

IL RAGIONAMENTO COME SUPERORGANISMO

Francesco Bianchini - francesco.bianchini5@unibo.it
Dipartimento di Filosofia, Università di Bologna

Abstract

The discussion concerning the new trends in cognitive science seems very strictly tied to two fields of research: neuroscience and biology. First of all, because cognitive phenomena are neuroscientific and biological phenomena as well. Secondly, because such disciplines are able to contribute to the understanding of mental events and cognitive capabilities. In this paper, I deal with a special class of biological entities, superorganisms, in order to show how biological inspired computation could benefit from the studies on such particular entities, that are intermediate between low organisms and higher level organisms made by low organisms. Latest scientific outcomes about superorganisms are interesting from the point of view of the notion of emergence, that is crucial in biological and cognitive science, for it explains phenomena by means of two connected features: autonomy and dependence on lower levels of a certain phenomenon. In superorganisms we could see some ways in which high levels depends on low levels, and such a dependence arises from a connection of cooperative and competitive actions of lower entities. I argue that biological inspired models of cognition could benefit from some traits of superorganisms, in order to simulate cognitive capabilities as representation and perception.

Keywords

Superorganisms, emergence, biocomputation, representation, modularism, connectionism.

1. Introduzione su due vecchie scienze

Mentre la fisica contemporanea si interroga e si interrogherà ancora a lungo sul significato dei recenti risultati sulla scoperta del bosone di Higgs, entità postulata diversi decenni fa e soltanto oggi trovata grazie alle sperimentazioni dell'LHC di Ginevra, la biologia di questo stesso periodo consolida le acquisizioni compiute nell'ultimo decennio relative al superamento di una visione troppo sbilanciata sulla genetica, inserendosi in un quadro teorico in cui la differenziazione e l'integrazione fra livelli sono diventati il frame concettuale attraverso cui analizzare la realtà naturale vivente evolutivamente intesa. Così, mentre la fisica soddisfa il suo bisogno di mattoni fondamentali della realtà, la cui necessità prescritta dal Modello Standard serve a conferire massa a quegli elementi *oggettivamente* elusivi della fisica subatomica che si trovano al livello più basso, la biologia sembra doversi confrontare continuamente con l'opposta tendenza alla ridefinizione degli elementi oggettivi che compongono le entità dei suoi vari campi di studio e non può non avvicinarsi sempre di più a una prospettiva in cui i livelli superiori sono fondanti, e dunque causalmente esplicativi, tanto quanto quelli inferiori.

La dottrina dell'emergenza, intesa in un senso ontologicamente realistico ma debole, propugna infatti una relativa autonomia dei livelli superiori rispetto a quelli inferiori, senza negare la dipendenza ontologica e l'interdipendenza esplicativa delle realtà che considera come oggetto (Bedau & Humphreys, 2008). Per quanto riguarda la biologia, si pensi in particolare alla triplice interazione che avviene fra il livello genetico, quello organismico e quello di specie, senza contare la relazione orizzontale di influenza reciproca e retroattiva che le entità di questi livelli instaurano con l'ambiente (naturale e sociale) in cui si trovano¹.

La tensione fra riduzionismo ed emergentismo, propria di entrambe queste discipline, la fisica e la biologia, con

una marcata tendenza costitutiva della prima per il riduzionismo e della seconda per l'emergentismo, è connessa con gli studi sulla mente, il pensiero e la cognizione che si sono sviluppati negli ultimi decenni e che in questo periodo stanno vivendo una fase di transizione da modelli di spiegazione riduzionistici e analitici a modelli che adottano approcci integrati. Perciò, se da un parte gli studi sul pensiero in generale e la psicologia, nelle sue varie sottodiscipline, sembrano sulla soglia di essere assorbiti dalle neuroscienze quanto a metodi, linguaggio e universo ontologico, pagando in questo modo un forte tributo al riduzionismo, dall'altra, la prospettiva integrata, multilivello, emergentistica della biologia sembra fornire agli studi sulla mente nuove vie per sfuggire ad un riduzionismo ed a un eliminazionismo intesi in senso forte². Questa sembra anche una delle lezioni che si può trarre dalla modellistica computazionale cognitiva biologicamente ispirata (*biologically inspired*) e dalla bio-computazione. Si può vedere, infatti, in questo tipo di ricerche una duplice motivazione di fondo: quella di *riconduurre* gli studi sui vari aspetti del pensiero a una più generale cornice biologica, essendo esso, il pensiero, un fenomeno che trova origine, evolutivamente, nel mondo biologico e, ontologicamente, negli organismi viventi, fatto ormai non più trascurato dall'insieme delle discipline interessate a questo tipo di ricerche; e quella di recuperare dal mondo del vivente schemi, forme e processi per simulare e modellare il pensiero senza rinunciare alle sue peculiarità, ma neanche alla plausibilità esplicativa da un punto di vista evolutivo.

Al di là delle questioni sollevate dalla psicologia evolutiva, che qui non possiamo affrontare e commentare per ragioni di spazio, uno degli aspetti più interessanti della prospettiva *biologically inspired* è legato ai numerosi tentativi che sono stati fatti attraverso di essa per spiegare le forme di pensiero più astratte, come i vari tipi di ragionamento logico e analogico, i quali sembrano implicare imprescindibilmente aspetti rappresentazionali, sequenziali, *top down* e di controllo unificato e/o centralizzato del

1. Per una presentazione della teoria dell'evoluzione in senso gerarchico si veda Eldredge (1999). Per una discussione e una relativa bibliografia si rimanda a Pievani (2005).

2. Sul problema della spiegazione in scienza cognitiva da un punto di vista epistemologico si rimanda a Marruffa, Paternoster (2011).

processo di ragionamento. Le due cose paiono stare, infatti, su poli opposti, quasi antagonisti, e le vie d'accesso per arrivare a una comprensione dei secondi attraverso la prima sembrano molto strette, o molto difficili da percorrere, e intrinsecamente correlate con il concetto di rete.

2. Biocomputazione e rappresentazione

Allo scopo di definirne alcune coordinate, si può ricordare che la biocomputazione, o computazione biologicamente ispirata, è un campo all'interno della computazione naturale, un filone di ricerca a sua volta composito, perché comprende, fra gli altri, sia i tentativi di utilizzare i computer per simulare e in questo modo "sintetizzare" i fenomeni naturali, sia i programmi di ricerca basati sulla costruzione di metodi per il *problem solving* che si ispirano ad aspetti naturali, in particolare ripresi dal mondo biologico. A questo complesso panorama va aggiunta la considerazione che la robotica si pone al di fuori di, ma molto vicino e in stretta connessione a, questo tipo di ricerche, sfruttando cospicuamente i risultati delle metodologie impiegate nella computazione naturale e nella biocomputazione.

Se è vero che uno degli assunti epistemologici della biologia si fonda sull'idea che ogni fenomeno suo oggetto di studio per essere compreso va vagliato anche, e necessariamente, dal punto di vista della sua storia evolutiva, questo aspetto è solo una delle variabili in gioco nella biocomputazione. In altri termini, la biocomputazione, come la computazione naturale, può portare a comprendere, in un movimento di ritorno, alcuni fenomeni biologici. Tuttavia, essa sfrutta piuttosto le caratteristiche dei fenomeni naturali, modellizzandole, come euristiche, prefiggendosi come scopo principale quello di risolvere questioni legate alle computazione in modo migliore o ottimale rispetto ai metodi tradizionali dell'intelligenza artificiale (IA). Tutto ciò ha avuto negli anni un forte impatto anche sulla scienza cognitiva, per quanto riguarda la comprensione di quei fenomeni mentali che sono stati al centro del dibattito degli ultimi decenni. Dunque, la biocomputazione, come branca della computazione naturale, non ha prodotto solo nuovi strumenti per lo svolgimento di compiti un tempo dominio esclusivo dell'IA di tipo, cosiddetto, ingegneristico, ovvero tesa al risultato più che alla comprensione del fenomeno, ma anche nuovi metodi per ideare e realizzare simulazioni a fini esplicativi della cognizione umana.

Alcuni campi all'interno della biocomputazione hanno avuto un'influenza fin dagli anni Settanta del secolo scorso, procedendo in parallelo con lo sviluppo delle reti neurali e del connessionismo. Si pensi, ad esempio, agli algoritmi genetici (Holland, 1992)³, sviluppati già prima che il connessionismo ritrovasse nuova fortuna dopo decenni di relativo oblio e che nascono come algoritmi di ottimizzazione nella soluzione di problemi di ricerca. Essi furono impiegati, anche se non esclusivamente, nel campo dell'IA per affrontare problemi difficili da risolvere con algoritmi di tipo classico e furono così chiamati perché si ispirano alla genetica e alla selezione naturale, costituendo una sottoparte degli algoritmi di matrice "darwiniana", generalmente chiamati algoritmi evolutivi. Il principio su cui si fondano gli algoritmi genetici è quello della riproduzione selettiva di stringhe di codice, chiamate geni, che codificano diverse soluzioni per un problema di ottimizzazione. Tale riproduzione selettiva, di popolazione in popolazione, avviene secondo i canoni classici della selezione darwiniana: mutazione (casuale) e *fitness* (verso l'obiettivo ottimale), con anche una certa misura di *crossing-over* genetico. Ciò che conta, però, è che la facoltà di ricorrere a questi principi è resa possibile dalla loro interpretazione funzionale, che ne permette una modellizzazione passibile di applicazioni ad ampio raggio, dalla bioinformatica e all'ingegneria fino all'economia e alle scienze sociali.

La scelta di ricorrere a euristiche di ispirazione biologica e naturale *anche* per risolvere problemi tipici dell'IA e legati alla

3. La prima edizione è del 1975.

scienza cognitiva è comune a varie branche della biocomputazione. Oltre agli algoritmi genetici e alle reti neurali, possiamo ricordare gli automi cellulari, i sistemi immunitari artificiali, la vita artificiale, le reti di comunicazione, le reti sensoriali e altre euristiche ancora, tutte ispirate a fenomeni specifici del mondo biologico. Al di là degli indubbi progressi in termini di strumenti messi a disposizione da questo tipo di ricerche, la scorporabilità o separabilità funzionale di questo tipo di fenomeni, al di là delle critiche rivolte al funzionalismo computazionale⁴, ne ha permesso un uso anche in termini esplicativi per quanto riguarda determinate capacità riconducibili al pensiero e all'intelligenza. Si tratta in particolare di quelle capacità che possono essere definite di alto livello, come il ragionamento, il senso di identità, la pianificazione e altre, che appaiono tutte chiamate in causa una sostanziale, imprescindibile capacità rappresentazionale. L'utilizzo di elementi funzionali ripresi da sistemi biologici, unitamente al concetto di emergenza e ai contributi della matematica impiegata per spiegare i fenomeni complessi, ha dischiuso negli ultimi decenni nuovi e interessanti tentativi di spiegazione dei fenomeni mentali di livello superiore.

3. La mente come società, la coscienza come competizione

Una delle principali prospettive che si sono occupate di spiegare il pensiero con metodi biologicamente ispirati è, come è noto, il connessionismo, che si è avvalso delle reti neurali, una metodologia imperniata sull'estrazione di alcuni aspetti del funzionamento del cervello e dei suoi componenti, i neuroni. Tuttavia, l'utilizzo di reti per fornire una spiegazione emergente dei processi mentali a partire dall'interazione di componenti di livello inferiore è anche quella proposta da Minsky nello stesso periodo in cui si assiste alla proliferazione delle metodologie connessioniste (Minsky, 1986). In termini generali, l'idea di Minsky, nel tentativo di ricomprendere in un quadro unitario la totalità dei processi mentali, è quella di "spiegare l'intelligenza come una combinazione di cose più semplici" (Minsky, 1986: 34). A tale principio guida corrisponde un sistema basato su agenti, identificati funzionalmente, la cui azione combinata produce il fenomeno da spiegare e la cui spiegazione in termini funzionali è ottenuta grazie alla scomposizione in sottoagenti meno complessi fino ad arrivare, pena il regresso all'infinito, ad agenti che compiano operazioni molto semplici, non ulteriormente scomponibili e direttamente eseguibili dalla macchina (cerebrale⁵). Combinando i ruoli degli agenti e dei sottoagenti in modo gerarchico ed eterarchico, Minsky prova a dare una spiegazione, o un quadro generale di spiegazione, all'interno del quale vanno poste le singole ricerche specifiche, i vari aspetti del pensiero: il ragionamento, l'apprendimento, la memoria, la comprensione, il Sé, ecc. Gli agenti preposti a un certo compito possono entrare in conflitto, uscirne indeboliti e trasmettere la loro debolezza agli agenti di livello superiore, ma non in tutti i casi. La mente come risultato generale del sistema emerge anche, e in certi casi soprattutto, come comportamento coordinato, se non cooperativo, di agenti che solo da un certo livello in su sono in grado di negoziare la loro attività in modo da evitare interferenze reciproche. In molte situazioni anche la cooperazione degli agenti sarà un risultato emergente (Minsky, 1986: 54-55).

L'idea di una scomposizione delle capacità cognitive complesse in capacità più semplici è già presente nella scienza cognitiva prima di Minsky ed è direttamente collegata al modularismo, che si afferma definitivamente a partire dagli anni Ottanta (Fodor,

4. Sono ben note a tale proposito le posizioni di Searle (1980) e Edelman (2004), che pure si riferiscono o sembrano intaccare solo una versione molto ristretta di funzionalismo, finendo per accettarne i principi di fondo.

5. L'argomento "del cervello" è affrontato solo tangenzialmente da Minsky (1986: 618-623), il quale si muove in un'ottica simulativa ancora largamente simbolica dal punto di vista tradizionale.

1983). Il modularismo ha da subito suscitato un ampio dibattito. Nel corso degli anni si è assistito al tentativo di superare i vincoli posti da una concezione di modulo come unità di elaborazione specializzata, incapsulata e isolata informativamente, che impone restrizioni insormontabili nel momento in cui si intendono spiegare le capacità cognitive di livello superiore. In quest'ottica va visto il tentativo fatto da Minsky, ma sono da annoverare anche gli altri compiuti all'interno di questo filone etichettabile come "analisi funzionale"⁶. Uno dei più riusciti, e dei più completi, è quello compiuto da Dennett per spiegare la coscienza (Dennett, 1991).

La componente competitiva è alla base del modello che Dennett fornisce per spiegare la coscienza, da lui chiamato Modello delle Molteplici Versioni (*Multiple Drafts Model*). L'obiettivo di Dennett è quello di fornire una spiegazione dei fenomeni coscienti alternativa a quella da lui definita Teatro Cartesiano, ovvero l'idea che esista un luogo privilegiato nel nostro cervello che costituisca il punto di arrivo nel quale i nostri contenuti di pensiero diventano coscienti nell'ordine in cui vi arrivano. A tale visione ingenua, materialistica, Dennett oppone un modello di tipo eliminazionista (ma soltanto relativamente ai *qualia*, all'io e a ciò che rientra nella categoria di fenomeno cosciente soggettivo o in prima persona), mantenendo comunque una forte componente rappresentazionista all'interno della sua proposta. Secondo il suo modello, i contenuti di pensiero sono editati in parallelo nel cervello, ma una sola volta. Ciò produce molteplici versioni della rielaborazione del materiale percettivo (o dei contenuti di pensiero in generale) e la coscienza consiste nel particolare sondaggio che in ogni dato momento viene fatto nel flusso di queste versioni. Tale sondaggio non decide, ma indica quale insieme di contenuti ha prevalso sugli altri, ed è dunque il risultato di un incessante confronto competitivo che porta *bottom up* a un determinato flusso narrativo cosciente, corrispondente a quella parte dei contenuti che in un certo momento è monitorata⁷. Dunque, la coscienza segue, e non guida, la produzione di contenuto, una produzione che è di fatto ancora di tipo rappresentazionale, anche se la teoria di Dennett consiste, nella sua essenza, nel tentativo di mantenere gli o alcuni aspetti rappresentazionali che paiono molto difficilmente eliminabili nella spiegazione dei sistemi cognitivi senza incorrere nel rischio del regresso omuncolare all'infinito⁸.

Certamente, l'idea che numerosi agenti e molteplici contenuti siano il substrato funzionale da cui emerge il pensiero, la cognizione o anche la coscienza, si sviluppa ben prima delle proposte di Minsky o Dennett, già agli albori dell'IA. Basti pensare all'architettura *Pandemonium* proposta da Selfridge (1959), cui anche Dennett esplicitamente si richiama. Ciò che è interessante, però, è il fatto che, per avvicinarsi a una spiegazione effettiva delle capacità cognitive, siano necessari al contempo processi *bottom up*, parallelismo, l'accettazione della validità di principi come quelli dell'emergenza, dell'auto-organizzazione, e un'interazione dinamica fra cooperazione e competizione, con uno sbilan-

ciamento sull'aspetto competitivo tanto maggiore quanto più si tenta di spiegare gli aspetti unitari o unificanti della cognizione (la coscienza, l'io, l'elaborazione centrale o l'idea di un'unità di supervisione centrale dei processi di pensiero). Il tutto, senza rinunciare, o meglio, per non rinunciare, agli aspetti positivi della componente rappresentazionale coinvolta nella cognizione. Nella convergenza che tutto questo apparato esplicativo manifesta attualmente con il suo inquadramento in una cornice biologica, attraverso lo sviluppo delle neuroscienze, un'ulteriore branca della biocomputazione potrebbe essere in futuro ancora portatrice di ulteriori significativi progressi in questa direzione. Vediamo quale e come.

4. La nozione di superorganismo

Una delle modalità della computazione biologicamente ispirata cui non si è accennato in precedenza, ma in cui è rintracciabile in massimo grado la tendenza a recuperare gli aspetti emergentistici tipici di alcuni fenomeni biologici, è quella della *swarm intelligence* (intelligenza di sciame). In natura esistono diversi esempi di comportamenti complessi che nascono dall'interazione del comportamento collettivo di molti agenti locali dalle possibilità limitate. È il caso delle colonie di formiche, vespe, api, termiti, ma anche degli stormi di uccelli o dei banchi di pesce. A differenza dei fenomeni complessi in fisica, nel caso biologico degli sciami o delle colonie, l'enorme potere adattativo di tali insiemi di esseri viventi ne ha fatto degli ottimi candidati per la spiegazione *bottom up* di fenomeni altrimenti difficilmente spiegabili all'interno di una cornice evolutiva, cioè non come risultato di una creazione imposta dall'alto. Tuttavia, l'importanza del fenomeno della *swarm intelligence* non sta soltanto nel comprendere come essa possa essersi determinata da un punto di vista evolutivo, ma nel capire anche che cosa ha determinato la nascita e lo sviluppo di questi fenomeni.

Dal punto di vista delle computazione, la prima applicazione degli elementi funzionalmente rilevanti e scorporabili della *swarm intelligence* è avvenuta in robotica (Beni, Wang, 1989; Beni 2007), ma essa ha influenzato anche altri campi di ricerca come l'IA o le neuroscienze (Bonabeau, Dorigo, Theraulaz, 1999), portando alla costruzione di algoritmi e sistemi di agenti in grado di coglierne gli aspetti essenziali. Quello che a noi interessa è valutare se i punti di forza di questo tipo di sistemi adattativi complessi, cioè la robustezza e la flessibilità, possono essere utili nel comprendere, e simulare, non solo il comportamento di sistemi complessi, ma anche certe forme di ragionamento. Alcune indicazioni in questo senso possono venire dalla considerazione di un fenomeno strettamente collegato a quello della *swarm intelligence*: il superorganismo.

L'idea di accostare il funzionamento del cervello a quello delle colonie di insetti eusociali si sviluppa negli anni Settanta anche a seguito della pubblicazione del noto studio di Wilson sull'argomento (Wilson, 1971). Un dialogo di Hofstadter (1979: 337-364) ne è forse l'esempio più celebre e affronta il tema dell'emergenza dei livelli in un sistema organizzato secondo caste di individui che basano la loro interazione e la loro comunicazione su segnali di tipo prevalentemente chimico (ma non solo), collegandolo al problema della conoscenza e dell'intelligenza: "tutti questi strati di struttura sono necessari ad immagazzinare quei tipi di conoscenza che permettono a un organismo di essere 'intelligente' in un qualche ragionevole senso della parola. Ogni sistema che possiede la facoltà del linguaggio ha essenzialmente lo stesso insieme di livelli sottostanti" (Hofstadter, 1979: 351). Il paragone fra un cervello e un formicaio serve a Hofstadter come giustificazione della sua teoria *simbolica*, che, in aperto contrasto con il simbolismo dell'IA e della scienza cognitiva tradizionale (che, da un punto di vista filosofico, possiamo far coincidere con la Teoria Computazionale e Rappresentazionale della Mente di Fodor), vuole essere un tentativo di spiegazione della capacità di avere e costruire rappresentazioni mentali, che eviti le rigidità

6. Per una presentazione e una discussione della questione e delle varie posizioni in merito si rimanda a Marraffa (2008).

7. Come chiarisce Dennett, ciò di cui siamo coscienti è il risultato della competizione, ma non ogni competizione porta a un contenuto cosciente, perché la competizione fra i contenuti del cervello avviene a più livelli: "Io ho evitato di affermare che una qualche vittoria particolare in questo turbinio *competitivo* equivalga all'assunzione nella coscienza. In effetti, ho insistito nel dire che non c'è alcun motivo giustificato per tracciare una linea che divida gli eventi che sono definitivamente 'nella' coscienza da quelli che stanno per sempre 'fuori' o 'sotto' la coscienza [...]. Tuttavia, se la mia teoria della macchina joyceana dovrà gettar luce sulla coscienza, è bene che ci sia qualcosa di notevole su alcune, se non tutte, le attività di questa macchina, perché è innegabile che la coscienza sia, intuitivamente, qualcosa di speciale" (Dennett, 1991: 308; *corsivo aggiunto*).

8. Dennett ha poi raffinato il suo modello della coscienza proponendone alcuni aggiornamenti per rispondere alle critiche di insufficienza esplicativa. Egli ha parlato perciò di modello della "fama nel cervello" o della "celebrità cerebrale". Per un'esposizione di queste tesi, e una relativa bibliografia, si rimanda a Dennett (2005: 152-153).

delle rappresentazioni tradizionali e salvi al contempo la flessibilità come tratto distintivo delle effettive rappresentazioni mentali umane. I simboli per Hofstadter rappresentano la realtà grazie a una relazione di *isomorfismo* e compiono la loro funzione quando sono *attivi*, cioè quando inviano messaggi per “risvegliare, o attivare, altri simboli”. In altri termini, forse più vicini a quelli delle contemporanee ricerche in ambito neurocomputazionale, si potrebbe dire che l’isomorfismo dei simboli non solo permette il riconoscimento di *pattern*, ma lo fa proprio perché esso stesso è una questione di *pattern*; è, cioè, la caratteristica di alcune porzioni cerebrali di costituire *pattern* dotati della possibilità di allinearsi, o sincronizzarsi, con la realtà, in una continua dinamica di allineamento e disallineamento in cui consiste l’essenza del ragionamento umano (e forse di alcuni animali superiori) *on-line* e *off-line*.

Se l’intento di Hofstadter è stato quello di dare una risposta a un problema molto sentito negli anni Settanta *anche* nell’IA, il problema del significato, ci potremmo chiedere se il concetto di superorganismo può gettare luce ancora oggi non tanto sul modo in cui funziona il cervello, ma sul modo in cui si strutturano alcuni tipi di ragionamento, anche in considerazione del fatto che il problema del significato è collassato in una duplice questione a lungo, e tutt’ora, dibattuta: la questione dei concetti e delle rappresentazioni mentali. Tralascierò ora di parlare dei concetti⁹ e mi concentrerò sulle rappresentazioni e sulla capacità rappresentazionale, dopo aver brevemente illustrato alcuni tratti rilevanti della nozione di superorganismo.

In un recente studio, Hölldobler e Wilson (2009) fanno il punto in merito alle ricerche sulle colonie di insetti eusociali. Tale disamina diventa anche l’occasione per fare alcune interessanti considerazioni sulla nozione di superorganismo, con cui è possibile caratterizzare talune particolari società di insetti. Gli autori non mancano di riconoscere che, nel corso degli ultimi decenni, “le reti di individui cooperanti delle società degli insetti hanno suggerito nuovi schemi per la progettazione dei calcolatori e hanno fatto luce sul modo in cui probabilmente i neuroni cerebrali interagiscono nella creazione della mente” (Hölldobler, Wilson, 2009: 21). Tale affermazione, pur nella sua genericità, testimonia l’influsso non limitato alla biocomputazione, ma estendibile alla (neuro)scienza cognitiva, all’IA e alla filosofia della mente, che la nozione di superorganismo ha avuto per alcuni suoi aspetti peculiari.

Gli elementi che hanno interessato gli studiosi delle capacità (neuro)cognitive sono in genere due: la presenza nei superorganismi di un sistema di comunicazione robusto, flessibile e raffinato, gestito nella grande maggioranza dei casi da fattori chimici, che assume il nome di stigmergia (ad esempio, la traccia feromonica lasciata dalle formiche per “costituire” un percorso fra il formicaio e una certa fonte di cibo); una suddivisione del lavoro in caste, che diventa sempre più rigida in quelle specie in cui il superorganismo è, o si considera, più evoluto. Al di là delle spiegazioni su come si possa essere evoluto un superorganismo¹⁰, uno degli aspetti più interessanti evidenziato dagli autori è l’importanza che riveste in questo caso la selezione naturale multilivello, la quale opera a livello genetico, ma anche a quello degli organismi, dei gruppi e dell’intera colonia. La suddivisione in caste, ad esempio, diventa qualcosa di sempre più evidente nell’evoluzione del superorganismo, fino a realizzarsi morfologicamente nei singoli individui, la cui diversa funzione si rispecchia nella loro forma. Ciò va a scapito della forza selettiva opposta, quella imposta agli individui dalla lotta per la riproduzione individuale e quindi della trasmissione del proprio materiale genico, e proprio per questo produce una eusocialità più evoluta, in cui

ad alcuni individui la riproduzione è negata. Da un punto di vista teorico, nel superorganismo la dinamica competizione/cooperazione si sposta, nell’avanzamento evolutivo, e dunque anche in termini di complessificazione, da un atteggiamento competitivo a uno cooperativo, generando in questo modo la forza del superorganismo. Va anche notato come la transizione a questo tipo di eusocialità avanzata avvenga solo al di sopra di un certo valore di soglia, e dunque in un certo senso è *rara* dal punto di vista naturale, a causa delle forze opposte che operano a livello di selezione individuale (Hölldobler, Wilson, 2009: 41-64).

Un superorganismo allo stadio più avanzato, tuttavia, riesce a incorporare alcune elementi tipici dell’organismo, ma con una maggiore flessibilità e robustezza, risultando in un certo senso vincente e superiore. La specializzazione dei compiti riproduttivi, di difesa, di esplorazione, di recupero e distribuzione del cibo corrispondono ai vari elementi di un organismo normale. Così come gli individui corrispondono alle cellule, le caste possono essere considerate come organi o le caste difensive come il sistema immunitario. Inoltre, nel parallelismo fra organismi e superorganismi (Hölldobler e Wilson, 2009: 96) anche altri organi degli organismi possono essere ritrovati nel superorganismo, realizzati in modo funzionale: gli organi di senso sono il risultato dell’azione degli apparati sensoriali dei membri della colonia; il sistema nervoso corrisponde alle modalità di comunicazione fra i vari membri della colonia (da cui l’accostamento fra il cervello e il formicaio); il nido può essere considerato analogo (non in senso specificamente biologico) allo scheletro dell’organismo. Secondo la teoria della selezione multilivello i cambiamenti evolutivi avvengono anche a livello di gruppi di individui e, dunque, può essere considerata qualcosa che agisce *direttamente* sul superorganismo e solo *indirettamente* sugli individui, per quanto ogni cambiamento a un livello si riverbera su tutti gli altri. La superiorità del superorganismo, che in questo modo sarebbe soggetto alle stesse leggi evolutive dell’organismo, può essere vista consistere nel fatto che l’equilibrio coesivo che si crea tra i suoi membri è più difficilmente soggetto a distruzioni esterne (riattaccare un arto è un’operazione più difficile che non ricostruire una fila di formiche che viene interrotta). Ciò avviene a scapito dell’individualità dei suoi membri. Un’individualità forte, un senso di identità maggiore dei singoli individui, sia esso il risultato, parlando in termini astratti, di spinte genetiche o di un senso di identità più consapevole, chiaramente mina o impedisce la costruzione del superorganismo. Tuttavia, è proprio in una certa quantità di individualità residua nei suoi singoli membri che risiede la forza del superorganismo.

Come fanno notare Hölldobler e Wilson (2009: 68), in biologia è invalso l’uso di utilizzare concetti informatici per esprimere il comportamento dei membri della colonia. Una simile influenza di ritorno dall’informatica alla biologia¹¹ può essere certamente utile a comprendere, e ad avallare, alcuni aspetti dell’emergentismo che entra nella spiegazione di simili fenomeni biologici. Ad esempio, i membri delle colonie vengono caratterizzati come agenti che eseguono un (semplice) algoritmo. Si parla di algoritmo perché essi non compiono soltanto una sequenza lineare di azioni, ma vanno incontro a occasionali, ma allo stesso tempo geneticamente vincolati, punti decisionali, nei quali “scelgono” sulla base del *contesto* la sequenza delle azioni che compiranno in seguito, cambiando a volte ruolo in maniera reversibile o addirittura irreversibile. In questo modo la colonia non solo può portare avanti azioni – che i singoli individui svolgono in serie – in parallelo grazie alle differenti caste, ma anche intrecciare i vari processi in un andamento generale serie/parallelo attraverso gli *stessi* membri, che sono in grado di passare da una sequenza di esecuzione di un compito a un’altra. In questo modo, il parallelismo del livello superiore si ritrasferisce nel livello inferiore, rendendo molto elevata l’efficienza del sistema. Ciò può essere visto

9. Anche se la questione è strettamente collegata, nonché piena di numerosi aspetti irrisolti. Su questo tema si veda Cordeschi & Frixione (2011).

10. Che chiamano in causa il dibattito in merito all’altruismo sulla selezione di parentela (*kin selection*) di Haldane, poi ripresa da Hamilton e inserita nel teoria più generale della *fitness* inclusiva (Hamilton, 1964, 1972).

11. Non l’unica, né la prima, se si pensa all’utilizzo di termini della teoria dell’informazione per la genetica già a partire dalla metà del ventesimo secolo. Per una discussione di taglio epistemologico su questo tipo di contaminazioni si veda Boniolo (2003).

anche come una realizzazione effettiva di uno degli aspetti peculiari dell'emergenza, cioè quello che accosta all'autonomia dei livelli superiori la loro influenza su quelli inferiori. Questo, però, solo a patto di accettare come causa originaria di questa serie di azioni una selezione evolutiva che operi a livello di colonia e non a un livello dirigenziale autonomo in grado di prendere decisioni.

Il comportamento emergente sorge, perciò, sulla base di algoritmi molto semplici ed eseguibili velocemente da individui con cervelli molto piccoli. Tali algoritmi determinano lo *sviluppo* e il *comportamento* dei membri della colonia facendo emergere, grazie alle caratteristiche senzienti e alle modalità di comunicazione e interazione dei singoli individui, quell'"intelligenza complessiva della colonia che è maggiore dell'intelligenza di ciascuno dei suoi membri" e che opera sulla base di un'informazione, di una conoscenza, distribuita – rappresentata in modo distribuito – tra tutti i membri *specializzati* della colonia. Hölldobler e Wilson chiariscono, inoltre, che in questo processo di auto-organizzazione mantenere una visione separatista fra i livelli sarebbe sbagliato: "per quanto tali proprietà emergenti destino meraviglia in chi le osserva, di per sé i loro meccanismi non sono misteriosi. [...] vi è in effetti] un'ampia gamma di fenomeni emergenti abbastanza semplici da poter essere spiegati con un graduale aumento di complessità a partire dal comportamento degli elementi costituenti. Questo è il vantaggio offertoci dalle piccole dimensioni del cervello degli insetti sociali e dalle decisioni generali, semplici e rapide, che essi devono prendere avvalendosi di *algoritmi limitati*" (2009: 74; corsivo aggiunto). Nel caso dei superorganismi la complessità è il portato di una specializzazione degli individui, non di un loro comportamento individuale divenuto sempre più complesso (Hölldobler, Wilson, 2009: 129). Questo è l'elemento che ha determinato lo sviluppo di simili entità, che sono intermedie fra organismi di diversa complessità (ad esempio, tra una formica, un'ape o una termite e una scimmia o un essere umano), in cui l'unione più flessibile fra i diversi organismi loro componenti ha prodotto vantaggi e svantaggi diversi da quelli dei organismi multicellulari, ma che, esattamente come in questi, possono essere studiati a differenti livelli. La compattezza e l'unità degli organismi multicellulari, infatti, non implica che non si possano ritrovare negli uni e negli altri in larga parte le medesime caratteristiche biologiche. D'altra parte, come afferma il biologo Thomas Seeley (citato in Hölldobler, Wilson, 2009: 163): "la teoria della selezione multilivello mostra che, quando la selezione tra gruppi predomina su quella all'interno del gruppo, i gruppi stessi possono raggiungere un elevato grado di organizzazione funzionale" (Seeley, 1997)¹².

5. Il livello del ragionamento

Ora non resta che vedere in che modo tutto ciò può avere conseguenze sulla nostra comprensione delle capacità cognitive di ragionamento. Per far questo faremo riferimento in particolare ad alcuni modelli computazionali sviluppati nel corso degli ultimi decenni e definiti dai loro autori come subcognitivi¹³.

In primo luogo, occorre chiarire che qui "ragionamento" va inteso non nel senso ristretto di un procedimento logico-deduttivo, ma in uno più ampio relativo a tutte quelle modalità che riguardano il prendere decisioni in un contesto in cui l'informazione è abbondante, diversificata e incompleta. Molti modelli subcognitivi sono stati costruiti per simulare la capacità cogniti-

12. Va specificato che la teoria della selezione di gruppo (che sarebbe sicuramente una delle prove a sostegno della selezione multilivello) è ancora allo stadio di ipotesi non comprovata, e sulla quale nel corso degli anni si è impegnato un lunghissimo dibattito fra sostenitori e detrattori. I superorganismi appaiono essere un campo piuttosto fertile per arrivare a comprendere meglio l'effettiva validità teorica della selezione multilivello, pur tenendo conto di tutte le differenze che intercorrono fra colonie di insetti eusociali ed altre società di individui all'interno del mondo animale in cui essa potrebbe essere rintracciata.

13. Si veda Hofstadter *et al.* (1995). Per una trattazione approfondita mi permetto di rinviare a Bianchini (2008).

va del fare analogie, intesa nel senso più ampio di scoprire o costruire relazioni di somiglianza a un qualche livello sulla base di elementi (dell'ambiente di elaborazione) che costituiscono a un tempo gli elementi del problema e lo spazio stesso del problema. Tuttavia, non c'è una ragione di principio per cui l'architettura di base su cui sono costruiti tali modelli debba essere confinata alla costruzione di analogie.

In secondo luogo, l'aspetto più interessante di questi modelli è che rientrano nella più generale categoria dei sistemi complessi adattativi, almeno dal punto di vista della dinamica della loro elaborazione interna e, dunque, possono essere considerati un'altra forma, specifica e particolare, di computazione biologicamente ispirata. L'aspetto che ci interessa è il modo in cui essi affrontano il problema della rappresentazione, cercando di superare gli ostacoli della rappresentazione tradizionalmente intesa in IA, ma anche di conservare un certo livello rappresentazionale come elemento imprescindibile delle abilità cognitive¹⁴.

In linea generale, l'architettura di questi modelli si basa su tre componenti fondamentali: una rete concettuale in cui è rappresentata la conoscenza stabile del programma sotto forma di nodi e archi etichettati; uno spazio di lavoro in cui sono rappresentati gli elementi del problema e che corrisponde alla memoria di lavoro (o memoria a breve termine); un insieme di microagenti, detti codicelli (*codelets*), in grado di eseguire semplici operazioni. L'elaborazione del programma consiste nell'interazione tra queste tre componenti fondamentali. I codicelli esaminano gli elementi nello spazio di lavoro, costruendo e distruggendo relazioni di accoppiamento e raggruppamento sulla base dei concetti della rete concettuale ("opposizione", "uguaglianza", "a destra di", ecc.); nel fare questo causano l'attivazione dei concetti nella rete, che a sua volta genera l'invio di nuovi codicelli per stabilizzare le strutture promettenti fino ad arrivare a una visione unica in base alla quale dare la soluzione del problema (analogico) da risolvere (ad esempio in COPYCAT, trovare una stringa di lettere che sia in relazione con un'altra, ma nella stessa relazione che c'è fra due stringhe iniziali e che è quella da analogizzare¹⁵). La visione unitaria è il risultato emergente dell'agire dei singoli codicelli, la cui attività competitiva/collaborativa è autonoma, ma allo stesso tempo determinata sia dalla rete concettuale sia dall'informazione che viene costruita progressivamente, in termini di strutture di dati, nello spazio di lavoro. Tale visione unitaria, e i passaggi che portano ad essa, possono essere visti anche come l'informazione totale di cui il sistema dispone in un determinato istante di elaborazione, informazione che è suddivisa fra le tre componenti del programma. Per tale ragione, essa è una sorta di rete di dati relazionalmente organizzati che sta a un livello superiore di quello della rete concettuale che costituisce una sola delle componenti. Tale rete informazionale di livello superiore sembra cogliere la quintessenza degli aspetti rappresentazionali necessari, ma non troppo rigidi, di cui un sistema cognitivo deve disporre per poter essere "intelligente", in un senso ampio del termine che comprende anche l'essere in grado di adattarsi autonomamente all'ambiente/contesto in cui si trova. Ciò conforta l'idea che una rappresentazione non reticolare (ad esempio, una lista di descrizioni) sia non tanto impossibile, quanto infruttuosa dal punto di vista cognitivo; e per tale ragione non esplicitativa degli aspetti centrali della cognizione.

Una rappresentazione di questo tipo può essere definita "parziale ma sufficiente" (Lawson & Lewis, 2004) ed è uno dei pilastri alla base di modelli come MADCAT e STARCAT, che hanno cercato di estendere oltre la costruzione di analogie e verso un'interazione effettiva con l'ambiente (ad esempio, in compiti di mappatura e navigazione da parte di robot mobili) l'architettura dei modelli subcognitivi (Lewis & Lawson, 2004). Una rappresentazione parziale ma sufficiente è in continua evoluzione

14. A differenza, tanto per fare un esempio, delle architetture di sussunzione alla Brooks (1991).

15. Si veda Mitchell (1993). Per un modello più sbilanciato sulla simulazione di questo tipo di abilità in ambienti reali, ma non dissimile quanto ad assunzioni di base, si veda French (1995).

e si adatta al compito che il modello sta affrontando, nel senso che sempre nuove rappresentazioni vengono prodotte e distrutte conformemente alla dinamica della sua attività. Tale risultato viene raggiunto attraverso l'azione coordinata dei microagenti, che sono generati e lanciati nell'elaborazione sulla base della situazione sia della rete concettuale, sia dell'attività e degli elementi presenti nello spazio di lavoro, o negli spazi di lavoro che possono essere prodotti in parallelo. In tal modo, è possibile che gli *attrattori* del comportamento, cioè i concetti della rete e gli elementi dello spazio di lavoro (che sono il riflesso di quello che il modello trova nell'ambiente), siano il punto di congiunzione che permette l'*accoppiamento* fra il sistema e il suo ambiente. In tal modo, il sistema, grazie agli stessi meccanismi interiori, può compiere una serie di differenti attività modificando i suoi scopi senza che essi siano del tutto determinati in precedenza, come nel caso dei problemi di analogia.

Lawson e Lewis paragonano il modo in cui questi modelli producono rappresentazione con l'attività stigmergica delle colonie di insetti eusociali¹⁶. Anzi, essi fanno collapsare le due attività, sulla base dell'idea che la rappresentazione sia una conseguenza dell'attività dei microagenti e dello spazio effettivo, ancorché simulato, in cui l'attività ha luogo. Il risultato emergente di questa attività rappresentazionale produce quell'accoppiamento sistema/ambiente che ha un riflesso nell'informazione globale contenuta nel sistema, esattamente come in un superorganismo, il cui comportamento complessivo è dovuto all'attività molto semplice degli individui che lo compongono, descritta in termini di algoritmi sequenziali con una o poche possibilità di scelta.

Un accostamento fra questi modelli, in cui le capacità rappresentazionali sono uno degli elementi essenziali all'interno del più ampio tentativo di simulare il riconoscimento di *pattern*, e aspetti del mondo biologico a livello di organismo, come il metabolismo cellulare o il sistema immunitario, non è certamente nuovo (Hofstadter *et al.*, 1995: 154-159; Mitchell, 2006). Un contributo interessante che può venire dall'accostamento con i superorganismi risiede invece nella maggiore flessibilità che essi esibiscono in termini di rappresentazione più che di elaborazione. La stigmergia sembra un candidato più valido per cogliere alcuni aspetti ineliminabili delle capacità rappresentazionali dei sistemi cognitivi, essendo essa basata su capacità comunicative fra microagenti preposti a svolgere ruoli in gruppi, che producono *bottom up* informazione per differenti livelli di attività. Inoltre, nei superorganismi sembra possibile rintracciare più facilmente quegli elementi di interazione fra livelli che caratterizzano la nozione di emergenza intesa in senso debole, ma che pure conserva quegli aspetti di dipendenza e autonomia che tale nozione incorpora. In senso più specifico, l'attività di un microagente in un superorganismo, e nei sistemi che ne simulano alcuni elementi centrali dal punto di vista funzionale, è allo stesso tempo produttiva di informazione e guidata dall'informazione che produce.

Di certo, restano fuori molti problemi che qui non sono stati affrontati, relativi al modo in cui queste capacità rappresentazionali entrano nel computo e nella spiegazione di aspetti cognitivi superiori, come il senso di identità, la coscienza o l'auto-osservazione. Tuttavia, sarà forse in futuro anche da una maggiore comprensione sul funzionamento delle colonie di insetti eusociali che si potrà avere una più precisa intuizione su come funziona il ragionamento inteso come processo di decisione in tempo reale, che pure avviene a partire da un substrato a rete, la struttura cerebrale, che sembra condividere solo alcuni degli aspetti funzionali rintracciabili nella descrizione del superorganismo. Resta il fatto che considerare il ragionamento come un superorganismo, per gli aspetti che si sono detti e che riguardano la creazione di reti di informazioni e dati analizzabili a più livelli, ma compresi in un'unica entità, potrebbe avere in futuro due auspicabili conseguenze: 1) la produzione di modelli in cui l'informazione semantica trovi una sua applicabilità più plausibile dal punto di vista cognitivo; 2) una maggiore comprensione del modo in cui essa

determina gli aspetti cognitivi umani, mantenendo intatte le prerogative del substrato e la necessità del rappresentare.

Bibliografia

- Bedau, M. A., & Humphreys, P. (eds). (2008). *Emergence: Contemporary Readings in Philosophy and Science*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Beni, G. (2007). *Swarm Intelligence*. In Meyers, R. A. (ed.). (2008), *Encyclopaedia of Complexity and Applied System Science*. New York: Springer.
- Beni, G., & Wang, J. (1989). *Swarm Intelligence in Cellular Robotic Systems*. In *Proceedings of NATO Advanced Workshop on Robots and Biological Systems, Tuscany, Italy, June 26-30*.
- Bianchini, F. (2008). *Concetti analogici. L'approccio subcognitivo allo studio della mente*. Macerata: Quodlibet.
- Bonabeau, E., Dorigo, M., & Theraulaz, G. (1999). *Swarm Intelligence. From Natural to Artificial Systems*. New York: Oxford University Press.
- Boniolo, G. (2003). Biology without Information. *History and Philosophy of the Life Sciences*, 25, 255-274.
- Brooks, R. A. (1991). Intelligence without Representation. *Artificial Intelligence*, 47, 139-159.
- Cordeschi, R., & Frixione, M. (2011). Rappresentare i concetti: filosofia, psicologia e modelli computazionali. *Sistemi intelligenti*, 33, 1, 25-40.
- Dennett, D. C. (1991). *Consciousness Explained*. Boston: Little Brown, trad. it. Dennett, D. C. (1993, 2009). *Coscienza*. Milano: Rizzoli.
- Dennett, D. C. (2005). *Sweet Dreams. Philosophical Obstacles To a Science of Consciousness*. Cambridge, Mass.: MIT Press, trad. it. Dennett, D. C. (2006). *Sweet Dreams. Illusioni filosofiche sulla coscienza*. Milano: Raffaello Cortina.
- Edelman, G. M. (2004). *Wider Than the Sky. The Phenomenal Gift of Consciousness*. New Haven: Yale University Press, trad. it. Edelman, G. M. (2004). *Più grande del cielo. Lo straordinario dono fenomenico della coscienza*. Torino: Einaudi.
- Eldredge, N. (1999). *The Pattern of Evolution*. New York: W. H. Freeman, trad. it. Eldredge, N. (2002). *Le trame dell'evoluzione*. Milano: Raffaello Cortina.
- Fodor, J. A. (1983). *The Modularity of Mind. An Essay on Faculty Psychology*. Cambridge, Mass.: MIT Press, trad. it. Fodor, J. A. (1988). *La mente modulare. Saggio di psicologia delle facoltà*. Bologna, Il Mulino.
- French, R. M. (1995). *The Subtlety of Sameness*, Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Hamilton, W. D. (1964). The Genetical Evolution of Social Behaviour, I, II. *Journal of Theoretical Biology*, 7, 1, 1-52.
- Hamilton, W. D. (1972). Altruism and Related Phenomena, Mainly in Social Insects. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 3, 193-232.
- Hofstadter, D. R. (1979). *Gödel, Escher, Bach: an Eternal Golden Braid*. Basic Books: New York. trad. it. Hofstadter D. R. (1984), *Gödel, Escher, Bach: un'Eterna Ghirlanda Brillante*. Milano: Adelphi.
- Hofstadter, D. R., & FARG (1995). *Fluid Concepts and Creative Analogies: Computer Models of the Foundational Mechanisms of Thought*. New York: Basic Books, trad. it. Hofstadter, D. R. *et al.* (1996). *Concetti fluidi e analogie creative. Modelli per calcolatore dei meccanismi fondamentali del pensiero*. Milano: Adelphi.
- Holland, J. H. (1992). *Adaptation in Natural and Artificial Systems: 2nd edition*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Hölldobler, B., & Wilson, E. O. (2009). *The Superorganism. The Beauty, Elegance, and Strangeness of Insect Societies*. New York: W. W. Norton & Company, trad. it. Hölldobler, B. & Wilson, E. O.

16. In questo senso va visto il tentativo di simulare nello spazio di lavoro algoritmi di *Ant Colony Optimization* (Lawson & Lewis, 2004).

- (2011), *Il superorganismo*. Milano: Adelphi.
- Lawson, J., & Lewis, J. (2004). *Representation Emerges from Coupled Behavior*. In *Workshop Proceedings of the 2004 Genetic and Evolutionary Computation Conference*. June 26-30.
- Lewis, J., & Lawson, J. (2004). *Computational Adaptive Autonomy: A Generalization of the Copycat Architecture*. In *Proceedings of the 2004 Las Vegas International Conference on Artificial Intelligence*, pp. 657-663. June 21-24, Las Vegas, NV.
- Marruffa, M. (2008). *La mente in bilico*. Roma: Carocci.
- Marruffa, M., & Paternoster, A. (2011). *Funzioni, livelli e meccanismi: la spiegazione in scienza cognitiva e i suoi problemi*. In Marruffa, M., & Paternoster, A. (a cura di). (2011). *Scienze cognitive. Un'introduzione filosofica*. Roma: Carocci.
- Minsky, M. (1986). *The Society of Mind*. New York: Simon and Schuster, trad. it. Minsky, M. (1989). *La società della mente*. Milano: Adelphi.
- Mitchell, M. (1993). *Analogy-Making as Perception*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Mitchell, M. (2006). Complex systems: Network thinking. *Artificial Intelligence*, 170, 18, 1194-1212.
- Pievani, T. (2005). *Introduzione alla filosofia della biologia*. Roma-Bari. Laterza.
- Searle, J. R. (1980). Mind, Brains and Programs, *The Behavioral and Brain Sciences*, 3, 417-457, trad. it. Searle, J. R. (1984). *Menti, cervelli e programmi, un dibattito sull'intelligenza artificiale*. Milano: CLUP-CLUED.
- Seeley, T. D. (1997). Honey Bee Colonies are Group-Level Adaptive Units. *American Naturalist*, 150 (supplement), 22-41.
- Selfridge, O. G. (1959). *Pandemonium. A Paradigm for Learning*. In *Symposium on the mechanization of thought processes*. London: HM Station Office.
- Wilson, E. O. (1971). *The Insect Societies*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, trad. it. Wilson, E. O. (1976). *Le società degli insetti*. Torino: Einaudi.