org/10.1515/9781400838837>
- Boyd, R., & Richerson, P. J. (2005). *The Origin and Evolution of Cultures*. Oxford University Press.
- Brainerd, C. J. (1978). *Piaget's theory of intelligence*. Englewood Cliffs, N.J. : Prentice-Hall. <http://archive.org/details/piagetstheoryofi00brai>
- Brass, M., Bekkering, H., Wohlschläger, A., & Prinz, W. (2000). Compatibility between Observed and Executed Finger Movements: Comparing Symbolic, Spatial, and Imitative Cues. *Brain and Cognition*, 44(2), 124–143. <https://doi.org/10.1006/brcg.2000.1225>
- Brazelton, T. B., Tronick, E., Adamson, L., Als, H., & Wise, S. (1975). Early Mother-Infant Reciprocity. In R. Porter & M. O'Connor (A c. Di), *Novartis Foundation Symposia* (1^a ed., pp. 137–154). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470720158.ch9>

- Broesch, T., Callaghan, T., Henrich, J., Murphy, C., & Rochat, P. (2011). Cultural Variations in Children's Mirror Self-Recognition. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, 42(6), 1018–1029. <https://doi.org/10.1177/0022022110381114>
- Brooks, R. A. (1991). Intelligence without representation. *Artificial Intelligence*, 47(1), 139–159. [https://doi.org/10.1016/0004-3702\(91\)90053-M](https://doi.org/10.1016/0004-3702(91)90053-M)
- Brothers, L., Ring, B., & Kling, A. (1990). Response of neurons in the macaque amygdala to complex social stimuli. *Behavioural Brain Research*, 41(3), 199–213. [https://doi.org/10.1016/0166-4328\(90\)90108-Q](https://doi.org/10.1016/0166-4328(90)90108-Q)
- Broyd, S. J., Demanuele, C., Debener, S., Helps, S. K., James, C. J., & Sonuga-Barke, E. J. S. (2009). Default-mode brain dysfunction in mental disorders: A systematic review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 33(3), 279–296. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2008.09.002>
- Bruner, E., & Beaudet, A. (2023). The brain of Homo habilis: Three decades of paleoneurology. *Journal of Human Evolution*, 174, 103281. <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2022.103281>
- Bruner, J. (1985). Child's Talk: Learning to Use Language. *Child Language Teaching and Therapy*, 1(1), 111–114. <https://doi.org/10.1177/026565908500100113>
- Bruni, S., Gerbella, M., Bonini, L., Borra, E., Coudé, G., Ferrari, P. F., Fogassi, L., Maranesi, M., Rodà, F., Simone, L., Serventi, F. U., & Rozzi, S. (2018). Cortical and subcortical connections of parietal and premotor nodes of the monkey hand mirror neuron network. *Brain Structure & Function*, 223(4), 1713–1729. <https://doi.org/10.1007/s00429-017-1582-0>
- Bufalari, I., Sforza, A. L., Di Russo, F., Mannetti, L., & Aglioti, S. M. (2019). Malleability of the self: Electrophysiological correlates of the enfacement illusion. *Scientific Reports*, 9(1), 1682. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-38213-y>
- Buhrmann, T., Di Paolo, E., & Barandiaran, X. (2013). A Dynamical Systems Account of Sensorimotor Contingencies. *Frontiers in Psychology*, 4. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2013.00285>
- Butler, D., & Suddendorf, T. (2014). Reducing the neural search space for hominid cognition: What distinguishes human and great ape brains from those of small apes? *Psychonomic Bulletin & Review*, 21(3), 590–619. <https://doi.org/10.3758/s13423-013-0559-0>

- Butler, E. E., Ward, R., & Ramsey, R. (2016). The Influence of Facial Signals on the Automatic Imitation of Hand Actions. *Frontiers in Psychology, 7*.
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2016.01653>
- Butterfill, S. A., & Sinigaglia, C. (2014). Intention and Motor Representation in Purposive Action. *Philosophy and Phenomenological Research, 88*(1), 119–145. <https://doi.org/10.1111/j.1933-1592.2012.00604.x>
- Button, K. S., Ioannidis, J. P. A., Mokrysz, C., Nosek, B. A., Flint, J., Robinson, E. S. J., & Munafò, M. R. (2013). Power failure: Why small sample size undermines the reliability of neuroscience. *Nature Reviews Neuroscience, 14*(5), Articolo 5.
<https://doi.org/10.1038/nrn3475>
- Cacioppo, J. T., & Patrick, W. (2008). *Loneliness: Human Nature and the Need for Social Connection*. W. W. Norton & Company.
- Calhoun, S., & Thompson, R. L. (1988). Long-term retention of self-recognition by chimpanzees. *American Journal of Primatology, 15*(4), 361–365. <https://doi.org/10.1002/ajp.1350150409>
- Calzavarini, F. (2023). Comprensione e cervello. *Sistemi intelligenti, 2/2023*.
<https://doi.org/10.1422/107149>
- Caminiti, R., Ferraina, S., & Mayer, A. B. (1998). Visuomotor transformations: Early cortical mechanisms of reaching. *Current Opinion in Neurobiology, 8*(6), 753–761.
[https://doi.org/10.1016/s0959-4388\(98\)80118-9](https://doi.org/10.1016/s0959-4388(98)80118-9)
- Cantor, G. (1874). Ueber eine Eigenschaft des Inbegriffs aller reellen algebraischen Zahlen. *Journal für die reine und angewandte Mathematik, 77*, 258–262.
- Cardellicchio, P., Dolfini, E., Fadiga, L., & D'Ausilio, A. (2020). Parallel fast and slow motor inhibition processes in Joint Action coordination. *Cortex, 133*, 346–357.
<https://doi.org/10.1016/j.cortex.2020.09.029>
- Carmel, D., & Bentin, S. (2002). Domain specificity versus expertise: Factors influencing distinct processing of faces. *Cognition, 83*(1), 1–29. [https://doi.org/10.1016/S0010-0277\(01\)00162-7](https://doi.org/10.1016/S0010-0277(01)00162-7)
- Carr, L., Iacoboni, M., Dubeau, M.-C., Mazziotta, J. C., & Lenzi, G. L. (2003). Neural mechanisms of empathy in humans: A relay from neural systems for imitation to limbic areas. *Proceedings of*

- the National Academy of Sciences*, 100(9), 5497–5502.
<https://doi.org/10.1073/pnas.0935845100>
- Carruthers, P. (2011). *The Opacity of Mind: An Integrative Theory of Self-Knowledge*. OUP Oxford.
- Caruana, F. (2013). La traduzione radicale dal cervello: Quine e il neuroscienziato. *Rivista di filosofia*, 1/2013. <https://doi.org/10.1413/73015>
- Caruana, F., & Borghi, A. M. (2013). Embodied Cognition: Una nuova psicologia. *Giornale italiano di psicologia*, 1/2013. <https://doi.org/10.1421/73973>
- Caruana, F., & Borghi, A. M. (2016). *Il cervello in azione*. Il Mulino.
- Carvalho, E. M. de. (2021). The shared know-how in Linguistic Bodies. *Filosofia Unisinos*, 94–101.
<https://doi.org/10.4013/fsu.2021.221.11>
- Casasanto, D. (2011). Different Bodies, Different Minds: The Body Specificity of Language and Thought. *Current Directions in Psychological Science*, 20(6), 378–383.
<https://doi.org/10.1177/0963721411422058>
- Castelli, F., Happé, F., Frith, U., & Frith, C. D. (2004). Movement and Mind: A Functional Imaging Study of Perception and Interpretation of Complex Intentional Movement Patterns. In *Social Neuroscience*. Psychology Press.
- Castiello, U., & Guerra, S. (2020). La psicologia vegetale: Alle radici della cognizione. *Giornale italiano di psicologia*, 3–4, 683–708. <https://doi.org/10.1421/100053>
- Catmur, C. (2014). Unconvincing support for role of mirror neurons in “action understanding”: Commentary on Michael et al. (2014). *Frontiers in Human Neuroscience*, 8.
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnhum.2014.00553>
- Cattaneo, L., Fabbri-Destro, M., Boria, S., Pieraccini, C., Monti, A., Cossu, G., & Rizzolatti, G. (2007). Impairment of actions chains in autism and its possible role in intention understanding. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(45), 17825–17830.
<https://doi.org/10.1073/pnas.0706273104>
- Celeghin, A., de Gelder, B., & Tamietto, M. (2015). From affective blindsight to emotional consciousness. *Consciousness and Cognition*, 36, 414–425.
<https://doi.org/10.1016/j.concog.2015.05.007>

- Chartrand, T. L., & Lakin, J. L. (2013). The Antecedents and Consequences of Human Behavioral Mimicry. *Annual Review of Psychology*, *64*(1), 285–308. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143754>
- Chemero, A. (2011). *Radical Embodied Cognitive Science*. MIT Press.
- Chemero, A. P. (2009). *Radical Embodied Cognitive Science*. A Bradford Book.
- Chomsky, N. (1980). *Rules and Representations: Columbia Classics edition* (p. 368 Pages). Columbia University Press.
- Ciaunica, A., Constant, A., Preissl, H., & Fotopoulou, K. (2021). The first prior: From co-embodiment to co-homeostasis in early life. *Consciousness and Cognition*, *91*, 103117. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2021.103117>
- Cienki, A., & Müller, C. (2008). Metaphor, Gesture, and Thought. In Jr. Gibbs Raymond W. (A c. Di), *The Cambridge Handbook of Metaphor and Thought* (pp. 483–501). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511816802.029>
- Cimatti, F. (2007). Ciò che non dimostra la scoperta del gene FOXP2: Lingue e linguaggio fra cultura e biologia. *Sistemi intelligenti*, *1*, 25–54. <https://doi.org/10.1422/24104>
- Cisek, P. (2007). Cortical mechanisms of action selection: The affordance competition hypothesis. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *362*(1485), 1585–1599. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2054>
- Cisek, P., & Kalaska, J. F. (2005). Neural Correlates of Reaching Decisions in Dorsal Premotor Cortex: Specification of Multiple Direction Choices and Final Selection of Action. *Neuron*, *45*(5), 801–814. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2005.01.027>
- Clark, A. (1998a). *Being There: Putting Brain, Body, and World Together Again*. MIT Press.
- Clark, A. (1998b). Embodiment and the Philosophy of Mind. *Royal Institute of Philosophy Supplements*, *43*, 35–51. <https://doi.org/10.1017/S135824610000429X>
- Clark, A. (2013). Whatever next? Predictive brains, situated agents, and the future of cognitive science. *Behavioral and Brain Sciences*, *36*(3), 181–204. <https://doi.org/10.1017/S0140525X12000477>

- Clark, A. (2015). Embodied Prediction. In *Open MIND* (Vol. 7, pp. 1–21). Metzinger, T. e Windt, J. M.
- Clark, A. (2016). *Surfing Uncertainty: Prediction, Action, and the Embodied Mind*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780190217013.001.0001>
- Classen, C. (1999). Other Ways to Wisdom: Learning Through the Senses Across Cultures. *International Review of Education*, 45(3), 269–280. <https://doi.org/10.1023/A:1003894610869>
- Classen, C. (2023). *Worlds of Sense: Exploring the senses in history and across cultures*. Taylor & Francis.
- Clerget, E., Winderickx, A., Fadiga, L., & Olivier, E. (2009). Role of Broca's area in encoding sequential human actions: A virtual lesion study. *NeuroReport*, 20(16), 1496. <https://doi.org/10.1097/WNR.0b013e3283329be8>
- Cohen, E. E. A., Ejsmond-Frey, R., Knight, N., & Dunbar, R. I. M. (2009). Rowers' high: Behavioural synchrony is correlated with elevated pain thresholds. *Biology Letters*, 6(1), 106–108. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2009.0670>
- Colombetti, G., & Torrance, S. (2009). Emotion and ethics: An inter-(en)active approach. *Phenomenology and the Cognitive Sciences*, 8(4), 505–526. <https://doi.org/10.1007/s11097-009-9137-3>
- Coltheart, M. (2013). How Can Functional Neuroimaging Inform Cognitive Theories? *Perspectives on Psychological Science*, 8(1), 98–103. <https://doi.org/10.1177/1745691612469208>
- Conant, R. C., & Ross Alby, W. (1970). Every good regulator of a system must be a model of that system. *International Journal of Systems Science*, 1(2), 89–97. <https://doi.org/10.1080/00207727008920220>
- Cook, R., Bird, G., Catmur, C., Press, C., & Heyes, C. (2014). Mirror neurons: From origin to function. *Behavioral and Brain Sciences*, 37(2), Articolo 2. <https://doi.org/10.1017/S0140525X13000903>
- Coqueugniot, H., Hublin, J.-J., Veillon, F., Houët, F., & Jacob, T. (2004). Early brain growth in Homo erectus and implications for cognitive ability. *Nature*, 431(7006), Articolo 7006. <https://doi.org/10.1038/nature02852>

- Corballis, M. C. (2008). The Gestural Origins of Language. In N. Masataka (A c. Di), *The Origins of Language: Unraveling Evolutionary Forces* (pp. 11–23). Springer Japan.
https://doi.org/10.1007/978-4-431-79102-7_2
- Corballis, M. C. (2015). *The Wandering Mind: What the Brain Does When You're Not Looking*. University of Chicago Press.
- Cracco, E., Bardi, L., Desmet, C., Genschow, O., Rigoni, D., De Coster, L., Radkova, I., Deschrijver, E., & Brass, M. (2018). Automatic imitation: A meta-analysis. *Psychological Bulletin*, *144*(5), 453–500. <https://doi.org/10.1037/bul0000143>
- Cracco, E., & Brass, M. (2017). Automatic imitation of multiple agents: Simultaneous or random representation. *Journal of Experimental Psychology Human Perception and Performance*, *44*(5), 729–740. <https://doi.org/10.1037/xhp0000489>
- Cracco, E., & Brass, M. (2018). The role of sensorimotor processes in social group contagion. *Cognitive Psychology*, *103*, 23–41. <https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2018.02.001>
- Cracco, E., De Coster, L., Andres, M., & Brass, M. (2015). Motor simulation beyond the dyad: Automatic imitation of multiple actors. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *41*(6), 1488–1501. <https://doi.org/10.1037/a0039737>
- Cracco, E., De Coster, L., Andres, M., & Brass, M. (2016). Mirroring multiple agents: Motor resonance during action observation is modulated by the number of agents. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *11*(9), 1422–1427. <https://doi.org/10.1093/scan/nsw059>
- Cristiano Castelfranchi. (2019). Fine della scienza cognitiva? Ma non del cognitivismo. *Sistemi intelligenti*, *3*, 651–653. <https://doi.org/10.1422/95096>
- Cromwell, H. C., & Panksepp, J. (2011). Rethinking the cognitive revolution from a neural perspective: How overuse/misuse of the term ‘cognition’ and the neglect of affective controls in behavioral neuroscience could be delaying progress in understanding the BrainMind. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *35*(9), 2026–2035.
<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2011.02.008>

- Csibra, G. (2007). Action mirroring and action understanding: An alternative account. In P. Haggard, Y. Rossetti, & M. Kawato (A c. Di), *Sensorimotor foundations of higher cognition* (pp. 435–459). Oxford University Press.
- Damasio, A. R. (1989). Time-locked multiregional retroactivation: A systems-level proposal for the neural substrates of recall and recognition. *Cognition*, *33*(1), 25–62.
[https://doi.org/10.1016/0010-0277\(89\)90005-X](https://doi.org/10.1016/0010-0277(89)90005-X)
- Damasio, A. R. (1994). *Descartes' Error: Emotion, Reason, and the Human Brain*. Putnam.
- Damasio, A. R., Everitt, B. J., Bishop, D., Roberts, A. C., Robbins, T. W., & Weiskrantz, L. (1996). The somatic marker hypothesis and the possible functions of the prefrontal cortex. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, *351*(1346), 1413–1420. <https://doi.org/10.1098/rstb.1996.0125>
- Darwin, C. (1859). *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*.
- Darwin, C., & Prodger, P. (1872). *The Expression of the Emotions in Man and Animals*. Oxford University Press.
- Davidson, R. J., & Schwartz, G. E. (1977). Brain Mechanisms Subservicing Self-Generated Imagery: Electrophysiological Specificity and Patterning. *Psychophysiology*, *14*(6), 598–602.
<https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1977.tb01207.x>
- Dawkins, R. (1976). *The selfish gene*. Oxford University Press.
- de Barbaro, K., Johnson, C. M., Forster, D., & Deák, G. O. (2016). Sensorimotor Decoupling Contributes to Triadic Attention: A Longitudinal Investigation of Mother–Infant–Object Interactions. *Child Development*, *87*(2), 494–512. <https://doi.org/10.1111/cdev.12464>
- de Bono, M., Tobin, D. M., Davis, M. W., Avery, L., & Bargmann, C. I. (2002). Social feeding in *Caenorhabditis elegans* is induced by neurons that detect aversive stimuli. *Nature*, *419*(6910), Articolo 6910. <https://doi.org/10.1038/nature01169>
- de Gelder, B., Vroomen, J., Pourtois, G., & Weiskrantz, L. (1999). Non-conscious recognition of affect in the absence of striate cortex. *NeuroReport*, *10*(18), 3759.

- De Jaegher, H., & Di Paolo, E. (2007). Participatory sense-making. *Phenomenology and the Cognitive Sciences*, 6(4), 485–507. <https://doi.org/10.1007/s11097-007-9076-9>
- De Jaegher, H., Di Paolo, E., & Gallagher, S. (2010). Can social interaction constitute social cognition? *Trends in Cognitive Sciences*, 14(10), 441–447. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2010.06.009>
- de Veer, M. W., Gallup, G. G., Theall, L. A., van den Bos, R., & Povinelli, D. J. (2003). An 8-year longitudinal study of mirror self-recognition in chimpanzees (*Pan troglodytes*). *Neuropsychologia*, 41(2), 229–234. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(02\)00153-7](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(02)00153-7)
- De Vignemont, F. (2007). Habeas Corpus: The Sense of Ownership of One's Own Body. *Mind & Language*, 22(4), 427–449. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0017.2007.00315.x>
- de Vignemont, F. (2007). How many representations of the body? *Behavioral and Brain Sciences*, 30(2), 204–205. <https://doi.org/10.1017/S0140525X07001434>
- de Vignemont, F. (2010). Knowing Other People's Mental States as if They Were One's Own. In D. Schmicking & S. Gallagher (A c. Di), *Handbook of Phenomenology and Cognitive Science* (pp. 283–299). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-90-481-2646-0_16
- De Vignemont, F., Pitron, V., & Alsmith, A. J. T. (2021). What is the body schema? In Y. Ataria, S. Tanaka, & S. Gallagher, *Body Schema and Body Image: New Directions* (pp. 3–17). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198851721.003.0001>
- de Waal, F. B. M., & Preston, S. D. (2017). Mammalian empathy: Behavioural manifestations and neural basis. *Nature Reviews Neuroscience*, 18(8), Articolo 8. <https://doi.org/10.1038/nrn.2017.72>
- de Wit, M. M., & Matheson, H. E. (2022). Context-sensitive computational mechanistic explanation in cognitive neuroscience. *Frontiers in Psychology*, 13. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2022.903960>
- Deacon, T. W. (2012). *Incomplete Nature: How Mind Emerged from Matter*. W. W. Norton.
- DeCasien, A. R., Williams, S. A., & Higham, J. P. (2017). Primate brain size is predicted by diet but not sociality. *Nature Ecology & Evolution*, 1(5), Articolo 5. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0112>

- Decety, J., & Jackson, P. L. (2004). The Functional Architecture of Human Empathy. *Behavioral and Cognitive Neuroscience Reviews*, 3(2), 71–100. <https://doi.org/10.1177/1534582304267187>
- Decety, J., Perani, D., Jeannerod, M., Bettinardi, V., Tadary, B., Woods, R., Mazziotta, J. C., & Fazio, F. (1994). Mapping motor representations with positron emission tomography. *Nature*, 371(6498), Articolo 6498. <https://doi.org/10.1038/371600a0>
- Deen, B., Koldewyn, K., Kanwisher, N., & Saxe, R. (2015). Functional Organization of Social Perception and Cognition in the Superior Temporal Sulcus. *Cerebral Cortex (New York, NY)*, 25(11), 4596–4609. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhv111>
- Degenaar, J., & O'Regan, J. K. (2017). Sensorimotor Theory and Enactivism. *Topoi*, 36(3), 393–407. <https://doi.org/10.1007/s11245-015-9338-z>
- Dehaene, S. (2014). *Consciousness and the Brain: Deciphering How the Brain Codes Our Thoughts* (Reprint edizione). Penguin Books.
- Dehaene, S., & King, J.-R. (2016). Decoding the Dynamics of Conscious Perception: The Temporal Generalization Method. In G. Buzsáki & Y. Christen (A c. Di), *Micro-, Meso- and Macro-Dynamics of the Brain*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-28802-4>
- Dennett, D. C. (1969). *Content and Consciousness*. Routledge.
- Dennett, D. C. (1982). Styles of Mental Representation. *Proceedings of the Aristotelian Society*, 83, 213–226.
- Dennett, D. C. (2018). *From Bacteria to Bach and Back: The Evolution of Minds* (Reprint edition). W. Norton & Company.
- Dewenter, J., Gerullis, P., Hecker, A., & Schuster, S. (2017). Archerfish use their shooting technique to produce adaptive underwater jets. *Journal of Experimental Biology*, 220(6), 1019–1025. <https://doi.org/10.1242/jeb.146936>
- Di Francesco, M. (2002). *Introduzione alla filosofia della mente* (Nuova ed). Carocci.
- Di Francesco, M., & Piredda, G. (A c. Di). (2012). *La mente estesa: Dove finisce la mente e comincia il resto del mondo?* (Prima edizione Mondadori università). Mondadori università.

- Di Francesco, M., & Tomasetta, A. (2021). *Mente incorporata. Una mappa della rivoluzione. Sistemi intelligenti*, 1/2021. <https://doi.org/10.1422/100380>
- Di Giorgio, E., Turati, C., Altoè, G., & Simion, F. (2012). Face detection in complex visual displays: An eye-tracking study with 3- and 6-month-old infants and adults. *Journal of Experimental Child Psychology*, 113(1), 66–77. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2012.04.012>
- Di Paolo, E. A. (2005). Autopoiesis, Adaptivity, Teleology, Agency. *Phenomenology and the Cognitive Sciences*, 4(4), 429–452. <https://doi.org/10.1007/s11097-005-9002-y>
- Di Paolo, E. A., Barandiaran, X. E., Beaton, M., & Buhrmann, T. (2014). Learning to perceive in the sensorimotor approach: Piaget’s theory of equilibration interpreted dynamically. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnhum.2014.00551>
- Di Paolo, E. A., Cuffari, E. C., & De Jaegher, H. (2018). *Linguistic Bodies: The Continuity between Life and Language*. The MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/11244.001.0001>
- Di Paolo, E. A., Rohde, M., & Iizuka, H. (2008). Sensitivity to social contingency or stability of interaction? Modelling the dynamics of perceptual crossing. *New Ideas in Psychology*, 26, 278–294. <https://doi.org/10.1016/j.newideapsych.2007.07.006>
- Di Paolo, E., Buhrmann, T., & Barandiaran, X. (2017). *Sensorimotor Life: An enactive proposal*. OUP Oxford.
- Di Paolo, E., & De Jaegher, H. (2012). The interactive brain hypothesis. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnhum.2012.00163>
- di Pellegrino, G., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (1992). Understanding motor events: A neurophysiological study. *Experimental Brain Research*, 91(1), 176–180. <https://doi.org/10.1007/BF00230027>
- Dimberg, U., & Söderkvist, S. (2011). The Voluntary Facial Action Technique: A Method to Test the Facial Feedback Hypothesis. *Journal of Nonverbal Behavior*, 35(1), 17–33. <https://doi.org/10.1007/s10919-010-0098-6>
- Domenico Parisi. (2019). Quattro perplessità sulla scienza cognitiva. *Sistemi intelligenti*, 3, 647–650. <https://doi.org/10.1422/95095>

- Dum, R. P., & Strick, P. L. (2002). Motor areas in the frontal lobe of the primate. *Physiology & Behavior*, 77(4), 677–682. [https://doi.org/10.1016/S0031-9384\(02\)00929-0](https://doi.org/10.1016/S0031-9384(02)00929-0)
- Dunbar, R. I. M. (1992). Neocortex size as a constraint on group size in primates. *Journal of Human Evolution*, 22(6), 469–493. [https://doi.org/10.1016/0047-2484\(92\)90081-J](https://doi.org/10.1016/0047-2484(92)90081-J)
- Dunbar, R. I. M. (1998). The social brain hypothesis. *Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews*, 6(5), 178–190. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1520-6505\(1998\)6:5<178::AID-EVAN5>3.0.CO;2-8](https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-6505(1998)6:5<178::AID-EVAN5>3.0.CO;2-8)
- Dunbar, R. I. M. (2009). The social brain hypothesis and its implications for social evolution. *Annals of Human Biology*, 36(5), 562–572. <https://doi.org/10.1080/03014460902960289>
- Dushanova, J., & Donoghue, J. (2010). Neurons in primary motor cortex engaged during action observation. *European Journal of Neuroscience*, 31(2), 386–398. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2009.07067.x>
- Edelman, G. M., & Tononi, G. (2000). *A Universe Of Consciousness: How Matter Becomes Imagination*. Hachette UK.
- Eisenberger, N. I., & Cole, S. W. (2012). Social neuroscience and health: Neurophysiological mechanisms linking social ties with physical health. *Nature Neuroscience*, 15(5), 669–674. <https://doi.org/10.1038/nn.3086>
- Ekman, P. (1993). Facial expression and emotion. *American Psychologist*, 48, 384–392. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.48.4.384>
- Eliasmith, C. (1996). The third contender: A critical examination of the Dynamicist theory of cognition. *Philosophical Psychology*, 9(4), 441–463. <https://doi.org/10.1080/09515089608573194>
- Elizabeth S. Spelke, E. P. B., & Skerry, A. E. (2013). Core Social Cognition. In M. R. Banaji & S. A. Gelman (A c. Di), *Navigating the Social World* (pp. 11–16). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199890712.003.0003>
- Evans, C. R., & Dion, K. L. (1991). Group Cohesion and Performance: A Meta-Analysis. *Small Group Research*, 22(2), 175–186. <https://doi.org/10.1177/1046496491222002>

- Evans, C. R., & Dion, K. L. (2012). Group Cohesion and Performance: A Meta-Analysis. *Small Group Research*, 43(6), 690–701. <https://doi.org/10.1177/1046496412468074>
- Falzone, A. (2004). Genetica e linguaggio. *Reti, saperi, linguaggi*, 1, 189–232.
- Falzone, A. (2008). *Strutture, funzioni, complessità: Si può naturalizzare la filosofia della mente?* Rubettino.
- Falzone, A. (2012). *Evoluzionismo e comunicazione. Nuove ipotesi sulla selezione naturale nei linguaggi animali e umani*. Corisco.
- Farah, M. J. (1988). Is visual imagery really visual? Overlooked evidence from neuropsychology. *Psychological Review*, 95(3), 307–317. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.95.3.307>
- Ferrari, C. (2022). *Che cosa sono le neuroscienze sociali*. Carocci.
- Ferrari-Toniolo, S., Visco-Comandini, F., & Battaglia-Mayer, A. (2019). Two Brains in Action: Joint-Action Coding in the Primate Frontal Cortex. *Journal of Neuroscience*, 39(18), 3514–3528. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1512-18.2019>
- Ferretti, F. (2022). Narrative and Persuasion. In F. Ferretti (A c. Di), *Narrative Persuasion. A Cognitive Perspective on Language Evolution* (pp. 1–26). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-09206-0_1
- Ferretti, F., & Adornetti, I. (2021). Persuasive conversation as a new form of communication in Homo sapiens. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 376(1824), 20200196. <https://doi.org/10.1098/rstb.2020.0196>
- Ferretti, F., Adornetti, I., & Chiera, A. (2022). Narrative pantomime: A protolanguage for persuasive communication. *Lingua*, 271, 103247. <https://doi.org/10.1016/j.lingua.2022.103247>
- Ferretti, G. (2016a). Enattivismo sensomotorio. *APhEx_13_2016_Ferretti.pdf*. <https://www.openstarts.units.it/handle/10077/30384>
- Ferretti, G. (2016b). Through the forest of motor representations. *Consciousness and Cognition*, 43, 177–196. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2016.05.013>
- Ferretti, G., & Viola, M. (2019). Filosofia e neuroscienze: Andata e ritorno. *Sistemi intelligenti*, 2/2019. <https://doi.org/10.1422/93571>

- Finzi, E., & Rosenthal, N. E. (2014). Treatment of depression with onabotulinumtoxinA: A randomized, double-blind, placebo controlled trial. *Journal of Psychiatric Research*, 52, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2013.11.006>
- Fisher, S. E., & Marcus, G. F. (2006). The eloquent ape: Genes, brains and the evolution of language. *Nature Reviews Genetics*, 7(1), Articolo 1. <https://doi.org/10.1038/nrg1747>
- Fleagle, J. (2013). *Primate Adaptation and Evolution*. Academic Press.
- Fletcher, P. C., Happé, F., Frith, U., Baker, S. C., Dolan, R. J., Frackowiak, R. S. J., & Frith, C. D. (1995). Other minds in the brain: A functional imaging study of “theory of mind” in story comprehension. *Cognition*, 57(2), 109–128. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(95\)00692-R](https://doi.org/10.1016/0010-0277(95)00692-R)
- Fodor, J. A. (1975). *The Language of Thought*. Harvard University Press.
- Fodor, J. A. (2000). *The Mind Doesn't Work that Way: The Scope and Limits of Computational Psychology*. MIT Press.
- Fogassi, L., Ferrari, P. F., Gesierich, B., Rozzi, S., Chersi, F., & Rizzolatti, G. (2005). Parietal Lobe: From Action Organization to Intention Understanding. *Science*, 308(5722), 662–667. <https://doi.org/10.1126/science.1106138>
- Foglia, L., & O'Regan, J. K. (2016). A New Imagery Debate: Enactive and Sensorimotor Accounts. *Review of Philosophy and Psychology*, 7(1), 181–196. <https://doi.org/10.1007/s13164-015-0269-9>
- Francis, B. A., & Wonham, W. M. (1976). The internal model principle of control theory. *Automatica*, 12(5), 457–465. [https://doi.org/10.1016/0005-1098\(76\)90006-6](https://doi.org/10.1016/0005-1098(76)90006-6)
- Frege, G. (1891). *Function Und Begriff*. Verlag von Hermann Pohle.
- Friston, K. (2005). A theory of cortical responses. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B, Biological Sciences*, 360(1456), 815–836. <https://doi.org/10.1098/rstb.2005.1622>
- Friston, K. (2008). Hierarchical Models in the Brain. *PLOS Computational Biology*, 4(11), e1000211. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1000211>
- Friston, K. J., & Stephan, K. E. (2007). Free-energy and the brain. *Synthese*, 159(3), 417–458. <https://doi.org/10.1007/s11229-007-9237-y>

- Friston, K. J., Stephan, K. E., Montague, R., & Dolan, R. J. (2014). Computational Psychiatry: The Brain as a Phantastic Organ. *Lancet Psychiatry*, *1*, 148–158.
- Frith, C. D., & Frith, U. (2007). Social Cognition in Humans. *Current Biology*, *17*(16), R724–R732. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2007.05.068>
- Frith, C. D., & Frith, U. (2012). Mechanisms of Social Cognition. *Annual Review of Psychology*, *63*(1), 287–313. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-120710-100449>
- Frith, C. D., Wolpert, D. m., Frith, U., & Frith, C. D. (2003). Development and neurophysiology of mentalizing. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, *358*(1431), 459–473. <https://doi.org/10.1098/rstb.2002.1218>
- Gainotti, G., Silveri, M. C., Daniel, A., & Giustolisi, L. (1995). Neuroanatomical correlates of category-specific semantic disorders: A critical survey. *Memory*, *3*(3–4), 247–263. <https://doi.org/10.1080/09658219508253153>
- Gallagher, S. (1986). Body Image and Body Schema: A Conceptual Clarification. *The Journal of Mind and Behavior*, *7*(4), 541–554.
- Gallagher, S. (2008). Are Minimal Representations Still Representations?. *International Journal of Philosophical Studies*, *16*(3), 351–369. <https://doi.org/10.1080/09672550802113243>
- Gallagher, S. (2011). Interpretations of embodied cognition. *Faculty of Law, Humanities and the Arts - Papers (Archive)*, 59–70.
- Gallagher, S. (2017). *Enactivist Interventions: Rethinking the Mind*. Oxford University Press.
- Gallese, V. (2000). The inner sense of action. Agency and motor representations. *Journal of Consciousness Studies*, *7*(10), 23–40.
- Gallese, V. (2003a). La molteplice natura delle relazioni interpersonali: La ricerca di un comune meccanismo neurofisiologico. *Networks*, *1*, 24–47.
- Gallese, V. (2003b). The Roots of Empathy: The Shared Manifold Hypothesis and the Neural Basis of Intersubjectivity. *Psychopathology*, *36*(4), 171–180. <https://doi.org/10.1159/000072786>
- Gallese, V. (2007). Before and below ‘theory of mind’: Embodied simulation and the neural correlates of social cognition. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *362*(1480), 659–669. <https://doi.org/10.1098/rstb.2006.2002>

- Gallese, V. (2008). Mirror neurons and the social nature of language: The neural exploitation hypothesis. *Social Neuroscience*, 3(3–4), 317–333.
<https://doi.org/10.1080/17470910701563608>
- Gallese, V. (2009). Mirror Neurons, Embodied Simulation, and the Neural Basis of Social Identification. *Psychoanalytic Dialogues*, 19(5), 519–536.
<https://doi.org/10.1080/10481880903231910>
- Gallese, V. (2013). Mirror neurons, embodied simulation and a second-person approach to mindreading. *Cortex*, 49(10), 2954–2956. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2013.09.008>
- Gallese, V., Fadiga, L., Fogassi, L., & Rizzolatti, G. (1996). Action recognition in the premotor cortex. *Brain*, 119(2), 593–609. <https://doi.org/10.1093/brain/119.2.593>
- Gallese, V., & Goldman, A. (1998). Mirror neurons and the simulation theory of mind-reading. *Trends in Cognitive Sciences*, 2(12), 493–501. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(98\)01262-5](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(98)01262-5)
- Gallese, V., Keysers, C., & Rizzolatti, G. (2004). A unifying view of the basis of social cognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(9), 396–403. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.07.002>
- Gallese, V., & Lakoff, G. (2005). The Brain’s concepts: The role of the Sensory-motor system in conceptual knowledge. *Cognitive Neuropsychology*, 22(3–4), 455–479.
<https://doi.org/10.1080/02643290442000310>
- Gallese, V., Rochat, M. J., & Berchio, C. (2013). The mirror mechanism and its potential role in autism spectrum disorder. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 55(1), 15–22.
<https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2012.04398.x>
- Gallese, V., & Sinigaglia, C. (2011). What is so special about embodied simulation? *Trends in Cognitive Sciences*, 15(11), 512–519. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2011.09.003>
- Gallotti, M., Fairhurst, M. T., & Frith, C. D. (2017). Alignment in social interactions. *Consciousness and Cognition*, 48, 253–261. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2016.12.002>
- Gallup, G. G. (1970). Chimpanzees: Self-Recognition. *Science*, 167(3914), 86–87.
<https://doi.org/10.1126/science.167.3914.86>
- Gallup, G. G. (1979). Self-awareness in primates. *American Scientist*, 67(4), 417–421.

- Gandolfi, A. (2008). *Formicai, imperi, cervelli. Introduzione alla scienza della complessità*. Bollati Boringhieri.
- Gay Snodgrass, J. (1984). Concepts and their surface representations. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 23(1), 3–22. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(84\)90479-1](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(84)90479-1)
- Gazzaniga, M. S., Ivry, R. B., & Mangun, G. R. (2014). *Cognitive neuroscience: The biology of the mind* (Fourth edition). W. W. Norton & Company, Inc.
- Gazzaniga, M. S., Ivry, R. B., & Mangun, G. R. (2015). *Neuroscienze cognitive* (A. Zani & A. M. Proverbio, Trad.; 2° edizione). Zanichelli.
- Ghio, M., & Tettamanti, M. (2016). Chapter 52—Grounding Sentence Processing in the Sensory-Motor System. In G. Hickok & S. L. Small (A c. Di), *Neurobiology of Language* (pp. 647–657). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-407794-2.00052-3>
- Gibson, E. J. (1963). Perceptual Learning. *Annual Review of Psychology*, 14(1), 29–56. <https://doi.org/10.1146/annurev.ps.14.020163.000333>
- Gibson, J. J. (1978). The Ecological Approach to the Visual Perception of Pictures. *Leonardo*, 11(3), 227–235.
- Giese, M. A., & Rizzolatti, G. (2015). Neural and Computational Mechanisms of Action Processing: Interaction between Visual and Motor Representations. *Neuron*, 88(1), 167–180. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2015.09.040>
- Gładziejewski, P. (2016). Predictive coding and representationalism. *Synthese*, 193(2), 559–582. <https://doi.org/10.1007/s11229-015-0762-9>
- Gładziejewski, P., & Miłkowski, M. (2017). Structural representations: Causally relevant and different from detectors. *Biology & Philosophy*, 32(3), 337–355. <https://doi.org/10.1007/s10539-017-9562-6>
- Glaser, W. R. (1992). Picture naming. *Cognition*, 42(1), 61–105. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(92\)90040-O](https://doi.org/10.1016/0010-0277(92)90040-O)
- Glennan, S. (2002). Rethinking Mechanistic Explanation. *Philosophy of Science*, 69(S3), S342–S353. <https://doi.org/10.1086/341857>

- Gödel, K. (1930). Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme. *Monatshefte für Mathematik und Physik*, 38, 173–198.
- Gödel, K., & Feferman, S. (1995). *Kurt Gödel: Collected Works: Volume III: Unpublished Essays and Lectures*. Oxford University Press.
- Godfrey-Smith, P. (2016). *Other Minds: The Octopus, the Sea, and the Deep Origins of Consciousness*. Farrar, Straus and Giroux.
- Goldman, A. (2011). Two routes to empathy: Insights from cognitive neuroscience. In A. Coplan & P. Goldie (A. c. Di), *Empathy: Philosophical and Psychological Perspectives*. Oxford University Press.
- Goldman, A. (2013). The bodily formats approach to embodied cognition in Current controversies in philosophy of mind. In *Current Controversies in Philosophy of Mind*. Routledge.
- Goldman, A., & de Vignemont, F. (2009). Is social cognition embodied? *Trends in Cognitive Sciences*, 13(4), 154–159. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2009.01.007>
- Goldman, A. I. (1992). In defense of the simulation theory. *Mind & Language*, 7, 104–119. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0017.1992.tb00200.x>
- Goldman, A. I. (2006). *Simulating Minds: The Philosophy, Psychology, and Neuroscience of Mindreading*. Oxford University Press, USA.
- Goldman, A. I. (2009). Mirroring, Simulating and Mindreading. *Mind & Language*, 24(2), 235–252. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0017.2008.01361.x>
- Goldman, A. I. (2012). A Moderate Approach to Embodied Cognitive Science. *Review of Philosophy and Psychology*, 3(1), 71–88. <https://doi.org/10.1007/s13164-012-0089-0>
- Goldman, A. I., & Sripada, C. S. (2005). Simulationist models of face-based emotion recognition. *Cognition*, 94(3), 193–213. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2004.01.005>
- González-Forero, M., & Gardner, A. (2018). Inference of ecological and social drivers of human brain-size evolution. *Nature*, 557(7706), Articolo 7706. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0127-x>
- Goodale, M. A., & Milner, A. D. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Trends in Neurosciences*, 15(1), 20–25. [https://doi.org/10.1016/0166-2236\(92\)90344-8](https://doi.org/10.1016/0166-2236(92)90344-8)

- Gordon, E. M., Chauvin, R. J., Van, A. N., Rajesh, A., Nielsen, A., Newbold, D. J., Lynch, C. J., Seider, N. A., Krimmel, S. R., Scheidter, K. M., Monk, J., Miller, R. L., Metoki, A., Montez, D. F., Zheng, A., Elbau, I., Madison, T., Nishino, T., Myers, M. J., ... Dosenbach, N. U. F. (2023). A somato-cognitive action network alternates with effector regions in motor cortex. *Nature*, 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-05964-2>
- Gordon, R. M. (1986). Folk Psychology as Simulation. *Mind & Language*, 1(2), 158–171. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0017.1986.tb00324.x>
- Goregliad Fjaellingsdal, T., Vesper, C., Fusaroli, R., & Tylén, K. (2021). *Diversity promotes abstraction and cognitive flexibility in collective problem solving* [Preprint]. PsyArXiv. <https://doi.org/10.31234/osf.io/qnphf>
- Gould, S. J. (1991). Exaptation: A Crucial Tool for an Evolutionary Psychology. *Journal of Social Issues*, 47(3), 43–65. <https://doi.org/10.1111/j.1540-4560.1991.tb01822.x>
- Gould, S. J., & Lewontin, R. (1979). 5 the spandrels of san marco and the panglossian paradigm: A critique of the adaptationist programme. *Conceptual Issues in Evolutionary Biology*, 205(79).
- Gould, S. J., & Vrba, E. S. (1982). Exaptation—A Missing Term in the Science of Form. *Paleobiology*, 8(1), 4–15. <https://doi.org/10.1017/S0094837300004310>
- Grafton, S. T., & Hamilton, A. F. (2007). Evidence for a distributed hierarchy of action representation in the brain. *Human Movement Science*, 26(4), 590–616. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2007.05.009>
- Gray, J. M., Karow, D. S., Lu, H., Chang, A. J., Chang, J. S., Ellis, R. E., Marletta, M. A., & Bargmann, C. I. (2004). Oxygen sensation and social feeding mediated by a *C. elegans* guanylate cyclase homologue. *Nature*, 430(6997), Articolo 6997. <https://doi.org/10.1038/nature02714>
- Graziano, M. S. A. (2019). *Rethinking Consciousness: A Scientific Theory of Subjective Experience*. W. W. Norton & Company.
- Grossman, R., Nolan, K., Rosch, Z., Mazer, D., & Salas, E. (2022). The team cohesion-performance relationship: A meta-analysis exploring measurement approaches and the changing team

- landscape. *Organizational Psychology Review*, 12(2), 181–238.
<https://doi.org/10.1177/20413866211041157>
- Grush, R. (2004). The emulation theory of representation: Motor control, imagery, and perception. *Behavioral and Brain Sciences*, 27(3), 377–396. <https://doi.org/10.1017/S0140525X04000093>
- Gunz, P., Tilot, A. K., Wittfeld, K., Teumer, A., Shapland, C. Y., Van Erp, T. G. M., Dannemann, M., Vernot, B., Neubauer, S., Guadalupe, T., Fernández, G., Brunner, H. G., Enard, W., Fallon, J., Hosten, N., Völker, U., Profico, A., Di Vincenzo, F., Manzi, G., ... Fisher, S. E. (2019). Neandertal Introgression Sheds Light on Modern Human Endocranial Globularity. *Current Biology*, 29(1), 120-127.e5. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.10.065>
- Haderer, K. P. (1973). On the theory of lateral inhibition. *Kybernetik*, 14(3), 161–165.
<https://doi.org/10.1007/BF00288918>
- Hadjikhani, N., Kveraga, K., Naik, P., & Ahlfors, S. P. (2009). Early (N170) activation of face-specific cortex by face-like objects. *Neuroreport*, 20(4), 403.
<https://doi.org/10.1097/WNR.0b013e328325a8e1>
- Hagoort, P. (2005). On Broca, brain, and binding: A new framework. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(9), 416–423. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.07.004>
- Halligan, P. W., Fink, G. R., Marshall, J. C., & Vallar, G. (2003). Spatial cognition: Evidence from visual neglect. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(3), 125–133.
- Hamilton, W. D. (1964). The genetical evolution of social behaviour. II. *Journal of Theoretical Biology*, 7(1), 17–52. [https://doi.org/10.1016/0022-5193\(64\)90039-6](https://doi.org/10.1016/0022-5193(64)90039-6)
- Harmand, S., Lewis, J. E., Feibel, C. S., Lepre, C. J., Prat, S., Lenoble, A., Boës, X., Quinn, R. L., Brenet, M., Arroyo, A., Taylor, N., Clément, S., Daver, G., Brugal, J.-P., Leakey, L., Mortlock, R. A., Wright, J. D., Lokorodi, S., Kirwa, C., ... Roche, H. (2015). 3.3-million-year-old stone tools from Lomekwi 3, West Turkana, Kenya. *Nature*, 521(7552), 310–315.
<https://doi.org/10.1038/nature14464>
- Harnad, S. (1987). *Psychophysical and cognitive aspects of categorical perception: A critical overview* (S. Harnad, A c. Di; pp. 1–25). Cambridge University Press.
<https://eprints.soton.ac.uk/250386/>

- Hart, A. C., & Chao, M. Y. (2010). From Odors to Behaviors in *Caenorhabditis elegans*. In A. Menini (A. c. Di), *The Neurobiology of Olfaction*. CRC Press/Taylor & Francis.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK55983/>
- Hasson, U., & Frith, C. D. (2016). Mirroring and beyond: Coupled dynamics as a generalized framework for modelling social interactions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *371*(1693), 20150366. <https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0366>
- Havas, D. A., Glenberg, A. M., Gutowski, K. A., Lucarelli, M. J., & Davidson, R. J. (2010). Cosmetic Use of Botulinum Toxin-A Affects Processing of Emotional Language. *Psychological Science*, *21*(7), 895–900. <https://doi.org/10.1177/0956797610374742>
- Havas, D. A., Glenberg, A. M., & Rinck, M. (2007). Emotion simulation during language comprehension. *Psychonomic Bulletin & Review*, *14*(3), 436–441.
<https://doi.org/10.3758/BF03194085>
- Head, H., & Holmes, G. (1911). Sensory Disturbances from Cerebral Lesion. *Brain*, *34*(2–3), 102–254. <https://doi.org/10.1093/brain/34.2-3.102>
- Heal, J., & Butterfield, J. (1986). *Language, mind, and logic*. 135–150.
- Hecht, E. E., Mahovetz, L. M., Preuss, T. M., & Hopkins, W. D. (2017). A neuroanatomical predictor of mirror self-recognition in chimpanzees. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *12*(1), 37–48. <https://doi.org/10.1093/scan/nsw159>
- Heider, F., & Simmel, M. (1944). An Experimental Study of Apparent Behavior. *The American Journal of Psychology*, *57*(2), 243–259. <https://doi.org/10.2307/1416950>
- Hennenlotter, A., Dresel, C., Castrop, F., Ceballos-Baumann, A. O., Wohlschläger, A. M., & Haslinger, B. (2009). The Link between Facial Feedback and Neural Activity within Central Circuitries of Emotion—New Insights from Botulinum Toxin–Induced Denervation of Frown Muscles. *Cerebral Cortex*, *19*(3), 537–542. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhn104>
- Hesslow, G. (2002). Conscious thought as simulation of behaviour and perception. *Trends in Cognitive Sciences*, *6*(6), 242–247. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(02\)01913-7](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(02)01913-7)
- Hesslow, G. (2012). The current status of the simulation theory of cognition. *Brain Research*, *1428*, 71–79. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2011.06.026>

- Heyes, C. (2011). Automatic imitation. *Psychological Bulletin*, 137(3), 463–483.
<https://doi.org/10.1037/a0022288>
- Heyes, C., & Catmur, C. (2022). What Happened to Mirror Neurons? *Perspectives on Psychological Science*, 17(1), 153–168. <https://doi.org/10.1177/1745691621990638>
- Hiernaux, Q. (2021). Differentiating Behaviour, Cognition, and Consciousness in Plants. *Journal of Consciousness Studies*, 28(1–2), 106–135.
- Hilbert, D. (1902). Mathematical Problems. *Bulletin of the New York Mathematical Society*, 8, 437–479.
- Hill, & Dunbar. (1998). An Evaluation of the Roles of Predation Rate and Predation Risk as Selective Pressures on Primate Grouping Behaviour. *Behaviour*, 135(4), 411–430.
<https://doi.org/10.1163/156853998793066195>
- Hill, R. A., & Lee, P. C. (1998). Predation risk as an influence on group size in cercopithecoid primates: Implications for social structure. *Journal of Zoology*, 245(4), 447–456.
<https://doi.org/10.1017/S0952836998008085>
- Hill, S., Bundy, R. A., Gallup, G. G., & McClure, M. K. (1970). Responsiveness of young nursery reared chimpanzees to mirrors. *Proceedings of the louisiana academy of sciences*, 33, 77–82.
- Hilt, P. M., Cardellicchio, P., Dolfini, E., Pozzo, T., Fadiga, L., & D’Ausilio, A. (2020). Motor Recruitment during Action Observation: Effect of Interindividual Differences in Action Strategy. *Cerebral Cortex*, 30(7), 3910–3920. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhaa006>
- Hinton, G., & Sejnowski, T. J. (1999). *Unsupervised Learning: Foundations of Neural Computation*. MIT Press.
- Hipólito, I. (2022). Cognition Without Neural Representation: Dynamics of a Complex System. *Frontiers in Psychology*, 12. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2021.643276>
- Hoffmann, M., Marques, H., Arieta, A., Sumioka, H., Lungarella, M., & Pfeifer, R. (2010). Body Schema in Robotics: A Review. *IEEE Transactions on Autonomous Mental Development*, 2(4), 304–324. <https://doi.org/10.1109/TAMD.2010.2086454>
- Hofstadter, D. R. (1979). *Godel, Escher, Bach: An Eternal Golden Braid by Douglas R. Hofstadter*. Harvester Press.

- Hofstadter, D. R. (2001). Analogy as the Core of Cognition. In *The analogical mind: Perspectives from cognitive science* (MIT Press, pp. 499–538). D. Gentner, K.J. Holyoak, B.N. Kokinov.
- Hopkins, W. D., Latzman, R. D., Mahovetz, L. M., Li, X., & Roberts, N. (2019). Investigating individual differences in chimpanzee mirror self-recognition and cortical thickness: A vertex-based and region-of-interest analysis. *Cortex*, *118*, 306–314.
<https://doi.org/10.1016/j.cortex.2019.05.004>
- Horikawa, T., Tamaki, M., Miyawaki, Y., & Kamitani, Y. (2013). Neural Decoding of Visual Imagery During Sleep. *Science*, *340*(6132), 639–642. <https://doi.org/10.1126/science.1234330>
- Howell, S. R., Jankowicz, D., & Becker, S. (2005). A model of grounded language acquisition: Sensorimotor features improve lexical and grammatical learning. *Journal of Memory and Language*, *53*(2), 258–276. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2005.03.002>
- Hubbard, T. L. (2010). Auditory imagery: Empirical findings. *Psychological Bulletin*, *136*(2), 302–329. <https://doi.org/10.1037/a0018436>
- Hume, D. (1739). *A Treatise of Human Nature*. Oxford University Press.
- Humphrey, N. (2012). *Soul Dust*. <https://press.princeton.edu/books/paperback/9780691156378/soul-dust>
- Hurley, S. (2008). The shared circuits model (SCM): How control, mirroring, and simulation can enable imitation, deliberation, and mindreading. *The Behavioral and Brain Sciences*, *31*(1), 1–22; discussion 22–58. <https://doi.org/10.1017/S0140525X07003123>
- Hurley, S. L. (1998). *Consciousness in Action*. Harvard University Press.
- Hutto, D. D., & Myin, E. (2012). *Radicalizing Enactivism: Basic Minds without Content*. MIT Press.
- Hutto, D. D., & Myin, E. (2017). *Evolving Enactivism: Basic Minds Meet Content*. MIT Press.
- Iachini, T. (2023). Rappresentazioni, simulazioni embodied e meccanismi cognitivi semplici: Quale etichetta per le piante? *Giornale italiano di psicologia*, *2*, 399–404.
<https://doi.org/10.1421/107799>
- Iacoboni, M. (2009). Imitation, empathy, and mirror neurons. *Annual Review of Psychology*, *60*, 653–670. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.60.110707.163604>

- Iacoboni, M., Woods, R. P., Brass, M., Bekkering, H., Mazziotta, J. C., & Rizzolatti, G. (1999). Cortical Mechanisms of Human Imitation. *Science*, 286(5449), 2526–2528.
<https://doi.org/10.1126/science.286.5449.2526>
- Iizuka, H., Ando, H., & Maeda, T. (2009). The Anticipation of Human Behavior Using «Parasitic Humanoid». In J. A. Jacko (A c. Di), *Human-Computer Interaction. Ambient, Ubiquitous and Intelligent Interaction* (Vol. 5612, pp. 284–293). Springer Berlin Heidelberg.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-02580-8_31
- Ingle, D. (1973). Evolutionary Perspectives on the Function of the Optic Tectum (Part 1 of 2). *Brain, Behavior and Evolution*, 8(3), 211–223. <https://doi.org/10.1159/000124355>
- Inoue-Nakamura, N. (2008). Mirror Self-Recognition in Primates: An Ontogenetic and a Phylogenetic Approach. In T. Matsuzawa (A c. Di), *Primate Origins of Human Cognition and Behavior* (pp. 297–312). Springer Japan. https://doi.org/10.1007/978-4-431-09423-4_14
- Insel, T. R. (2010). The Challenge of Translation in Social Neuroscience: A Review of Oxytocin, Vasopressin, and Affiliative Behavior. *Neuron*, 65(6), 768–779.
<https://doi.org/10.1016/j.neuron.2010.03.005>
- Isaac, A. M. C. (2018). Embodied Cognition as Analog Computation. *Reti, saperi, linguaggi*, 2/2018.
<https://doi.org/10.12832/92298>
- Jackendoff, R. (2002). *Foundations of Language: Brain, Meaning, Grammar, Evolution*. Oxford University Press.
- Jacob, P. (2009). The tuning-fork model of human social cognition: A critique. *Consciousness and Cognition*, 18(1), 229–243. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2008.05.002>
- Jacob, P., & Jeannerod, M. (2005). The motor theory of social cognition: A critique. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(1), 21–25. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.11.003>
- Jeannerod, M. (2001). Neural simulation of action: A unifying mechanism for motor cognition. *NeuroImage*, 14, 103–109. <https://doi.org/10.1006/nimg.2001.0832>
- Jeannerod, M., & Jacob, P. (2005). Visual cognition: A new look at the two-visual systems model. *Neuropsychologia*, 43(2), 301–312. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2004.11.016>

- Jeannerod, M., & Pacherie, E. (2004). Agency, Simulation and Self-identification. *Mind & Language*, *19*(2), 113–146. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0017.2004.00251.x>
- Johnson, C. W. (2006). What Are Emergent Properties and How Do They Affect the Engineering of Complex Systems? *Reliability of the New York mathematical Society*, *91*(12), 1475–1481.
- Johnson-Ulrich, L., & Holekamp, K. E. (2020). Group size and social rank predict inhibitory control in spotted hyaenas. *Animal Behaviour*, *160*, 157–168.
<https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2019.11.020>
- Johnston, W. J., & Fusi, S. (2023). Abstract representations emerge naturally in neural networks trained to perform multiple tasks. *Nature Communications*, *14*(1), Articolo 1.
<https://doi.org/10.1038/s41467-023-36583-0>
- Jones, A. M., Brown, C., & Gardner, S. (2011). Tool use in the tuskfish *Choerodon schoenleinii*? *Coral Reefs*, *30*(3), 865–865. <https://doi.org/10.1007/s00338-011-0790-y>
- Kahneman, D., Slovic, P., & Tversky, A. (1982). *Judgment Under Uncertainty: Heuristics and Biases*. Cambridge University Press.
- Kamigaki, T., Fukushima, T., Tamura, K., & Miyashita, Y. (2012). Neurodynamics of Cognitive Set Shifting in Monkey Frontal Cortex and Its Causal Impact on Behavioral Flexibility. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *24*, 2171–2185. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00277
- Kandel, A. W., Bolus, M., Bretzke, K., Bruch, A. A., Haidle, M. N., Hertler, C., & Märker, M. (2016). Increasing Behavioral Flexibility? An Integrative Macro-Scale Approach to Understanding the Middle Stone Age of Southern Africa. *Journal of Archaeological Method and Theory*, *23*(2), 623–668. <https://doi.org/10.1007/s10816-015-9254-y>
- Kandel, E. R., Schwartz, J. H., & Jessell, T. M. (2014). *Principi di neuroscienze* (V. Perri & G. Spidalieri, Trad.; 4° edizione). CEA.
- Karasik, L. B., Adolph, K. E., Tamis-LeMonda, C. S., & Bornstein, M. H. (2010). WEIRD Walking: Cross-Cultural Research on Motor Development. *The Behavioral and brain sciences*, *33*(2–3), 95–96. <https://doi.org/10.1017/S0140525X10000117>

- Kaye, K., & Fogel, A. (1980). The temporal structure of face-to-face communication between mothers and infants. *Developmental Psychology*, *16*(5), 454–464. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.16.5.454>
- Kern, M., Bert, S., Glanz, O., Schulze-Bonhage, A., & Ball, T. (2019). Human motor cortex relies on sparse and action-specific activation during laughing, smiling and speech production. *Communications Biology*, *2*, Articolo 1. <https://doi.org/10.1038/s42003-019-0360-3>
- Keuken, M. C., Hardie, A., Dorn, B. T., Dev, S., Paulus, M. P., Jonas, K. J., Den Wildenberg, W. P. M. V., & Pineda, J. A. (2011). The role of the left inferior frontal gyrus in social perception: An rTMS study. *Brain Research*, *1383*, 196–205. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2011.01.073>
- Kiebel, S. J., Daunizeau, J., & Friston, K. J. (2008). A Hierarchy of Time-Scales and the Brain. *PLOS Computational Biology*, *4*(11), e1000209. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1000209>
- Kilner, J. M., Friston, K. J., & Frith, C. D. (2007). Predictive coding: An account of the mirror neuron system. *Cognitive Processing*, *8*(3), 159–166. <https://doi.org/10.1007/s10339-007-0170-2>
- Kilner, J. M., & Lemon, R. N. (2013). What We Know Currently about Mirror Neurons. *Current Biology*, *23*(23), R1057–R1062. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.10.051>
- Kilner, J. M., Paulignan, Y., & Blakemore, S. J. (2003). An Interference Effect of Observed Biological Movement on Action. *Current Biology*, *13*(6), 522–525. [https://doi.org/10.1016/S0960-9822\(03\)00165-9](https://doi.org/10.1016/S0960-9822(03)00165-9)
- Kilner, J. M., Vargas, C., Duval, S., Blakemore, S.-J., & Sirigu, A. (2004). Motor activation prior to observation of a predicted movement. *Nature Neuroscience*, *7*(12), Articolo 12. <https://doi.org/10.1038/nn1355>
- Kim, M. J., Neta, M., Davis, F. C., Ruberry, E. J., Dinescu, D., Heatherton, T. F., Stotland, M. A., & Whalen, P. J. (2014). Botulinum toxin-induced facial muscle paralysis affects amygdala responses to the perception of emotional expressions: Preliminary findings from an A-B-A design. *Biology of Mood & Anxiety Disorders*, *4*(1), 11. <https://doi.org/10.1186/2045-5380-4-11>

- Kirchhoff, M., Parr, T., Palacios, E., Friston, K., & Kiverstein, J. (2018). The Markov blankets of life: Autonomy, active inference and the free energy principle. *Journal of The Royal Society Interface*, *15*(138), 20170792. <https://doi.org/10.1098/rsif.2017.0792>
- Kling, A., & Steklis, H. D. (1976). A Neural Substrate for Affiliative Behavior in Nonhuman Primates. *Brain, Behavior and Evolution*, *13*(2–3), 216–238. <https://doi.org/10.1159/000123811>
- Koenig, S., Wolf, R., & Heisenberg, M. (2016). Visual Attention in Flies—Dopamine in the Mushroom Bodies Mediates the After-Effect of Cueing. *PLOS ONE*, *11*(8), e0161412. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0161412>
- Kokal, I., Gazzola, V., & Keysers, C. (2009). Acting together in and beyond the mirror neuron system. *NeuroImage*, *47*(4), 2046–2056. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.06.010>
- Kosslyn, S. M. (1980). *Image and Mind*. Harvard University Press.
- Kosslyn, S. M. (2005). Mental images and the Brain. *Cognitive Neuropsychology*, *22*(3–4), 333–347. <https://doi.org/10.1080/02643290442000130>
- Kosslyn, S. M., Ganis, G., & Thompson, W. L. (2001). Neural foundations of imagery. *Nature Reviews Neuroscience*, *2*(9), Articolo 9. <https://doi.org/10.1038/35090055>
- Kourtis, D., Knoblich, G., & Sebanz, N. (2013). History of interaction and task distribution modulate action simulation. *Neuropsychologia*, *51*(7), 1240–1247. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.04.001>
- Kourtis, D., Sebanz, N., & Knoblich, G. (2010). Favouritism in the motor system: Social interaction modulates action simulation. *Biology Letters*, *6*(6), 758–761. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2010.0478>
- Kourtis, D., Sebanz, N., & Knoblich, G. (2013). Predictive representation of other people’s actions in joint action planning: An EEG study. *Social Neuroscience*, *8*(1), 31–42. <https://doi.org/10.1080/17470919.2012.694823>
- Kuhlmeier, V., Wynn, K., & Bloom, P. (2003). Attribution of dispositional states by 12-month-olds. *Psychological Science*, *14*, 402–408. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.01454>

- Kumar, K., & Thakur, G. S. M. (2012). Advanced Applications of Neural Networks and Artificial Intelligence: A Review. *International Journal of Information Technology and Computer Science*, 4(6), 57–68. <https://doi.org/10.5815/ijitcs.2012.06.08>
- Kurtzer, I. L., Pruszynski, J. A., & Scott, S. H. (2008). Long-Latency Reflexes of the Human Arm Reflect an Internal Model of Limb Dynamics. *Current Biology*, 18(6), 449–453. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2008.02.053>
- Ladewig, S. H., & Bressemer, J. (2013). New insights into the medium hand: Discovering recurrent structures in gestures. *Semiotica*, 2013(197), 203–231. <https://doi.org/10.1515/sem-2013-0088>
- Lakin, J. L., & Chartrand, T. L. (2003). Using Nonconscious Behavioral Mimicry to Create Affiliation and Rapport. *Psychological Science*, 14(4), 334–339. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.14481>
- Lakin, J. L., Chartrand, T. L., & Arkin, R. M. (2008). I Am Too Just Like You: Nonconscious Mimicry as an Automatic Behavioral Response to Social Exclusion. *Psychological Science*, 19(8), 816–822. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2008.02162.x>
- Lakin, J. L., Jefferis, V. E., Cheng, C. M., & Chartrand, T. L. (2003). The Chameleon Effect as Social Glue: Evidence for the Evolutionary Significance of Nonconscious Mimicry. *Journal of Nonverbal Behavior*, 27(3), 145–162. <https://doi.org/10.1023/A:1025389814290>
- Lakoff, G., & Johnson, M. (1980). The metaphorical structure of the human conceptual system. *Cognitive Science*, 4(2), 195–208. https://doi.org/10.1207/s15516709cog0402_4
- Lakoff, G., & Johnson, M. (2008). *Metaphors We Live By*. University of Chicago Press.
- Le Petit, M., Eustache, F., Perrier, J., de La Sayette, V., Desgranges, B., & Laisney, M. (2022). Functional connectivity of the medial prefrontal cortex related to mindreading abilities. *Cerebral Cortex Communications*, 3(3), 1–13. <https://doi.org/10.1093/texcom/tgac032>
- Ledbetter, D. H., & Basen, J. A. (1982). Failure to demonstrate self-recognition in gorillas. *American Journal of Primatology*, 2(3), 307–310. <https://doi.org/10.1002/ajp.1350020309>
- Lee, J. (2023). Enactivism Meets Mechanism: Tensions & Congruities in Cognitive Science. *Minds and Machines*. <https://doi.org/10.1007/s11023-022-09618-6>

- Lenay, C., Stewart, J., Rohde, M., & Ali Amar, A. (2011). You never fail to surprise me: The hallmark of the Other. Experimental study and simulations of perceptual crossing. *Interaction Studies*, 12(3). <https://pub.uni-bielefeld.de/record/2279145>
- Leonard, C. M., Rolls, E. T., Wilson, F. A. W., & Baylis, G. C. (1985). Neurons in the amygdala of the monkey with responses selective for faces. *Behavioural Brain Research*, 15(2), 159–176. [https://doi.org/10.1016/0166-4328\(85\)90062-2](https://doi.org/10.1016/0166-4328(85)90062-2)
- Leopold, D. A. (2023). A redrawn map for the human motor cortex. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/d41586-023-01350-0>
- Leroi-Gourhan, A. (1964). *Le geste et la parole: Tome 1, Technique et langage* (Albin Michel edizione). Albin Michel.
- Lethmate, J., & Ducker, G. (1973). Experiments on self-recognition in a mirror in orangutans, chimpanzees, gibbons and several monkey species. *Zeitschrift für Tierpsychologie*, 33(3–4), 248–269. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0310.1973.tb02094.x>
- Levins, R., & Lewontin, R. (1985). *The Dialectical Biologist*. Harvard University Press.
- Lewis, M., Sullivan, M., Stanger, C., & Weiss, M. (1989). Self development and self-conscious emotions. *Child development*, 60 1, 146–156. <https://doi.org/10.2307/1131080>
- Lieberman, A. M., Cooper, F. S., Shankweiler, D. P., & Studdert-Kennedy, M. (1967). Perception of the speech code. *Psychological Review*, 74(6), 431–461. <https://doi.org/10.1037/h0020279>
- Lieberman, D. E., McBratney, B. M., & Krovitz, G. (2002). The evolution and development of cranial form in Homo sapiens. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(3), 1134–1139. <https://doi.org/10.1073/pnas.022440799>
- Lieberman, P. (2006). *Toward an Evolutionary Biology of Language*. Harvard University Press.
- Lin, A., Bard, K., & Anderson, J. (1992). Development of self-recognition in chimpanzees (Pan troglodytes). *Journal of Comparative Psychology*, 106(2), 120–127.
- Llinas, R. R. (2002). *I of the Vortex: From Neurons to Self*. MIT Press.
- Lockman, J. J., & McHale, J. P. (1989). Object Manipulation in Infancy. In J. J. Lockman & N. L. Hazen (A c. Di), *Action in Social Context: Perspectives on Early Development* (pp. 129–167). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-9000-9_5

- Lotze, M., Montoya, P., Erb, M., Hülsmann, E., Flor, H., Klose, U., Birbaumer, N., & Grodd, W. (1999). Activation of Cortical and Cerebellar Motor Areas during Executed and Imagined Hand Movements: An fMRI Study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *11*(5), 491–501. <https://doi.org/10.1162/089892999563553>
- Lucas, J. R. (1961). Minds, Machines and Gödel. *Philosophy*, *36*(137), 112–127. <https://doi.org/10.1017/S0031819100057983>
- Lungarella, M., & Sporns, O. (2006). Mapping Information Flow in Sensorimotor Networks. *PLOS Computational Biology*, *2*(10), e144. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.0020144>
- Lupyan, G. (2008). The conceptual grouping effect: Categories matter (and named categories matter more). *Cognition*, *108*(2), 566–577. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2008.03.009>
- Lupyan, G., Rakison, D. H., & McClelland, J. L. (2007). Language is not Just for Talking: Redundant Labels Facilitate Learning of Novel Categories. *Psychological Science*, *18*(12), 1077–1083. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.02028.x>
- Machamer, P., Darden, L., & Craver, C. F. (2000). Thinking about Mechanisms. *Philosophy of Science*, *67*(1), 1–25. <https://doi.org/10.1086/392759>
- MacKay, D. G. (2012). *The Organization of Perception and Action: A Theory for Language and Other Cognitive Skills*. Springer Science & Business Media.
- Macosko, E. Z., Pokala, N., Feinberg, E. H., Chalasani, S. H., Butcher, R. A., Clardy, J., & Bargmann, C. I. (2009). A hub-and-spoke circuit drives pheromone attraction and social behaviour in *C. elegans*. *Nature*, *458*(7242), Articolo 7242. <https://doi.org/10.1038/nature07886>
- Magid, M., Reichenberg, J. S., Poth, P. E., Robertson, H. T., LaViolette, A. K., Kruger, T. H. C., & Wollmer, M. A. (2014). Treatment of Major Depressive Disorder Using Botulinum Toxin A: A 24-Week Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Study. *The Journal of Clinical Psychiatry*, *75*(8), 21521. <https://doi.org/10.4088/JCP.13m08845>
- Maher, C. (2017). *Plant Minds: A Philosophical Defense*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315184296>

- Mahon, B. Z., & Caramazza, A. (2005). The orchestration of the sensory-motor systems: Clues from Neuropsychology. *Cognitive Neuropsychology*, 22(3–4), 480–494.
<https://doi.org/10.1080/02643290442000446>
- Mahovetz, L. M., Young, L. J., & Hopkins, W. D. (2016). The influence of AVPR1A genotype on individual differences in behaviors during a mirror self-recognition task in chimpanzees (Pan troglodytes). *Genes, Brain and Behavior*, 15(5), 445–452. <https://doi.org/10.1111/gbb.12291>
- Mannella, F., & Tummolini, L. (2022). Kick-starting concept formation with intrinsically motivated learning: The grounding by competence acquisition hypothesis. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 378(1870), 20210370.
<https://doi.org/10.1098/rstb.2021.0370>
- Maranesi, M., Livi, A., Fogassi, L., Rizzolatti, G., & Bonini, L. (2014). Mirror Neuron Activation Prior to Action Observation in a Predictable Context. *Journal of Neuroscience*, 34(45), 14827–14832. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2705-14.2014>
- Marruffa, M. (2002). Computazione in stile neurale. *Sistemi intelligenti*, 1/2002.
<https://doi.org/10.1422/3591>
- Marruffa, M. (2021). La cognizione delle 4E: Riforma, non rivoluzione. *Sistemi intelligenti*, 1/2021.
<https://doi.org/10.1422/100379>
- Marucci, M., & Betti, V. (2021). Grounded Cognition: Nuove prospettive. *Reti, saperi, linguaggi*, 2(2/2021). <https://doi.org/10.12832/102771>
- Mastrogiorgio, A., Felin, T., Kauffman, S., & Mastrogiorgio, M. (2022). More Thumbs Than Rules: Is Rationality an Exaptation? *Frontiers in Psychology*, 13.
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2022.805743>
- Matelli, M., Camarda, R., Glickstein, M., & Rizzolatti, G. (1986). Afferent and efferent projections of the inferior area 6 in the macaque monkey. *Journal of Comparative Neurology*, 251(3), 281–298. <https://doi.org/10.1002/cne.902510302>
- Matthews, G. A., & Tye, K. M. (2019). Neural mechanisms of social homeostasis. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1457(1), 5–25. <https://doi.org/10.1111/nyas.14016>

- Maturana, H. R., & Varela, F. J. (1980). *Autopoiesis and Cognition*. Springer.
<https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-009-8947-4>
- Maturana, H. R., Varela, F. J., & Young, J. Z. (1992). *Tree of Knowledge: The Biological Roots of Human Understanding* (Revised, Subsequent edizione). Shambhala.
- Maye, A., Isern-Mas, C., Barone, P., & Michael, J. A. (2017). Sensorimotor accounts of joint attention. *Scholarpedia*, 12(2), 42361. <https://doi.org/10.4249/scholarpedia.42361>
- Mazurek, K. A., Rouse, A. G., & Schieber, M. H. (2018). Mirror Neuron Populations Represent Sequences of Behavioral Epochs During Both Execution and Observation. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 38(18), 4441–4455.
<https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3481-17.2018>
- Mazzuca, C., Fini, C., Michalland, A. H., Falcinelli, I., Da Rold, F., Tummolini, L., & Borghi, A. M. (2021). From Affordances to Abstract Words: The Flexibility of Sensorimotor Grounding. *Brain Sciences*, 11(10), Articolo 10. <https://doi.org/10.3390/brainsci11101304>
- McCarthy, G., Puce, A., Gore, J. C., & Allison, T. (1997). Face-Specific Processing in the Human Fusiform Gyrus. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9(5), 605–610.
<https://doi.org/10.1162/jocn.1997.9.5.605>
- McCulloch, W. S., & Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *The Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5(4), 115–133. <https://doi.org/10.1007/BF02478259>
- McVay, J. C., & Kane, M. J. (2009). Conducting the train of thought: Working memory capacity, goal neglect, and mind wandering in an executive-control task. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 35(1), 196–204.
<https://doi.org/10.1037/a0014104>
- Meister, I. G., Krings, T., Foltys, H., Boroojerdi, B., Müller, M., Töpper, R., & Thron, A. (2004). Playing piano in the mind—An fMRI study on music imagery and performance in pianists. *Cognitive Brain Research*, 19(3), 219–228. <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2003.12.005>
- Meltzoff, A. N. (2007). ‘Like me’: A foundation for social cognition. *Developmental Science*, 10(1), 126–134. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2007.00574.x>

- Meltzoff, A. N., & Moore, M. K. (1997). Explaining facial imitation: A theoretical model. *Early Development and Parenting*, 6(3–4), 179–192. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-0917\(199709/12\)6:3/4<179::AID-EDP157>3.0.CO;2-R](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-0917(199709/12)6:3/4<179::AID-EDP157>3.0.CO;2-R)
- Ménoret, M., Bourguignon, M., & Hari, R. (2015). Modulation of Rolandic Beta-Band Oscillations during Motor Simulation of Joint Actions. *PLOS ONE*, 10(7), e0131655. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0131655>
- Ménoret, M., Varnet, L., Fargier, R., Cheylus, A., Curie, A., des Portes, V., Nazir, T. A., & Paulignan, Y. (2014). Neural correlates of non-verbal social interactions: A dual-EEG study. *Neuropsychologia*, 55, 85–97. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.10.001>
- Merleau-Ponty, M. (1973). *Adventures of the Dialectic*. Northwestern University Press.
- Messier, J., & Kalaska, J. F. (2000). Covariation of primate dorsal premotor cell activity with direction and amplitude during a memorized-delay reaching task. *Journal of Neurophysiology*, 84(1), 152–165. <https://doi.org/10.1152/jn.2000.84.1.152>
- Meteyard, L., Cuadrado, S. R., Bahrami, B., & Vigliocco, G. (2012). Coming of age: A review of embodiment and the neuroscience of semantics. *Cortex*, 48(7), 788–804. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2010.11.002>
- Meyer, M., Hunnius, S., van Elk, M., van Ede, F., & Bekkering, H. (2011). Joint action modulates motor system involvement during action observation in 3-year-olds. *Experimental Brain Research*, 211(3), 581–592. <https://doi.org/10.1007/s00221-011-2658-3>
- Meyer, R., & Brancazio, N. (2022). Putting down the revolt: Enactivism as a philosophy of nature. *Frontiers in Psychology*, 13. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2022.948733>
- Michael, J., Sandberg, K., Skewes, J., Wolf, T., Blicher, J., Overgaard, M., & Frith, C. D. (2014). Continuous Theta-Burst Stimulation Demonstrates a Causal Role of Premotor Homunculus in Action Understanding. *Psychological Science*, 25(4), 963–972. <https://doi.org/10.1177/0956797613520608>
- Miłkowski, M., Clowes, R., Rucińska, Z., Przegalińska, A., Zawadzki, T., Krueger, J., Gies, A., McGann, M., Afeltowicz, Ł., Wachowski, W., Stjernberg, F., Loughlin, V., & Hohol, M.

- (2018). From Wide Cognition to Mechanisms: A Silent Revolution. *Frontiers in Psychology*, 9. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2018.02393>
- Mitchell, J. P. (2009). Inferences about mental states. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1521), 1309–1316. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0318>
- Miyawaki, Y., Uchida, H., Yamashita, O., Sato, M., Morito, Y., Tanabe, H. C., Sadato, N., & Kamitani, Y. (2008). Visual Image Reconstruction from Human Brain Activity using a Combination of Multiscale Local Image Decoders. *Neuron*, 60(5), 915–929. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2008.11.004>
- Modell, H., Cliff, W., Michael, J., McFarland, J., Wenderoth, M. P., & Wright, A. (2015). A physiologist's view of homeostasis. *Advances in Physiology Education*, 39(4), 259–266. <https://doi.org/10.1152/advan.00107.2015>
- Molenberghs, P., Cunnington, R., & Mattingley, J. B. (2009). Is the mirror neuron system involved in imitation? A short review and meta-analysis. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 33(7), 975–980. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2009.03.010>
- Molenberghs, P., Cunnington, R., & Mattingley, J. B. (2012). Brain regions with mirror properties: A meta-analysis of 125 human fMRI studies. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 36(1), 341–349. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2011.07.004>
- Moll, H., & Meltzoff, A. N. (2011). Joint attention as the fundamental basis of understanding perspectives. In *Joint attention: New developments in psychology, philosophy of mind, and social neuroscience* (pp. 393–413). Boston Review.
- Molnár, Z., Kaas, J. H., Carlos, J. A. de, Hevner, R. F., Lein, E., & Němec, P. (2014). Evolution and Development of the Mammalian Cerebral Cortex. *Brain, Behavior and Evolution*, 83(2), 126–139. <https://doi.org/10.1159/000357753>
- Molnar-Szakacs, I., Wu, A. D., Robles, F. J., & Iacoboni, M. (2007). Do You See What I Mean? Corticospinal Excitability During Observation of Culture-Specific Gestures. *PLOS ONE*, 2(7), e626. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0000626>
- Moors, A., & De Houwer, J. (2006). Automaticity: A Theoretical and Conceptual Analysis. *Psychological Bulletin*, 132(2), 297–326. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.132.2.297>

- Morabito, C. (2020). *Il motore della mente: Il movimento nella storia delle scienze cognitive*. Gius. Laterza & Figli Spa.
- Morabito, C. (2023). Dal gesto alla parola e ritorno. *Reti, saperi, linguaggi*, 1, 5–30.
<https://doi.org/10.12832/107710>
- Moriuchi, T., Matsuda, D., Nakamura, J., Matsuo, T., Nakashima, A., Nishi, K., Fujiwara, K., Iso, N., Nakane, H., & Higashi, T. (2017). Primary Motor Cortex Activation during Action Observation of Tasks at Different Video Speeds Is Dependent on Movement Task and Muscle Properties. *Frontiers in Human Neuroscience*, 11, 10.
<https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00010>
- Mossio, M., & Taraborelli, D. (2008). Action-dependent perceptual invariants: From ecological to sensorimotor approaches. *Consciousness and Cognition*, 17(4), 1324–1340.
<https://doi.org/10.1016/j.concog.2007.12.003>
- Moulton, S. T., & Kosslyn, S. M. (2009). Imagining predictions: Mental imagery as mental emulation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1521), 1273–1280. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0314>
- Mozer, M. (2006). *Rational Models of Cognitive Control*. 20–25. https://doi.org/10.1007/11839132_2
- Müller, B. C. N., Van Leeuwen, M. L., Van Baaren, R. B., Bekkering, H., & Dijksterhuis, A. (2013). Empathy is a beautiful thing: Empathy predicts imitation only for attractive others. *Scandinavian Journal of Psychology*, 54(5), 401–406. <https://doi.org/10.1111/sjop.12060>
- Murray, L. E., Anderson, J. R., & Gallup, G. G. (2022). Mirror self-recognition in gorillas (*Gorilla gorilla gorilla*): A review and evaluation of mark test replications and variants. *Animal Cognition*, 25(4), 783–792. <https://doi.org/10.1007/s10071-021-01592-3>
- Murray, L., & Trevarthen, C. (1986). The infant's role in mother–infant communications. *Journal of Child Language*, 13(1), 15–29. <https://doi.org/10.1017/S0305000900000271>
- Myers, A., & Sowden, P. T. (2008). Your hand or mine? The extrastriate body area. *NeuroImage*, 42(4), 1669–1677. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2008.05.045>
- Nanay, B. (2013). *Between Perception and Action*. OUP Oxford.
- Nanay, B. (2014). *Perceiving the World*. Oxford University Press.

- Nanay, B. (2020). Motor Imagery and Action Execution. *Ergo: An Open Access Journal of Philosophy*. <https://doi.org/10.3998/ergo.12405314.0007.013>
- Neisser, U. (2014). *Cognitive Psychology*. Psychology Press. <https://doi.org/10.4324/9781315736174>
- Newen, A., Bruin, L. D., & Gallagher, S. (2018). *The Oxford Handbook of 4E Cognition* (4° edizione). OUP Oxford.
- Newen, A., & Vogeley, K. (2003). Self-representation: Searching for a neural signature of self-consciousness. *Consciousness and Cognition*, 12(4), 529–543. [https://doi.org/10.1016/S1053-8100\(03\)00080-1](https://doi.org/10.1016/S1053-8100(03)00080-1)
- Nicholson, I. S., & Gould, J. E. (1995). Mirror mediated object discrimination and self-directed behavior in a female gorilla. *Primates*, 36(4), 515–521. <https://doi.org/10.1007/BF02382873>
- Nielsen, M., Suddendorf, T., & Slaughter, V. (2006). Mirror self-recognition beyond the face. *Child development*, 77 1, 176–185. <https://doi.org/10.1111/J.1467-8624.2006.00863.X>
- Noë, A. (2004). *Action in Perception*. MIT Press.
- Noë, A. (2009). *Out of Our Heads: Why You Are Not Your Brain, and Other Lessons from the Biology of Consciousness* (First edition). Hill and Wang.
- Novembre, G., Ticini, L. F., Schütz-Bosbach, S., & Keller, P. E. (2012). Distinguishing Self and Other in Joint Action. Evidence from a Musical Paradigm. *Cerebral Cortex*, 22(12), 2894–2903. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhr364>
- Novembre, G., Ticini, L. F., Schütz-Bosbach, S., & Keller, P. E. (2014). Motor simulation and the coordination of self and other in real-time joint action. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 9(8), 1062–1068. <https://doi.org/10.1093/scan/nst086>
- Nowak, M. A. (2012). Evolving cooperation. *Journal of Theoretical Biology*, 299, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2012.01.014>
- Nowak, M. A., Tarnita, C. E., & Wilson, E. O. (2010). The evolution of eusociality. *Nature*, 466(7310), Articolo 7310. <https://doi.org/10.1038/nature09205>
- Núñez, R., Allen, M., Gao, R., Miller Rigoli, C., Relaford-Doyle, J., & Semenuks, A. (2019). What happened to cognitive science? *Nature Human Behaviour*, 3(8), 782–791. <https://doi.org/10.1038/s41562-019-0626-2>

- Oberman, L. M., Pineda, J. A., & Ramachandran, V. S. (2007). The human mirror neuron system: A link between action observation and social skills. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 2(1), 62–66. <https://doi.org/10.1093/scan/nsl022>
- Obhi, S. S., & Cross, E. S. (2016). *Shared Representations: Sensorimotor Foundations of Social Life*. Cambridge University Press.
- Odling-Smee, F. J. (1988). Niche-constructing phenotypes. In *The role of behavior in evolution* (pp. 73–132). The MIT Press.
- Odling-Smee, F. J., Laland, K. N., & Feldman, M. W. (1996). Niche Construction. *The American Naturalist*, 147(4), 641–648. <https://doi.org/10.1086/285870>
- Ogawa, K., & Matsuyama, Y. (2023). Heterogeneity of social cognition between visual perspective-taking and theory of mind in the temporo-parietal junction. *Neuroscience Letters*, 807, 137267. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2023.137267>
- Olsen, K., & Tylén, K. (2022). On the social nature of abstraction: Cognitive implications of interaction and diversity. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 378(1870), 20210361. <https://doi.org/10.1098/rstb.2021.0361>
- Omrani, M., Kaufman, M. T., Hatsopoulos, N. G., & Cheney, P. D. (2017). Perspectives on classical controversies about the motor cortex. *Journal of Neurophysiology*, 118(3), 1828–1848. <https://doi.org/10.1152/jn.00795.2016>
- O'Regan, J. K. (2011). *Why Red Doesn't Sound Like a Bell: Understanding the Feel of Consciousness*. Oxford University Press, USA.
- O'Regan, J. K., & Noë, A. (2001). A sensorimotor account of vision and visual consciousness. *Behavioral and Brain Sciences*, 24(5), 939–973. <https://doi.org/10.1017/S0140525X01000115>
- Orlandi, N. (2014). *The Innocent Eye: Why Vision is Not a Cognitive Process*. Oxford University Press.
- Otsuka, Y., Konishi, Y., Kanazawa, S., Yamaguchi, M. K., Abdi, H., & O'Toole, A. J. (2009). Recognition of Moving and Static Faces by Young Infants. *Child Development*, 80(4), 1259–1271. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2009.01330.x>
- Ott, E. (2002). *Chaos in Dynamical Systems*. Cambridge University Press.

- Paccalin, C., & Jeannerod, M. (2000). Changes in breathing during observation of effortful actions. *Brain Research*, 862(1), 194–200. [https://doi.org/10.1016/S0006-8993\(00\)02145-4](https://doi.org/10.1016/S0006-8993(00)02145-4)
- Pacherie, E. (2008). The phenomenology of action: A conceptual framework. *Cognition*, 107(1), 179–217. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2007.09.003>
- Pacherie, E. (2011). Framing Joint Action. *Review of Philosophy and Psychology*, 2(2), 173–192. <https://doi.org/10.1007/s13164-011-0052-5>
- Paivio, A. (1971). Imagery and language. In S. J. Segal (A c. Di), *Imagery* (pp. 7–32). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-635450-8.50008-X>
- Panagiotopoulou, E., Filippetti, M. L., Tsakiris, M., & Fotopoulou, A. (2017). Affective Touch Enhances Self-Face Recognition During Multisensory Integration. *Scientific Reports*, 7(1), Articolo 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-13345-9>
- Paolucci, C. (2020). A Radical Enactivist Approach to Social Cognition. In A. Pennisi & A. Falzone (A c. Di), *The Extended Theory of Cognitive Creativity: Interdisciplinary Approaches to Performativity* (pp. 59–74). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22090-7_4
- Papadourakis, V., & Raos, V. (2019). Neurons in the Macaque Dorsal Premotor Cortex Respond to Execution and Observation of Actions. *Cerebral Cortex*, 29(10), 4223–4237. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhy304>
- Parisi, D. (2002). Marconi e Anolli-Legrenzi sulla psicologia e la scienza cognitiva. *Sistemi intelligenti*, 139–147.
- Parisi, D. (2013). Embodied Cognition sì, ma tradotta in robotica. *Giornale italiano di psicologia*, 105–108. <https://doi.org/10.1421/73984>
- Parvizi, J., Jacques, C., Foster, B. L., Withoft, N., Rangarajan, V., Weiner, K. S., & Grill-Spector, K. (2012). Electrical Stimulation of Human Fusiform Face-Selective Regions Distorts Face Perception. *Journal of Neuroscience*, 32(43), 14915–14920. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2609-12.2012>

- Pascal, F., & O'Regan, J. K. (2008). Commentary on Mossio and Taraborelli: Is the enactive approach really sensorimotor? *Consciousness and Cognition: An International Journal*, 17(4), 1341–1342. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2008.06.013>
- Pascalis, O., de Haan, M., & Nelson, C. A. (2002). Is Face Processing Species-Specific During the First Year of Life? *Science*, 296(5571), 1321–1323. <https://doi.org/10.1126/science.1070223>
- Pascalis, O., Scott, L. S., Kelly, D. J., Shannon, R. W., Nicholson, E., Coleman, M., & Nelson, C. A. (2005). Plasticity of face processing in infancy. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(14), 5297–5300. <https://doi.org/10.1073/pnas.0406627102>
- Paternoster, A. (2021). La sfida dell'antirappresentazionalismo. *Sistemi intelligenti*, 1, 131–148. <https://doi.org/10.1422/100381>
- Pazzaglia, M. (2013). Action and language grounding in the sensorimotor cortex. *Language and Cognition*, 5(2–3), 211–223. <https://doi.org/10.1515/langcog-2013-0015>
- Pei, Y. (2015). From Determinism and Probability to Chaos: Chaotic Evolution towards Philosophy and Methodology of Chaotic Optimization. *The Scientific World Journal*, 2015, e704587. <https://doi.org/10.1155/2015/704587>
- Pelphrey, K. A., Singerman, J. D., Allison, T., & McCarthy, G. (2003). Brain activation evoked by perception of gaze shifts: The influence of context. *Neuropsychologia*, 41(2), 156–170. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(02\)00146-X](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(02)00146-X)
- Penfield, W., & Rasmussen, T. (1950). *The cerebral cortex of man; a clinical study of localization of function* (pp. xv, 248). Macmillan.
- Pennisi, A. (2016). Prospettive evoluzioniste nell'embodied cognition. Il cervello «inquilino del corpo». *Reti, saperi, linguaggi*, 1/2016. <https://doi.org/10.12832/83924>
- Pennisi, A. (2020). Dimensions of the Bodily Creativity. For an Extended Theory of Performativity. In A. Pennisi & A. Falzone (A c. Di), *The Extended Theory of Cognitive Creativity: Interdisciplinary Approaches to Performativity* (pp. 9–40). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22090-7_2
- Pennisi, A. (2021). *Che ne sarà dei corpi? Spinoza e i misteri della cognizione incarnata* (1a edizione). Il Mulino.

- Pennisi, A., & Falzone, A. (2016). *Darwinian Biolinguistics: Theory and History of a Naturalistic Philosophy of Language and Pragmatics* (1st ed. 2016). Springer International Publishing : Imprint: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-47688-9>
- Pennisi, A., & Falzone, A. (2017). *Linguaggio, evoluzione e scienze cognitive: Un'introduzione*. Corisco.
- Penrose, R. (1989). *The Emperor's New Mind: Concerning Computers, Minds and The Laws of Physics*. Oxford University Press.
- Perconti, P., & Plebe, A. (2020). Deep learning and cognitive science. *Cognition*, 203, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2020.104365>
- Perrett, D. I., Harries, M. H., Bevan, R., Thomas, S., Benson, P. J., Mistlin, A. J., Chitty, A. J., Hietanen, J. K., & Ortega, J. E. (1989). Frameworks of analysis for the neural representation of animate objects and actions. *Journal of Experimental Biology*, 146(1), 87–113. <https://doi.org/10.1242/jeb.146.1.87>
- Perrett, D. I., Hietanen, J. K., Oram, M. W., Benson, P. J., Rolls, E. T., Bruce, V., Cowey, A., Ellis, A. W., & Perrett, D. I. (1992). Organization and functions of cells responsive to faces in the temporal cortex. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 335(1273), 23–30. <https://doi.org/10.1098/rstb.1992.0003>
- Pesquita, A., Whitwell, R. L., & Enns, J. T. (2018). Predictive joint-action model: A hierarchical predictive approach to human cooperation. *Psychonomic Bulletin & Review*, 25(5), 1751–1769. <https://doi.org/10.3758/s13423-017-1393-6>
- Pessoa, L. (2008). On the relationship between emotion and cognition. *Nature Reviews Neuroscience*, 9(2), Articolo 2. <https://doi.org/10.1038/nrn2317>
- Peters, E. H. (1981). Differentiation and Syntax in the Evolution of Behavioral Flexibility. *Current Anthropology*, 22, 683–686. <https://doi.org/10.1086/202751>
- Pezzulo, G., Roche, L., & Saint-Bauzel, L. (2021). Haptic communication optimises joint decisions and affords implicit confidence sharing. *Scientific Reports*, 11(1051), Articolo 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80041-6>

- Pfeifer, R., & Bongard, J. (2006). *How the Body Shapes the Way We Think: A New View of Intelligence*. MIT Press.
- Pfeifer, R., Lungarella, M., & Iida, F. (2007). Self-Organization, Embodiment, and Biologically Inspired Robotics. *Science*, *318*(5853), 1088–1093. <https://doi.org/10.1126/science.1145803>
- Phelps, E. A., O'Connor, K. J., Cunningham, W. A., Funayama, E. S., Gatenby, J. C., Gore, J. C., & Banaji, M. R. (2000). Performance on Indirect Measures of Race Evaluation Predicts Amygdala Activation. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *12*(5), 729–738. <https://doi.org/10.1162/089892900562552>
- Piaget, J. (1923). *The Origin Of Intelligence In The Child*. <http://archive.org/details/in.ernet.dli.2015.458564>
- Piaget, J. (1971). *Biology and knowledge: An essay on the relations between organic regulations and cognitive processes*. Chicago : University of Chicago Press. <http://archive.org/details/biologyknowledge0000piag>
- Piaget, J. (1972a). *The Psychology of Intelligence*. <http://archive.org/details/psychologyofinte0000jean>
- Piaget, J. (1972b). The Role of Imitation in the Development of Representational Thought. *International Journal of Mental Health*, *1*(4), 67–74. <https://doi.org/10.1080/00207411.1972.11448598>
- Piaget, J. (1975). *L'Équilibration des structures cognitives*. Presses universitaires de France.
- Piccinini, G. (2018). Computation and Representation in Cognitive Neuroscience. *Minds and Machines*, *28*(1), 1–6. <https://doi.org/10.1007/s11023-018-9461-x>
- Piccinini, G., & Scarantino, A. (2011). Information processing, computation, and cognition. *Journal of Biological Physics*, *37*(1), 1–38. <https://doi.org/10.1007/s10867-010-9195-3>
- Pievani, T. (2017). *La teoria dell'evoluzione. Attualità di una rivoluzione scientifica* (3° edizione). Il Mulino.
- Ping, R. M., Dhillon, S., & Beilock, S. L. (2009). Reach For What You Like: The Body's Role in Shaping Preferences. *Emotion Review*, *1*(2), 140–150. <https://doi.org/10.1177/1754073908100439>

- Pinker, S. (2010). The cognitive niche: Coevolution of intelligence, sociality, and language. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *107*(supplement_2), 8993–8999. <https://doi.org/10.1073/pnas.0914630107>
- Pitcher, D., Walsh, V., & Duchaine, B. (2011). The role of the occipital face area in the cortical face perception network. *Experimental Brain Research*, *209*(4), 481–493. <https://doi.org/10.1007/s00221-011-2579-1>
- Pitron, V., Alsmith, A., & de Vignemont, F. (2018). How do the body schema and the body image interact? *Consciousness and Cognition*, *65*, 352–358. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2018.08.007>
- Plebe, A. (2018). Contesto e rappresentazioni neurali. *Reti, saperi, linguaggi*, *1/2018*. <https://doi.org/10.12832/90979>
- Plebe, A., & De La Cruz, V. (2016). *Neurosemantics Neural Processes and the Construction of Language Meaning*. Springer.
- Plebe, A., & De La Cruz, V. M. (2018). Neural Representations Beyond “Plus X”. *Minds and Machines*, *28*(1), 93–117. <https://doi.org/10.1007/s11023-018-9457-6>
- Plebe, A., & De La Cruz, V. M. (2020). Neural Representations in Context. In A. Pennisi & A. Falzone (A c. Di), *The Extended Theory of Cognitive Creativity: Interdisciplinary Approaches to Performativity* (pp. 285–300). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22090-7_18
- Ploog, D. (2002). Is the neural basis of vocalisation different in non-human primates and Homo sapiens? *The Speciation of Modern Homo Sapiens*, 121–135.
- Plotnik, J. M., de Waal, F. B. M., & Reiss, D. (2006). Self-recognition in an Asian elephant. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *103*(45), 17053–17057. <https://doi.org/10.1073/pnas.0608062103>
- Porciello, G., Bufalari, I., Minio-Paluello, I., Di Pace, E., & Aglioti, S. M. (2018). The «Enfacement» illusion: A window on the plasticity of the self. *Cortex; a Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*, *104*, 261–275. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2018.01.007>

- Porro, C. A., Francescato, M. P., Cettolo, V., Diamond, M. E., Baraldi, P., Zuiani, C., Bazzocchi, M., & Prampero, P. E. di. (1996). Primary Motor and Sensory Cortex Activation during Motor Performance and Motor Imagery: A Functional Magnetic Resonance Imaging Study. *Journal of Neuroscience*, *16*(23), 7688–7698. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.16-23-07688.1996>
- Posada, S., & Colell, M. (2007). Another gorilla (*Gorilla gorilla gorilla*) recognizes himself in a mirror. *American Journal of Primatology*, *69*(5), 576–583. <https://doi.org/10.1002/ajp.20355>
- Povinelli, D. J., Rulf, A. B., Landau, K. R., & Bierschwale, D. T. (1993). Self-recognition in chimpanzees (*Pan troglodytes*): Distribution, ontogeny, and patterns of emergence. *Journal of Comparative Psychology*, *107*(4), 347–372. <https://doi.org/10.1037/0735-7036.107.4.347>
- Preston, S. D., & Waal, F. B. M. de. (2002). Empathy: Its ultimate and proximate bases. *Behavioral and Brain Sciences*, *25*(1), 1–20. <https://doi.org/10.1017/S0140525X02000018>
- Pruszynski, J. A., Kurtzer, I., Nashed, J. Y., Omrani, M., Brouwer, B., & Scott, S. H. (2011). Primary motor cortex underlies multi-joint integration for fast feedback control. *Nature*, *478*(7369), Articolo 7369. <https://doi.org/10.1038/nature10436>
- Pylyshyn, Z. W. (1981). The imagery debate: Analogue media versus tacit knowledge. *Psychological Review*, *88*, 16–45. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.88.1.16>
- Pylyshyn, Z. W. (1984). *Computation and Cognition: Toward a Foundation for Cognitive Science*. A Bradford Book.
- Qin, J., & Wheeler, A. R. (2007). Maze exploration and learning in *C. elegans*. *Lab Chip*, *7*(2), 186–192. <https://doi.org/10.1039/B613414A>
- Raichle, M. E., MacLeod, A. M., Snyder, A. Z., Powers, W. J., Gusnard, D. A., & Shulman, G. L. (2001). A default mode of brain function. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *98*(2), 676–682. <https://doi.org/10.1073/pnas.98.2.676>
- Raichle, M. E., & Snyder, A. Z. (2007). A default mode of brain function: A brief history of an evolving idea. *NeuroImage*, *37*(4), 1083–1090. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.02.041>
- Raja, V. (2018). A Theory of Resonance: Towards an Ecological Cognitive Architecture. *Minds and Machines*, *28*(1), 29–51. <https://doi.org/10.1007/s11023-017-9431-8>

- Ramenzoni, V. C., Sebanz, N., & Knoblich, G. (2014). Scaling up perception–action links: Evidence from synchronization with individual and joint action. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 40(4), 1551–1565. <https://doi.org/10.1037/a0036925>
- Ramnani, N., & Miall, R. C. (2004). A system in the human brain for predicting the actions of others. *Nature Neuroscience*, 7(1), 85–90. <https://doi.org/10.1038/nn1168>
- Ramsey, W. M. (2007). *Representation Reconsidered*. Cambridge University Press.
- Raos, V., Evangelidou, M. N., & Savaki, H. E. (2007). Mental simulation of action in the service of action perception. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 27(46), 12675–12683. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2988-07.2007>
- Rathkopf, C. (2020). What Kind of Information is Brain Information? *Topoi*, 39, 95–105.
- Reddish, P., Fischer, R., & Bulbulia, J. (2013). Let’s Dance Together: Synchrony, Shared Intentionality and Cooperation. *PLOS ONE*, 8(8), e71182. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0071182>
- Reddy, V. (2003). On being the object of attention: Implications for self–other consciousness. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(9), 397–402. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(03\)00191-8](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(03)00191-8)
- Reed, C. L. (2002). What is the body schema? In A. N. Meltzoff & W. Prinz (A c. Di), *The Imitative Mind: Development, Evolution and Brain Bases* (pp. 233–244). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511489969.014>
- Reiss, D., & Marino, L. (2001). Mirror self-recognition in the bottlenose dolphin: A case of cognitive convergence. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(10), 5937–5942. <https://doi.org/10.1073/pnas.101086398>
- Riegler, A., Peschl, M. F., & Stein, A. von (A c. Di). (1999). *Understanding representation in the cognitive sciences: Does representation need reality?* Kluwer Academic/Plenum.
- Riley, M., Richardson, M., Shockley, K., & Ramenzoni, V. (2011). Interpersonal Synergies. *Frontiers in Psychology*, 2. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2011.00038>
- Rizzolatti, G., & Arbib, M. A. (1998). Language within our grasp. *Trends in Neurosciences*, 21(5), 188–194. [https://doi.org/10.1016/S0166-2236\(98\)01260-0](https://doi.org/10.1016/S0166-2236(98)01260-0)

- Rizzolatti, G., Camarda, R., Fogassi, L., Gentilucci, M., Luppino, G., & Matelli, M. (1988). Functional organization of inferior area 6 in the macaque monkey. *Experimental Brain Research*, *71*(3), 491–507. <https://doi.org/10.1007/BF00248742>
- Rizzolatti, G., Cattaneo, L., Fabbri-Destro, M., & Rozzi, S. (2014). Cortical Mechanisms Underlying the Organization of Goal-Directed Actions and Mirror Neuron-Based Action Understanding. *Physiological Reviews*, *94*(2), 655–706. <https://doi.org/10.1152/physrev.00009.2013>
- Rizzolatti, G., & Fabbri-Destro, M. (2008). The mirror system and its role in social cognition. *Current Opinion in Neurobiology*, *18*(2), 179–184. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2008.08.001>
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, V., & Fogassi, L. (1996). Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Cognitive Brain Research*, *3*(2), 131–141. [https://doi.org/10.1016/0926-6410\(95\)00038-0](https://doi.org/10.1016/0926-6410(95)00038-0)
- Rizzolatti, G., & Fogassi, L. (2014). The mirror mechanism: Recent findings and perspectives. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *369*(1644), 20130420. <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0420>
- Rizzolatti, G., Fogassi, L., & Gallese, V. (2000). Cortical mechanisms subserving object grasping and action recognition: A new view on the cortical motor functions. *The new cognitive neurosciences*, *2*, 539–552.
- Rizzolatti, G., Luppino, G., & Matelli, M. (1998). The organization of the cortical motor system: New concepts. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *106*(4), 283–296. [https://doi.org/10.1016/S0013-4694\(98\)00022-4](https://doi.org/10.1016/S0013-4694(98)00022-4)
- Rochat, P., Broesch, T., & Jayne, K. (2012). Social awareness and early self-recognition. *Consciousness and Cognition*, *21*(3), 1491–1497. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2012.04.007>
- Rochat, P., & Striano, T. (2002). Who's in the mirror? Self-other discrimination in specular images by four- and nine-month-old infants. *Child Development*, *73*(1), 35–46. <https://doi.org/10.1111/1467-8624.00390>
- Rohde, M., & Stewart, J. (2008). Ascriptional and 'genuine' autonomy. *Biosystems*, *91*(2), 424–433. <https://doi.org/10.1016/j.biosystems.2007.05.017>

- Rolla, G., & Huffermann, J. (2022). Converging enactivisms: Radical enactivism meets linguistic bodies. *Adaptive Behavior - Animals, Animats, Software Agents, Robots, Adaptive Systems*, 30(4), 345–359. <https://doi.org/10.1177/10597123211020782>
- Rolls, E. T., Cowey, A., Bruce, V., Bruce, V., Cowey, A., Ellis, A. W., & Perrett, D. I. (1992). Neurophysiological mechanisms underlying face processing within and beyond the temporal cortical visual areas. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 335(1273), 11–21. <https://doi.org/10.1098/rstb.1992.0002>
- Roth, M., Decety, J., Raybaudi, M., Massarelli, R., Delon-Martin, C., Segebarth, C., Morand, S., Gemignani, A., Décorps, M., & Jeannerod, M. (1996). Possible involvement of primary motor cortex in mentally simulated movement: A functional magnetic resonance imaging study. *Neuroreport*, 7(7), 1280–1284. <https://doi.org/10.1097/00001756-199605170-00012>
- Ruffino, C., Papaxanthis, C., & Lebon, F. (2017). Neural plasticity during motor learning with motor imagery practice: Review and perspectives. *Neuroscience*, 341, 61–78. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2016.11.023>
- Russell, B. (1902). Letter to Frege. *From Frege to Gödel*, 124–125.
- Sacheli, L. M., Verga, C., Arcangeli, E., Banfi, G., Tettamanti, M., & Paulesu, E. (2019). How Task Interactivity Shapes Action Observation. *Cerebral Cortex*, 29(12), 5302–5314. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhz205>
- Sadeghi, S., Schmidt, S. N. L., Mier, D., & Hass, J. (2022). Effective connectivity of the human mirror neuron system during social cognition. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 17(8), 732–743. <https://doi.org/10.1093/scan/nsab138>
- Sagiv, N., & Bentin, S. (2001). Structural Encoding of Human and Schematic Faces: Holistic and Part-Based Processes. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13(7), 937–951. <https://doi.org/10.1162/089892901753165854>
- Sahney, S., Benton, M. J., & Falcon-Lang, H. J. (2010). Rainforest collapse triggered Carboniferous tetrapod diversification in Euramerica. *Geology*, 38(12), 1079–1082. <https://doi.org/10.1130/G31182.1>

- Santos, N. S., David, N., Bente, G., & Vogeley, K. (2008). Parametric induction of animacy experience. *Consciousness and Cognition*, *17*(2), 425–437.
<https://doi.org/10.1016/j.concog.2008.03.012>
- Saxe, R. (2006). Uniquely human social cognition. *Current Opinion in Neurobiology*, *16*(2), 235–239.
<https://doi.org/10.1016/j.conb.2006.03.001>
- Saxe, R., & Baron-Cohen, S. (2006). Editorial: The neuroscience of theory of mind. *Social Neuroscience*, *1*(3–4), 1–9. <https://doi.org/10.1080/17470910601117463>
- Saxe, R., & Wexler, A. (2005). Making sense of another mind: The role of the right temporo-parietal junction. *Neuropsychologia*, *43*(10), 1391–1399.
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2005.02.013>
- Saygin, A. P., Chaminade, T., Ishiguro, H., Driver, J., & Frith, C. (2012). The thing that should not be: Predictive coding and the uncanny valley in perceiving human and humanoid robot actions. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *7*(4), 413–422.
<https://doi.org/10.1093/scan/nsr025>
- Sayood, K. (2018). Information Theory and Cognition: A Review. *Entropy*, *20*(9), Articolo 9.
<https://doi.org/10.3390/e20090706>
- Scerri, E. M. L., & Will, M. (2023). The revolution that still isn't: The origins of behavioral complexity in Homo sapiens. *Journal of Human Evolution*, *179*, 103358.
<https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2023.103358>
- Schaik, C. P. V. (1983). Why Are Diurnal Primates Living in Groups? *Behaviour*, *87*(1–2), 120–144.
<https://doi.org/10.1163/156853983X00147>
- Schilbach, L., Eickhoff, S. B., Rotarska-Jagiela, A., Fink, G. R., & Vogeley, K. (2008). Minds at rest? Social cognition as the default mode of cognizing and its putative relationship to the “default system” of the brain. *Consciousness and Cognition*, *17*(2), 457–467.
<https://doi.org/10.1016/j.concog.2008.03.013>
- Schilbach, L., Wohlschlaeger, A. M., Kraemer, N. C., Newen, A., Shah, N. J., Fink, G. R., & Vogeley, K. (2006). Being with virtual others: Neural correlates of social interaction. *Neuropsychologia*, *44*(5), 718–730. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2005.07.017>

- Schippers, M. B., & Keysers, C. (2011). Mapping the flow of information within the putative mirror neuron system during gesture observation. *NeuroImage*, *57*(1), 37–44.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.02.018>
- Schlicht, T. (2018). Does Separating Intentionality From Mental Representation Imply Radical Enactivism? *Frontiers in Psychology*, *9*.
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2018.01497>
- Scholz, J., Triantafyllou, C., Whitfield-Gabrieli, S., Brown, E. N., & Saxe, R. (2009). Distinct Regions of Right Temporo-Parietal Junction Are Selective for Theory of Mind and Exogenous Attention. *PLOS ONE*, *4*(3), e4869. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0004869>
- Scholz, M., Dinner, A. R., Levine, E., & Biron, D. (2017). Stochastic feeding dynamics arise from the need for information and energy. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *114*(35), 9261–9266. <https://doi.org/10.1073/pnas.1703958114>
- Schürmann, M., Raij, T., Fujiki, N., & Hari, R. (2002). Mind’s Ear in a Musician: Where and When in the Brain. *NeuroImage*, *16*(2), 434–440. <https://doi.org/10.1006/nimg.2002.1098>
- Schwoebel, J., Boronat, C. B., & Branch Coslett, H. (2002). The man who executed “imagined” movements: Evidence for dissociable components of the body schema. *Brain and Cognition*, *50*(1), 1–16. [https://doi.org/10.1016/S0278-2626\(02\)00005-2](https://doi.org/10.1016/S0278-2626(02)00005-2)
- Scott, L. S., & Monesson, A. (2009). The Origin of Biases in Face Perception. *Psychological Science*, *20*(6), 676–680. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2009.02348.x>
- Scott, L. S., & Monesson, A. (2010). Experience-dependent neural specialization during infancy. *Neuropsychologia*, *48*(6), 1857–1861. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2010.02.008>
- Scott, S. H. (2004). Optimal feedback control and the neural basis of volitional motor control. *Nature Reviews Neuroscience*, *5*(7), Articolo 7. <https://doi.org/10.1038/nrn1427>
- Seemann, A. (2012). *Joint Attention: New Developments in Psychology, Philosophy of Mind, and Social Neuroscience*. MIT Press.
- Segall, M. H., Campbell, D. T., & Herskovits, M. J. (1966). The influence of culture on visual perception. *Indianapolis: Bobbs-Merrill*, 310.

- Seifert, L. S. (1997). Activating representations in permanent memory: Different benefits for pictures and words. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *23*, 1106–1121. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.23.5.1106>
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*, *27*(3), 379–423. <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>
- Shanton, K., & Goldman, A. (2010). Simulation theory. *WIREs Cognitive Science*, *1*(4), 527–538. <https://doi.org/10.1002/wcs.33>
- Shapiro, L. A. (2004). *The mind incarnate*. Cambridge, Mass. : MIT Press. <http://archive.org/details/mindincarnate0000shap>
- Shapiro, L. A. (2013). Dynamics and Cognition. *Minds and Machines*, *23*(3), 353–375. <https://doi.org/10.1007/s11023-012-9290-2>
- Shapiro, L. A. (2014). Radicalizing Enactivism: Basic Minds without Content, by Daniel D. Hutto and Erik Myin. *Mind*, *123*(489), 213–220. <https://doi.org/10.1093/mind/fzu033>
- Shen, G., Horikawa, T., Majima, K., & Kamitani, Y. (2019). Deep image reconstruction from human brain activity. *PLOS Computational Biology*, *15*(1), e1006633. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1006633>
- Söderkvist, S., Ohlén, K., & Dimberg, U. (2018). How the Experience of Emotion is Modulated by Facial Feedback. *Journal of Nonverbal Behavior*, *42*(1), 129–151. <https://doi.org/10.1007/s10919-017-0264-1>
- Soechting, J. F., & Lacquaniti, F. (1988). Quantitative evaluation of the electromyographic responses to multidirectional load perturbations of the human arm. *Journal of Neurophysiology*, *59*(4), 1296–1313. <https://doi.org/10.1152/jn.1988.59.4.1296>
- Sormaz, M., Murphy, C., Wang, H., Hymers, M., Karapanagiotidis, T., Poerio, G., Margulies, D. S., Jefferies, E., & Smallwood, J. (2018). Default mode network can support the level of detail in experience during active task states. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *115*(37), 9318–9323. <https://doi.org/10.1073/pnas.1721259115>
- Spelke, E. S. (2022). *What Babies Know: Core Knowledge and Composition Volume 1*. Oxford University Press.

- Spelke, E. S., & Kinzler, K. D. (2007). Core knowledge. *Developmental Science*, *10*(1), 89–96.
<https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2007.00569.x>
- Spreng, R. N. (2012). The Fallacy of a “Task-Negative” Network. *Frontiers in Psychology*, *3*, 145.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00145>
- Sprevak, M., & Smith, R. (2023). An Introduction to Predictive Processing Models of Perception and Decision-Making. *Topics in Cognitive Science*, 1–28. <https://doi.org/10.1111/tops.12704>
- Squire, L. R., Knowlton, B., & Musen, G. (1993). The structure and organization of memory. *Annual Review of Psychology*, *44*, 453–495.
- Stedman, H. H., Kozyak, B. W., Nelson, A., Thesier, D. M., Su, L. T., Low, D. W., Bridges, C. R., Shrager, J. B., Minugh-Purvis, N., & Mitchell, M. A. (2004). Myosin gene mutation correlates with anatomical changes in the human lineage. *Nature*, *428*(6981), Article 6981.
<https://doi.org/10.1038/nature02358>
- Stel, M., van Dijk, E., & van Baaren, R. B. (2016). When and Why Mimicry is Facilitated and Attenuated. *Social and Personality Psychology Compass*, *10*(10), 561–574.
<https://doi.org/10.1111/spc3.12269>
- Strack, F., Martin, L. L., & Stepper, S. (1988). Inhibiting and facilitating conditions of the human smile: A nonobtrusive test of the facial feedback hypothesis. *Journal of Personality and Social Psychology*, *54*, 768–777. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.54.5.768>
- Streeck, J. (2010). *New Adventures in Language and Interaction*. 1–288.
- Stuart, D. G., & Hultborn, H. (2008). Thomas Graham Brown (1882–1965), Anders Lundberg (1920–), and the neural control of stepping. *Brain Research Reviews*, *59*(1), 74–95.
<https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2008.06.001>
- Stürmer, B., Aschersleben, G., & Prinz, W. (2000). Correspondence effects with manual gestures and postures: A study of imitation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *26*(6), 1746–1759. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.26.6.1746>
- Suarez, S. D., & Gallup, G. G. (1981). Self-recognition in chimpanzees and orangutans, but not gorillas. *Journal of Human Evolution*, *10*(2), 175–188. [https://doi.org/10.1016/S0047-2484\(81\)80016-4](https://doi.org/10.1016/S0047-2484(81)80016-4)

- Suddendorf, T., & Collier-Baker, E. (2009). The evolution of primate visual self-recognition: Evidence of absence in lesser apes. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 276(1662), 1671–1677. <https://doi.org/10.1098/rspb.2008.1754>
- Summerfield, C., & Egner, T. (2009). Expectation (and attention) in visual cognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 13(9), 403–409. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2009.06.003>
- Sutton, J. (2015). Remembering as Public Practice: Wittgenstein, memory, and distributed cognitive ecologies. In *Remembering as Public Practice: Wittgenstein, memory, and distributed cognitive ecologies* (pp. 409–444). De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110378795.409>
- Swartz, K. B., & Evans, S. (1994). Social and cognitive factors in chimpanzee and gorilla mirror behavior and self-recognition. In *Self-awareness in animals and humans: Developmental perspectives* (pp. 189–206). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511565526.013>
- Swoyer, C. (1991). Structural representation and surrogative reasoning. *Synthese*, 87(3), 449–508. <https://doi.org/10.1007/BF00499820>
- Taraborelli, D., & Mossio, M. (2008). On the relation between the enactive and the sensorimotor approach to perception. *Consciousness and Cognition*, 17(4), 1343–1344. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2008.08.002>
- Theios, J., & Amrhein, P. C. (1989). Theoretical analysis of the cognitive processing of lexical and pictorial stimuli: Reading, naming, and visual and conceptual comparisons. *Psychological Review*, 96, 5–24. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.96.1.5>
- Thelen, E., & Smith, L. B. (1998). Dynamic systems theories. In *Handbook of child psychology: Theoretical models of human development, Volume 1, 5th ed* (pp. 563–634). John Wiley & Sons Inc.
- Thill, S., Caligiore, D., Borghi, A. M., Ziemke, T., & Baldassarre, G. (2013). Theories and computational models of affordance and mirror systems: An integrative review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 37(3), 491–521. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.01.012>

- Thirion, B., Duchesnay, E., Hubbard, E., Dubois, J., Poline, J.-B., Lebihan, D., & Dehaene, S. (2006). Inverse retinotopy: Inferring the visual content of images from brain activation patterns. *NeuroImage*, 33(4), 1104–1116. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.06.062>
- Thomas, N. (2002). *A note on «schema» and «image schema»*.
- Thompson, E. (2010). *Mind in Life: Biology, Phenomenology, and the Sciences of Mind*. Harvard University Press.
- Thompson, E. L., Bird, G., & Catmur, C. (2019). Conceptualizing and testing action understanding. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 105, 106–114. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2019.08.002>
- Thompson, E., & Varela, F. J. (2001). Radical embodiment: Neural dynamics and consciousness. *Trends in Cognitive Sciences*, 5(10), 418–425. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01750-2](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01750-2)
- Tkach, D., Reimer, J., & Hatsopoulos, N. G. (2007). Congruent Activity during Action and Action Observation in Motor Cortex. *Journal of Neuroscience*, 27(48), 13241–13250. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2895-07.2007>
- Tobias, P. V. (1987). The brain of Homo habilis: A new level of organization in cerebral evolution. *Journal of Human Evolution*, 16(7), 741–761. [https://doi.org/10.1016/0047-2484\(87\)90022-4](https://doi.org/10.1016/0047-2484(87)90022-4)
- Tomasello, M. (2019). *Becoming Human: A Theory of Ontogeny*. Harvard University Press.
- Tomasello, M. (2020). The adaptive origins of uniquely human sociality. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 375(1803), 20190493. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0493>
- Tomasello, M. (2022). *The Evolution of Agency: Behavioral Organization from Lizards to Humans*. The MIT Press.
- Tomasello, M., Carpenter, M., Call, J., Behne, T., & Moll, H. (2005). Understanding and sharing intentions: The origins of cultural cognition. *Behavioral and Brain Sciences*, 28(5), 675–691. <https://doi.org/10.1017/S0140525X05000129>
- Tomkins, S. (1962). *Affect Imagery Consciousness: Volume I: The Positive Affects*. Springer Publishing Company.

- Tomkins, S. S. (1980). Chapter 6 - AFFECT AS AMPLIFICATION: SOME MODIFICATIONS IN THEORY¹¹The modifications in theory presented here are taken from my forthcoming book, *Affect, imagery, consciousness*, Vol. III. New York: Springer, 1979, in press. In R. Plutchik & H. Kellerman (A c. Di), *Theories of Emotion* (pp. 141–164). Academic Press.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-558701-3.50012-0>
- Tononi, G. (2004). An information integration theory of consciousness. *BMC Neuroscience*, 5(1), 42.
<https://doi.org/10.1186/1471-2202-5-42>
- Tramacere, A., & Ferrari, P. F. (2016). Faces in the mirror, from the neuroscience of mimicry to the emergence of mentalizing. *Journal of Anthropological Sciences*, 94, 113–126.
<https://doi.org/10.4436/JASS.94037>
- Trevarthen, C., & Aitken, K. J. (2001). Infant Intersubjectivity: Research, Theory, and Clinical Applications. *The Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 42(1), 3–48. <https://doi.org/10.1017/S0021963001006552>
- Trivers, R. L. (1971). The Evolution of Reciprocal Altruism. *The Quarterly Review of Biology*, 46(1), 35–57. <https://doi.org/10.1086/406755>
- Tsai, J. C.-C., Sebanz, N., & Knoblich, G. (2011). The GROOP effect: Groups mimic group actions. *Cognition*, 118(1), 135–140. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2010.10.007>
- Tsakiris, M. (2008). Looking for Myself: Current Multisensory Input Alters Self-Face Recognition. *PLOS ONE*, 3(12), e4040. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0004040>
- Tsao, D. Y., Freiwald, W. A., Tootell, R. B. H., & Livingstone, M. S. (2006). A Cortical Region Consisting Entirely of Face-Selective Cells. *Science*, 311(5761), 670–674.
<https://doi.org/10.1126/science.1119983>
- Turchin, P. (2016). *Ultrasociety: How 10,000 years of war made humans the greatest cooperators on earth*. Beresta Book.
- Tylén, K., Fusaroli, R., Østergaard, S. M., Smith, P., & Arnoldi, J. (2020). *The social route to abstraction: Interaction and diversity enhance performance and transfer in a rule-based categorization task* [Preprint]. PsyArXiv. <https://doi.org/10.31234/osf.io/qs253>

- Tylén, K., Weed, E., Wallentin, M., Roepstorff, A., & Frith, C. D. (2010). Language as a Tool for Interacting Minds. *Mind & Language*, 25(1), 3–29. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0017.2009.01379.x>
- Umiltà, M. A., Escola, L., Intskirveli, I., Grammont, F., Rochat, M., Caruana, F., Jezzini, A., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (2008). When pliers become fingers in the monkey motor system. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(6), 2209–2213. <https://doi.org/10.1073/pnas.0705985105>
- Urgen, B. A., & Miller, L. E. (2015). Towards an Empirically Grounded Predictive Coding Account of Action Understanding. *Journal of Neuroscience*, 35(12), 4789–4791. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0144-15.2015>
- Urgesi, C., Maieron, M., Avenanti, A., Tidoni, E., Fabbro, F., & Aglioti, S. M. (2010). Simulating the Future of Actions in the Human Corticospinal System. *Cerebral Cortex*, 20(11), 2511–2521. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhp292>
- Vallortigara, G. (2021). *Pensieri della mosca con la testa storta*. Adelphi Edizioni spa.
- Van Overwalle, F. (2009). Social cognition and the brain: A meta-analysis. *Human Brain Mapping*, 30(3), 829–858. <https://doi.org/10.1002/hbm.20547>
- VanRullen, R. (2017). Perception Science in the Age of Deep Neural Networks. *Frontiers in Psychology*, 8. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2017.00142>
- Varela, F. J. (1979). *Principles of Biological Autonomy*. North-Holland.
- Varela, F. J. (1991). Making it concrete: Before, during and after breakdowns. *Rev Int Psychopathologie*, 4, 435–450.
- Varela, F. J. (1992). Autopoiesis and a biology of intentionality. *Proceedings of the workshop “Autopoiesis and Perception”*, 4–14.
- Varela, F. J., Thompson, E., & Rosch, E. (1993). *The Embodied Mind, revised edition: Cognitive Science and Human Experience*. MIT Press.
- Viale, R., Gallagher, S., & Gallese, V. (2023). Bounded rationality, enactive problem solving, and the neuroscience of social interaction. *Frontiers in Psychology*, 14. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2023.1152866>

- Vigliocco, G., Kousta, S.-T., Della Rosa, P. A., Vinson, D. P., Tettamanti, M., Devlin, J. T., & Cappa, S. F. (2014). The Neural Representation of Abstract Words: The Role of Emotion. *Cerebral Cortex*, *24*(7), 1767–1777. <https://doi.org/10.1093/cercor/bht025>
- Vigneswaran, G., Philipp, R., Lemon, R. N., & Kraskov, A. (2013). M1 corticospinal mirror neurons and their role in movement suppression during action observation. *Current Biology: CB*, *23*(3), 236–243. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.12.006>
- Villalobos, M., & Dewhurst, J. (2017). Why post-cognitivism does not (necessarily) entail anti-computationalism. *Adaptive Behavior*, *25*(3), 117–128. <https://doi.org/10.1177/1059712317710496>
- Viola, M. (2023). *La mente nel cervello: Introduzione all'ontologia cognitiva*. Rosenberg & Sellier.
- Voiklis, J., & Corter, J. E. (2012). Conventional Wisdom: Negotiating Conventions of Reference Enhances Category Learning. *Cognitive Science*, *36*(4), 607–634. <https://doi.org/10.1111/j.1551-6709.2011.01230.x>
- Von Holst, E. (1954). Relations between the central Nervous System and the peripheral organs. *The British Journal of Animal Behaviour*, *2*(3), 89–94. [https://doi.org/10.1016/S0950-5601\(54\)80044-X](https://doi.org/10.1016/S0950-5601(54)80044-X)
- Walraven, V., van Elsacker, L., & Verheyen, R. (1995). Reactions of a group of pygmy chimpanzees (*Pan paniscus*) to their mirror-images: Evidence of self-recognition. *Primates*, *36*(1), 145–150. <https://doi.org/10.1007/BF02381922>
- Walter, H., Adenzato, M., Ciaramidaro, A., Enrici, I., Pia, L., & Bara, B. G. (2004). Understanding Intentions in Social Interaction: The Role of the Anterior Paracingulate Cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *16*(10), 1854–1863. <https://doi.org/10.1162/0898929042947838>
- Wang, Y., & Hamilton, A. (2012). Social top-down response modulation (STORM): A model of the control of mimicry in social interaction. *Frontiers in Human Neuroscience*, *6*. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnhum.2012.00153>
- Ward, D., Silverman, D., & Villalobos, M. (2017). Introduction: The Varieties of Enactivism. *Topoi*, *36*(3), 365–375. <https://doi.org/10.1007/s11245-017-9484-6>

- Wei, D., Talwar, V., & Lin, D. (2021). Neural circuits of social behaviors: Innate yet flexible. *Neuron*, *109*(10), 1600–1620. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2021.02.012>
- Wells, G. L., & Gavanski, I. (1989). Mental simulation of causality. *Journal of Personality and Social Psychology*, *56*(2), 161–169. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.56.2.161>
- Wen, H., Shi, J., Zhang, Y., Lu, K.-H., Cao, J., & Liu, Z. (2018). Neural Encoding and Decoding with Deep Learning for Dynamic Natural Vision. *Cerebral Cortex*, *28*(12), 4136–4160. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhx268>
- Westergaard, G. C., & Hyatt, C. W. (1994). The responses of bonobos (*Pan paniscus*) to their mirror images: Evidence of selfrecognition. *Human Evolution*, *9*(4), 273–279. <https://doi.org/10.1007/BF02435514>
- Wiener, N. (1948). Cybernetics. *Scientific American*, *179*(5), 14–19.
- Wiese, W. (2017). What are the contents of representations in predictive processing? *Phenomenology and the Cognitive Sciences*, *16*(4), 715–736. <https://doi.org/10.1007/s11097-016-9472-0>
- Wild, B., Rodden, F. A., Grodd, W., & Ruch, W. (2003). Neural correlates of laughter and humour. *Brain*, *126*(10), 2121–2138. <https://doi.org/10.1093/brain/awg226>
- Wild, B., Rodden, F. A., Rapp, A., Erb, M., Grodd, W., & Ruch, W. (2006). Humor and smiling: Cortical regions selective for cognitive, affective, and volitional components. *Neurology*, *66*(6), 887–893. <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000203123.68747.02>
- Willems, R. M., Özyürek, A., & Hagoort, P. (2007). When Language Meets Action: The Neural Integration of Gesture and Speech. *Cerebral Cortex*, *17*(10), 2322–2333. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhl141>
- Williams, D., & Colling, L. (2018). From symbols to icons: The return of resemblance in the cognitive neuroscience revolution. *Synthese*, *195*(5), 1941–1967. <https://doi.org/10.1007/s11229-017-1578-6>
- Williams, G. C. (2017). *Group Selection*. Routledge.
- Wilson, D. S., & Sober, E. (1998). Multilevel selection and the return of group-level functionalism. *Behavioral and Brain Sciences*, *21*(2), 305–306. <https://doi.org/10.1017/S0140525X98221194>
- Wilson, E. O. (2012). *The Social Conquest of Earth* (Reprint edizione). Liveright Pub Corp.

- Wilson, M., & Knoblich, G. (2005). The Case for Motor Involvement in Perceiving Conspecifics. *Psychological Bulletin*, *131*, 460–473. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.131.3.460>
- Wiltermuth, S. S., & Heath, C. (2009). Synchrony and Cooperation. *Psychological Science*, *20*(1), 1–5. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2008.02253.x>
- Wise, S. P., Boussaoud, D., Johnson, P. B., & Caminiti, R. (1997). Premotor and parietal cortex: Corticocortical connectivity and combinatorial computations. *Annual Review of Neuroscience*, *20*, 25–42. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.20.1.25>
- Wollmer, M., Kalak, N., Jung, S., DeBoer, C., Magid, M., Reichenberg, J., Brand, S., Holsboer-Trachsler, E., & Kruger, T. (2014). Agitation Predicts Response of Depression to Botulinum Toxin Treatment in a Randomized Controlled Trial. *Frontiers in Psychiatry*, *5*, 1–5.
- Wolpert, D. M., Doya, K., & Kawato, M. (2003). A unifying computational framework for motor control and social interaction. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, *358*(1431), 593–602. <https://doi.org/10.1098/rstb.2002.1238>
- Wurm, M. F., & Caramazza, A. (2019). Distinct roles of temporal and frontoparietal cortex in representing actions across vision and language. *Nature Communications*, *10*(1), 289. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-08084-y>
- Wurm, M. F., & Lingnau, A. (2015). Decoding Actions at Different Levels of Abstraction. *Journal of Neuroscience*, *35*(20), 7727–7735. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0188-15.2015>
- Wuyam, B., Moosavi, S. H., Decety, J., Adams, L., Lansing, R. W., & Guz, A. (1995). Imagination of dynamic exercise produced ventilatory responses which were more apparent in competitive sportsmen. *The Journal of Physiology*, *482*(3), 713–724. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1995.sp020554>
- Yin, H. H., & Knowlton, B. J. (2006). The role of the basal ganglia in habit formation. *Nature Reviews. Neuroscience*, *7*(6), 464–476. <https://doi.org/10.1038/nrn1919>
- Yip, D. W., & Lui, F. (2022). Physiology, Motor Cortical. In *StatPearls*. StatPearls Publishing. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK542188/>
- Zahavi, A. (1975). Mate selection—A selection for a handicap. *Journal of Theoretical Biology*, *53*(1), 205–214. [https://doi.org/10.1016/0022-5193\(75\)90111-3](https://doi.org/10.1016/0022-5193(75)90111-3)

Zajonc, R. B., Murphy, S. T., & Inglehart, M. (1989). Feeling and facial efference: Implications of the vascular theory of emotion. *Psychological Review*, 96(3), 395–416.

<https://doi.org/10.1037/0033-295x.96.3.395>

Zatorre, R. J., Halpern, A. R., Perry, D. W., Meyer, E., & Evans, A. C. (1996). Hearing in the Mind's Ear: A PET Investigation of Musical Imagery and Perception. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 8(1), 29–46. <https://doi.org/10.1162/jocn.1996.8.1.29>

Neuroscience, 8(1), 29–46. <https://doi.org/10.1162/jocn.1996.8.1.29>

Zipoli Caiani, S. (2016). *Corporeità e cognizione: La filosofia della mente incorporata* (Prima edizione Le Monnier Università). Le Monnier università.