

Carlo Penco

*Uomini, topi e formiche:
riflessioni sulla scienza cognitiva¹
(bozza)*

Riassunto: in queste note presento una breve panoramica della scienza cognitiva, che costituisce a tutt'oggi, a più di vent'anni dalla sua nascita, un coacervo di novità rilevanti nell'ambito della ricerca interdisciplinare. Dopo una prima presentazione generale (§1), traccio una breve storia della disciplina (§2) per passare poi a descrivere nel § 3 uno dei nuclei di fondo della scienza cognitiva: il funzionalismo e l'idea di mente come sistema di rappresentazioni o mappe cognitive. Nel § 4. accenno ad alcune tensioni interne alla scienza cognitiva. Essa è tuttora un campo disciplinare con forti contrasti sui paradigmi da seguire nella descrizione dell'architettura della mente. Una sfida recente è venuta dalla robotica "situata" e dalla tesi che occorre fare a meno delle rappresentazioni mentali nella costruzione di robot intelligenti. Nel § 5 discuto questa sfida mostrando che, nonostante l'entusiasmo suscitato dai primi successi della nuova robotica, il cardine della scienza cognitiva resta solido, anche se bisognoso di completamento. Nella conclusione, al § 6, tocco di sfuggita il tema della coscienza dei sistemi intelligenti (umani e artificiali) e invito a cercare strade per affrontare i problemi che si porranno alle nuove generazioni di studiosi, ormai al di là della frattura tra cultura umanistica e scientifica, frattura che forse trova in Italia uno degli ultimi ambienti in cui sopravvivere.

1. Interdisciplinarietà

Sono un "umanista", laureato in filosofia, figlio di una professoressa di italiano, con un bisnonno paterno che ha scritto libri su Petrarca e la letteratura italiana. Ormai da più di dieci anni, il mio compagno di ufficio è un matematico infiltrato tra i filosofi, che insegna algebra, calcolo e logica matematica. Per un umanista questo dovrebbe essere strano; io ci ho fatto l'abitudine. Non solo legge i miei lavori e io leggo i suoi, ma discute quasi quotidianamente con un altro "umanista" (laureato in filosofia e docente di informatica e logica) sulla complessità computazionale. Per un umanista dovrebbe essere insopportabile. Ma non lo è, anzi. Quel che è peggio è che io di matematica ci capisco davvero poco, e quel poco che capisco lo capisco male. Ma ho il mio vicino di ufficio. Chiedo continuamente a lui, e ogni volta che devo affrontare un punto che tocca logica o matematica, ho un confidente di fiducia.

La situazione in cui mi sono venuto a trovare dovrebbe essere la regola; si chiama "interdisciplinarietà". Ma la interdisciplinarietà è pressoché impedita programmaticamente nell'Università italiana (e in quella genovese, tranne che nel *Festival della Scienza*). Rigidi compartimenti regolano gli accessi accademici; ed è difficile trovare un umanista che dialoga con uno scienziato o viceversa.

Non dappertutto è così. Tra i tanti esempi, uno recente riguarda un gruppo di intellettuali che si è riunito negli anni '70 cercando di mettere assieme il meglio della ricerca in diverse discipline: filosofi, ingegneri, matematici, logici, informatici, linguisti, psicologi, neurofisiologi e antropologi. È nata così la *Scienza cognitiva*, che ha avuto il suo atto di nascita ufficiale in una conferenza tenuta a La Jolla, in California, nell'Agosto del 1979, anno di fondazione della *Cognitive Science Society* (ma già esisteva la rivista *Cognitive Sciences*, preceduta da un libro che ne annunciava la nascita: Bobrow-Collins 1975). Tra i più di mille membri della Società troviamo Donald Norman, quello del libro "la caffettiera del masochista" e altri numerosi autori noti al pubblico italiano (basti citare William Bechtel, Cristiano Castelfranchi, Patrick J. Hayes, Jay McClelland, Barbara Tversky). Nel 1990 la Società ha istituito un premio intitolato a David Marr (un grande studioso di percezione visiva) per il miglior intervento presentato al Convegno annuale, e da pochi anni è nata anche la *Associazione Italiana di Scienze Cognitive*. L'interdisciplinarietà è evidente nel labirintico simbolo della rivista *Cognitive Science*:

¹ Ringrazio Flavio Baroncelli per avermi dato l'input per questo articolo; Marcello Frixione, Margherita Benzi e Dario Palladino per osservazioni su una precedente versione.



Dagli anni '80 in poi sono nati quasi un centinaio di centri di ricerca in scienze cognitive negli Stati Uniti e in Europa². Al lettore verrà da chiedersi: belli questi centri! Ma cosa combinano? Perché lavorano insieme umanisti e scienziati? Cosa vogliono costruire? In effetti fanno cose molto diverse tra di loro. Ma sono accomunati dall'idea di studiare i nostri processi cognitivi (percezione visiva, comprensione del linguaggio, capacità di pianificazione, ecc.) e da alcune linee guida comuni³: (i) uniscono le competenze delle diverse discipline citate sopra (ii) si basano su teorie della mente e dell'intelligenza che sono state elaborate in questi ultimi vent'anni, (iii) si collegano alle più recenti scoperte di neurofisiologia e a simulazioni al computer.

§2 Ministoria della scienza cognitiva

Se vogliamo vedere la storia della Scienza cognitiva a grandi linee e in poche righe, si può ricordare che gli studi sulla mente risalgono almeno agli antichi greci, Platone e Aristotele. I filosofi moderni, da Descartes a Hume, Locke e Kant, hanno sviluppato vere e proprie teorie della mente. Nell'ottocento infine si è sviluppata la psicologia "scientifica". Quest'ultima ha però messo in dubbio l'utilità di fare una teoria della struttura interna della mente, diffidando dell'unico modo fino a quel tempo disponibile per studiare la mente: l'introspezione. Se l'introspezione è inaffidabile - dicevano gli psicologi comportamentisti - occorre studiare la mente come una scatola nera, analizzandone solo l'input e l'output: lo studio della psicologia diventa lo studio del comportamento. I comportamentisti (da Watson a Skinner) cercavano di espungere dalla ricerca psicologica ogni modello della mente o delle rappresentazioni mentali, per ridurre l'analisi psicologica ad analisi del rapporto tra gli stimoli sensoriali e la risposta comportamentale.

La storia stereotipica racconta che il linguista Noam Chomsky negli anni '50 ha mostrato i limiti di questa teoria riflettendo sull'apprendimento del linguaggio: non è

² Ecco una rapida rassegna di alcuni dei più rinomati:

- Il progetto *Cognition and Affect* alla Università di Birmingham,
- Il *Centre for Cognitive Science* della Università di Edinburg
- l'*Artificial Intelligence Group* di Manchester
- l'*Artificial intelligence laboratory* del M.I.T. (Massachusetts Institute of Technology)
- il Centro padovano di fondazione ontologica dei modelli concettuali (Ladseeb)
- Il *Center for Neural Basis of Cognition* di Pittsburgh a Carnegie Mellon University
- Il *Center for Brain and Cognitive Science* dell'Università di Rochester
- Il *Centre for Cognitive Science* dell'Università di Washington a St.Louis (diretto da Bechtel e Andy Clark)
- Il *Formal reasoning group* diretto da John McCarthy a Stanford
- Il *Centre for Cognitive Science* dell'Università del Sussex
- Il *Centre for Cognitive Science* della Tufts University diretto da Daniel Dennett
- Il Centro di scienze cognitive dell'Università di Lione (Francia)
- Il *Computational Epistemology Laboratory* della Università di Waterloo dove lavora Paul Tagart
- Il *Centro di scienze cognitive* del CNR di Roma
- Il *dottorato di Scienze cognitive* dell'Università di Siena
- Il *centro di Scienze cognitive* di Rovereto

³ Le linee guida qui indicate sono molto generali; per una introduzione complessiva alla scienza cognitiva si può leggere Johnson-Laird 1988, Goldman XXXX Marconi 2001, Marraffa 2003, e più ampiamente Thagard, P.1996, Bechtel & Graham 1998, Dawson1998, von Eckardt, B. 1993, Clark 2002. Wilson- Keil 1999.

possibile che un bambino impari la quantità di parole e frasi che impara nei primi anni di vita solo con il metodo stimolo-risposta. Occorre postulare un sistema innato di regole e rappresentazioni mentali. Occorre cioè una teoria della mente. Chomsky fa rinascere in modo nuovo la vecchia discussione filosofica tra i sostenitori delle "idee innate" contro i sostenitori delle "idee acquisite" dall'esperienza. Ci si avvicina così alla visione di Leibniz: *nihil est in intellectu quid prius non fuerit in sensu, nisi intellectus ipse*. L'ultimo Chomsky parla di una "minimal theory" in cui ciò che è innato è ristretto ad alcune regole generali e alcune operazioni della mente.

Negli stessi anni in cui iniziava la carriera di Chomsky, al Dartmouth College (Hanover, New Hampshire) nel 1956 nasce l'intelligenza artificiale, il progetto di dotare i computer di capacità che simulino l'intelligenza umana. Alcuni nomi: Marvin Minsky, inventore dei *frames* (strutture di conoscenza di alto livello, ispirate a idee di Wittgenstein), John Mc Carthy, inventore della logica non monotona e della logica multicontestuale, Herb Simon⁴, premio Nobel per l'economia per le sue ricerche sulla razionalità limitata. Questi e molti altri hanno presentato negli anni '50 le prime ricerche di simulazione della mente e dell'intelligenza,⁵ cercando di rispondere alla "sfida" di Turing, che agli inizi degli anni '50 aveva ipotizzato che in circa mezzo secolo avremmo potuto costruire macchine intelligenti.

Turing aveva proposto un "test"⁶ che le macchine avrebbero dovuto superare per essere dichiarate intelligenti. Eccolo in sintesi. Immagina di essere al computer e fare una chat: non sai con chi stai parlando e cerchi di capire se stai parlando con un maschio o una femmina. Ci provi e non sei sicuro, ma tenti una risposta. Poi ti dicono che non era né maschio né femmina, ma parlavi con un programma di computer. Tu ci rimani un po' male. Ma la macchina ha passato il test. E' possibile?

A livello elementare qualcosa del genere è già successo negli anni '60 quando un Direttore di Dipartimento del prof. Weizenbaum si inserisce per sbaglio sul programma ELIZA che simula il comportamento di uno psichiatra non direttivo. Di fronte alle risposte del programma su questioni di finanziamenti il Direttore - si racconta - si adira per le risposte provocatorie e va nell'ufficio di Weizenbaum per sgridarlo faccia a faccia; ma non lo trova e capisce solo allora, vedendo il programma in funzione, di aver parlato con un computer e non con un umano. Oggi nessuno accetterebbe ELIZA come programma di intelligenza artificiale. Troppo ingenuo. Però aveva ingannato un direttore di Dipartimento. Si dirà che i direttori di Dipartimento non sono particolarmente furbi. Ma non è una giustificazione. Allo stesso modo nel 1966 un critico dell'intelligenza artificiale, il prof. Dreyfus, dopo aver sostenuto che un bambino di 10 anni avrebbe battuto ogni macchina programmata per giocare a scacchi, venne battuto clamorosamente da un programma di scacchi. A un livello elementare Turing ha già vinto. Oggi vi sono programmi di scacchi che mettono a repentaglio l'orgoglio del miglior giocatore e programmi ben più sofisticati di ELIZA sono usati per scopi più interessanti dell'originale, ad es. per regolare il traffico aereo (è impensabile regolare il traffico aereo mondiale senza sofisticati programmi informatici: non lo si può certo regolare con carta e penna e qualche telefonata!). Attività che coinvolgono direttamente la nostra vita quotidiana - come la regolazione del traffico aereo, le transazioni bancarie, l'analisi dei risultati di esami medici, le informazioni via web - in qualche misura ereditano il lavoro degli studiosi di intelligenza artificiale che hanno giocato con programmi "giocattolo" individuando alcuni problemi nodali. I primi programmi di I.A. erano appunto chiamati "mondi giocattolo", "toy worlds". Io stesso mi ero entusiasmato nel 1972 ascoltando Terry Winograd che presentava il suo programma con mondo giocattolo (SHRDLU) e che parlava di "paradigma procedurale" nello studio del linguaggio, come superamento della dimensione sintattica di Chomsky. Ma cosa è cambiato in quei formidabili dieci anni, dal periodo d'oro dell'intelligenza artificiale allo sviluppo della scienza cognitiva?

La scienza cognitiva può essere pensata come un contenitore in cui rientra come componente propria l'intelligenza artificiale stessa. Con la scienza cognitiva si è ripreso il filo di un discorso iniziato prima dell'intelligenza artificiale, con studi degli anni '40 di Rosebluth, Wiener e Bigelow, le ricerche di McCulloch e Pitts e Craik sulle reti

⁴ Vedi su Simon il numero monografico di *Sistemi intelligenti*, XV, n. 1, 2001.

⁵ Il "Logic Theorist", dimostratore automatico di teoremi di Newell e Simon è del 1957; l'"Advice Taker" di McCarthy è del 1958; le riflessioni di Minsky sulla programmazione euristica sono del 1959. Questi testi sono in parte tradotti in Somenzi-Cordeschi 1986. Una discussione giornalistica brillante degli avvenimenti e dell'atmosfera dell'epoca è presentata in McCorduck 1987. Una presentazione generale della simulazione dell'i.a. come metodo di ricerca in psicologia viene data in Greco 1988.

⁶ Il test di Turing è esposto in Turing 1950; una versione parziale dell'articolo è contenuto in Somenzi-Cordeschi 1986.

neuronal, bloccate da alcune difficoltà teoriche messe a fuoco da Minsky.⁷ Ma le critiche di Minsky vengono in parte risolte da nuove ricerche che si riuniscono sotto l'etichetta di "connessionismo": si riscopre così l'idea di costruire sistemi che simulino il comportamento del cervello più strettamente, e non si limitino a utilizzare gli strumenti della logica e dell'informatica classica. Il paradigma connessionista nasce dunque in forte opposizione con l'intelligenza artificiale "simbolica". I linguaggi più usati in I.A. - il LISP e ancor di più il PROLOG - sono infatti sviluppi della logica simbolica e l'idea di fondo era rappresentare il funzionamento della mente con tali formalismi⁸. I connessionisti si ribellano a questa strategia per proporre formalismi matematici che simulino il funzionamento dei gruppi di neuroni, ottenendo buoni risultati nella simulazione dello sviluppo della categorizzazione e della formazione dei concetti. Anche se il connessionismo non pretende di simulare effettivamente il funzionamento del cervello, da una parte ha stimolato la discussione sull'architettura dei sistemi intelligenti, e dall'altra ha prodotto una conseguenza fondamentale: oggi non è più possibile parlare di "mente" senza fare riferimento al cervello e agli studi neurofisiologici. In Italia, dopo la nascita della rivista *Sistemi intelligenti*, ispirata all'inizio alla prima intelligenza artificiale, è nata la rivista *Mente e cervello*, come segno di questa inestricabile e necessaria collaborazione tra studiosi della cognizione e studiosi del cervello. Altre strategie però dovevano arricchire il panorama della scienza cognitiva, e in particolare gli studi sugli algoritmi genetici e la prospettiva "evolutiva".

La situazione attuale vede paradigmi tra loro alternativi - intelligenza artificiale simbolica, connessionismo, algoritmi genetici e altro - collaborare spesso per diversi aspetti della rappresentazione delle capacità mentali, influenzando così la robotica⁹. Un robot non sarà mai completamente simbolico o connessionista o altro; avrà diverse componenti, come appunto la mente umana. Non mancheranno mai partigiani entusiasti di uno o dell'altro paradigma, ma a partire dai lavori di Smolenski¹⁰ i contrasti si sono in parte ridimensionati, e si tende a distinguere una parte *subsimbolica* di descrizione dei processi *mentali* e una parte *simbolica* di descrizione dei processi *sociali*, o della mente "estesa". La mente infatti non è solo qualcosa che sta "dentro" la scatola cranica (lì ci sta appunto il cervello), ma è qualcosa che si estende socialmente¹¹; per fare un esempio nessuno di noi padroneggia *tutte* le conoscenze, compresi i vari aspetti del linguaggio che parla quotidianamente, ma *deve* in diversi casi appoggiarsi agli esperti della comunità in cui vive. Queste riflessioni nascono dalle fitte discussioni tra filosofi e scienziati¹² e indicano il bisogno di elaborare quadri concettuali in cui orientare la ricerca sulla mente. Su questa ricerca abbiamo ormai diversi volumi, anche in italiano che danno una mappa abbastanza chiara delle diverse opzioni in campo.¹³

§3. Uomini e topi: dalle mappe mentali al funzionalismo¹⁴

⁷ Rosenblueth, Wiener e Bigelow hanno sviluppato soprattutto il concetto di retroazione (feed-back) e l'idea di cibernetica; McCulloch e Pitts nel 1943 hanno lavorato sulle reti neurali e Craik sul sistema nervoso come modello dell'intelligenza. È stato Minsky a mettere in crisi per la prima volta le idee dei connessionisti ante-litteram. I nuovi connessionisti iniziarono quando trovarono le risposte alle critiche di Minsky. Vedi in generale per la storia di questa prima fase della ricerca e il primo periodo dell'intelligenza artificiale la antologia di Somenzi-Cordeschi 1986 e l'introduzione di Cordeschi. Sulla nascita e i primi sviluppi del connessionismo vedi Rumelhart-McClelland 1986 e Smolenski 1988.

⁸ Anche se il centro dell'attenzione è sempre stata sul ragionamento, e non sulla categorizzazione. Il punto di maggior sviluppo della i.a. simbolica è l'insieme di risultati sul ragionamento di senso comune, dalle logiche non monotone alle logiche multicontestuali sviluppate dai gruppi di McCarthy (Stanford) e Giunchiglia (Trento).

⁹ Genova rimane in Italia uno dei centri principali di ricerca in questo settore, con il polo della robotica e diversi laboratori universitari. Per il polo della robotica vedi www.polorobotica.it.

¹⁰ Smolenski 1988; vedi anche l'introduzione di Frixione all'edizione italiana.

¹¹ Il concetto di "mente estesa" è stato presentato da autori come David Chalmers e Andy Clark, ma l'idea di fondo nasce dalle riflessioni sulla comprensione del linguaggio come qualcosa di condiviso da una comunità, un tema caro ai linguisti e sviluppato da filosofi come Putnam con la tesi della "divisione del lavoro linguistico" (vedi l'articolo di Putnam pubblicato in lacona-Paganini 2003). Questi lavori sono alle spalle della concezione della conoscenza come un sistema collettivo, o di molti agenti. Su questo tema si vedano in generale lavori di Castelfranchi. Tra le varie proposte in campo, oltre allo sviluppo dei sistemi multi-contesti, vi è una ripresa di temi filosofici degli atti linguistici da parte di Colombetti 2000.

¹² Un esempio particolarmente interessante è stata il fitto interscambio tra computer scientist e filosofi al Center for the Studies of Language and Information di Stanford, che ha stimolato entrambi i campi, con arricchimenti di entrambi. Si pensi solo allo sviluppo del concetto di contesto in filosofia e intelligenza artificiale, in parte provocato dalle sfide reciproche di John McCarthy e John Perry. Vedi ad es. Perry 2000 e McCarty..... (o Giunchiglia...?)

¹³ Tra le migliori presentazioni delle teorie della mente vedi Di Francesco 2001, Crane 2001, Paternoster 2002.

¹⁴ La bibliografia relativa a questo paragrafo è facilmente recuperabile dal bell'articolo di M. Frixione 2002.

Non è vero che i vecchi psicologi erano solo comportamentisti "puri". Nel 1948, anno della nascita mia, di Tex Willer, del principe Carlo di Inghilterra, dello stato di Israele e dei "diritti umani", uscì un articolo sul comportamento dei topi nei labirinti. L'autore (Edward C. Tolman) sostenne che non bastava l'analisi stimolo-risposta a spiegare le eccezionali capacità di orientamento dei topi costretti nei labirinti. Per spiegare il loro comportamento ipotizzava che i topi avessero una *mappa cognitiva* del territorio in cui si trovano. L'idea è semplice: occorre fare una teoria della mente dei topi. Ma se lo si fa per i topi, perché non per gli umani?

Pur continuando a dubitare dell'introspezione (quella dei topi è a noi inaccessibile ancor più della nostra, dato che non parliamo con loro), si riconosceva così la necessità di sviluppare teorie del funzionamento interno della mente, da mettere alla prova dei fatti. I fatti in questo caso sono da una parte i comportamenti prevedibili, dall'altra l'attivazione di neuroni in certe aree cerebrali. Se un tempo l'attivazione dei neuroni era qualcosa di quasi inaccessibile all'osservazione, oggi con gli strumenti di *neuroimaging*¹⁵ a disposizione si può curiosare nel cervello come dentro un bosco finora inesplorato. Diversi metodi permettono così di "testare" la validità di ipotesi e teorie scientifiche. Per fare un esempio: si ipotizza che la sintassi sia autonoma dalla semantica? Vediamo di costruire esperimenti in cui si verifica che la produzione di frasi sintatticamente corrette ma senza significato attiva aree cerebrali differenti da quelle attivate dalla produzione di frasi con alto contenuto semantico¹⁶.

Ma per fare i test occorre avere qualcosa da verificare, occorre cioè un'ipotesi, e al meglio una teoria. Per questo lavoro è divenuto essenziale distinguere tra i diversi livelli di una teoria della mente. Lo standard di questa distinzione di livelli viene da David Marr, studioso di percezione visiva. Per Marr occorre distinguere

- (i) il livello della *teoria* computazionale
- (ii) il livello dell'*algoritmo*
- (iii) il livello dell'*implementazione*.

Vediamo questi tre livelli. Al primo livello abbiamo bisogno di una teoria che indichi quale compito è associato a un certo comportamento cognitivo (vedere, parlare, capire, ecc.). A livello algoritmico abbiamo bisogno di descrivere le procedure con cui può essere realizzato questo compito. A livello di implementazione abbiamo bisogno di un sistema fisico con cui realizzare queste procedure.

Per fare un esempio schematico vediamo i tre livelli nella spiegazione di cosa è e come opera una funzione matematica che tutti conosciamo, quale l'addizione:

- (i) a livello di teoria una funzione è un costrutto matematico il cui scopo è dare una corrispondenza tra due insiemi; ad esempio la funzione addizione è quella funzione che dati due numeri dà in uscita la somma;
- (ii) a livello algoritmico si vede subito che ad una addizione possono essere associate diverse procedure; ad esempio posso calcolare la somma di due numeri addizionando trattini, oppure mettendo in colonna i numeri decimali o con un sistema binario;
- (iii) a livello implementativo vi saranno diversi sistemi fisici capaci di fare addizioni: potranno essere meccanici (come le macchine di Pascal e di Leibniz), elettronici (come le macchine calcolatrici oggi usuali), o biologici, come appunto noi stessi.

La visione dei livelli di Marr è uno dei modi più chiari per introdurre al cuore della scienza cognitiva: il funzionalismo. Per il funzionalismo gli stati e i processi mentali sono descrivibili come stati e processi di un calcolo (i neuroni o scaricano o no, come un interruttore o una logica binaria). Ma quello che interessa non è l'aspetto fisico - che è una parte fondamentale per capire il funzionamento del cervello e per testare la teoria della mente - bensì il tipo di calcolo, i rapporti funzionali tra un processo mentale e un altro e tra un processo mentale e il comportamento.

L'idea di fondo è che lo stesso tipo di calcolo, la stessa procedura, può essere realizzata su diversi supporti fisici. Infatti un calcolo fatto con il nostro cervello o un calcolo fatto su un supporto di silicio sono pur sempre lo stesso calcolo. Se, come già dicevano Hobbes e Leibniz, il pensiero è un tipo di calcolo, la simulazione a computer ci dà la

¹⁵ la neuroimaging ha rivoluzionato lo studio del cervello utilizzando i principi della radiologia computerizzata, la risonanza magnetica, la TAC, la scintigrafia a emissione di positroni (PET) e le tecniche di analisi con mezzi di contrasto. Oggi l'analisi del movimento dei neuroni durante diversi tipi di compiti è una prassi normale nel controllo delle ipotesi sul funzionamento del cervello.

¹⁶ Lavori di questo genere sono ormai all'ordine del giorno negli studi di neurolinguistica, di cui un caso esemplare sono i lavori di Andrea Moro e di Piattelli Palmarini.

opportunità di rappresentare il pensiero, studiando i rapporti funzionali tra i diversi processi mentali, a prescindere dal supporto fisico in cui sono realizzati. Se riusciamo, possiamo dire che le macchine possono pensare. Nasce l'idea che la mente sta al cervello come il software sta all'hardware.

Nella scienza cognitiva vi sono a questo punto due strade aperte: o si accetta il funzionalismo e l'idea che la mente sta al cervello come il software all'hardware, o la si nega e si sostiene che è caratteristica essenziale della mente essere incorporata in un corpo umano e avere intenzionalità (caratteristica chiamata, con linguaggio evoluzionista, "l'anello mancante" dell'intelligenza artificiale¹⁷). Posizioni intermedie come la necessità per la una mente di essere incorporata in un qualche tipo di corpo robotico non si allontana dalla tesi fondamentale del funzionalismo.

Se accettiamo l'idea che certi processi mentali sono un tipo di calcolo e come tali possono essere realizzati su diversi supporti fisici, con questo resta aperto il problema: che tipo di calcolo? La tesi di Church (logico americano, studioso di Frege, il filosofo che ha fondato la nuova logica matematica a fine '800) sostiene che ogni tipo di calcolo effettivo è riducibile a funzioni calcolabili da una macchina di Turing (che non è una macchina fisica, ma un modello matematico di un tipo di funzioni ricorsive).

Ammessi questi, i problemi della scienza cognitiva restano ancora aperti. Infatti non basta essere funzionalisti per decidere cosa fa la mente; una teoria della mente deve anche dire che tipo di spiegazioni dobbiamo cercare. Qui assistiamo a divisioni radicali e prima tra tutte quella tra i sostenitori di una "psicologia ingenua" e gli "eliminativisti". Queste tensioni interne al paradigma funzionalista formano un campo di battaglia dall'esito incerto, ed è difficile capire chi sarà il vincitore, o se entrambe le parti in causa saranno soppiantate da un altro esercito non ancora in vista.

§4. Tensioni interne al funzionalismo

I sostenitori di una *psicologia ingenua* sviluppano un discorso analogo a quello fatto dagli studiosi di intelligenza artificiale (in particolare Pat Hayes) sulla "fisica ingenua". Di fronte a un testo di fisica di Aristotele un fisico contemporaneo potrebbe rivoltarsi disgustato da quelle che appaiono all'occhio disincantato di oggi vere e proprie sciocchezze (come la spiegazione del moto con i concetti di impeto e di causa finale, ecc.). Ma a ben vedere la fisica di Aristotele riflette esattamente l'atteggiamento di una persona ingenua di fronte al mondo; è un tipo di atteggiamento che presenta comunque scorciatoie utili per una decisione veloce nel reagire all'ambiente fisico. Dotare un robot di una teoria fisica "corretta" rende la computazione di ogni movimento troppo complessa per consentire al robot di muoversi nello spazio; dotarlo di una fisica ingenua può essere più funzionale a rendere il robot abile nei suoi spostamenti. Questo Pat Hayes. Analogamente Jerry Fodor¹⁸, un ex-allievo di Chomsky, ipotizza che la scienza cognitiva debba studiare la teoria ingenua del comportamento che gli umani hanno elaborato nel corso della loro evoluzione e che si rivela nell'uso di certe espressioni. A differenza della fisica ingenua, Fodor però ritiene che questo tipo di analisi debba essere una componente integrante della psicologia come scienza. Con quali giustificazioni? Tipicamente prevediamo il comportamento altrui ipotizzando che gli altri *credano* o *desiderino* qualcosa, e *intendano* realizzare certi fini. Si parla a questo proposito di teoria *BDI* (Belief, Desire, Intention) come ipotesi sulla struttura della mente. La stessa situazione esprimibile con una proposizione (ad es. "c'è una birra nel frigo") può essere creduta, desiderata e realizzata. Posso desiderare che ci sia una birra nel frigo; ma non c'è; intendo berla, quindi compero la birra e la metto nel frigo affinché si raffreddi. Ora credo, anzi so - perché ce l'ho messa - che c'è una birra nel frigo e, dato che intendo berla ben fredda, dopo una breve attesa, me la bevo. La descrizione del comportamento non va a studiare i processi soggiacenti, così come nella spiegazione del funzionamento di una macchina non descrivo i processi microfisici che sottendono ad es. l'accensione di un interruttore. Dico solo che per far muovere certi pezzi di una macchina devo accendere quell'interruttore. Riprendendo la distinzione di Marr, a livello di teoria computazionale descrivo le funzioni della mente (credere, desiderare, intendere), e a livello di algoritmi

¹⁷ Su questo vi sono i celebri lavori di John Searle sull'intenzionalità e il suo esempio della "stanza cinese", stanza ove un operatore con istruzioni in inglese trasforma domande cinesi in risposte cinesi senza per questo capire il cinese. È una metafora di un modo di operare con i simboli che non realizza la vera comprensione perché manca di intenzionalità. Sull'intenzionalità come anello mancante dell'intelligenza artificiale vedi Agazzi 2004. Vedi per una discussione di Searle Marconi 1979, cap.6.

¹⁸ Fodor è uno degli autori più tradotti in Italia, paese i cui convegni ha spesso frequentato. Mi limito così a citare uno dei suoi ultimi lavori, derivante da conferenze tenute a Milano: Fodor 2001.

fornisco una versione di un "linguaggio del pensiero" che dovrebbe essere una rappresentazione delle procedure innate della mente.

Non tutti sono convinti. La risposta degli *eliminativisti* è che la psicologia ingenua sviluppata dall'uomo nella sua evoluzione è destinata a essere abbandonata, come la teoria del flogisto e altre teorie alchemiche che si sono dimostrate caduche. Le spiegazioni della psicologia ingenua non funzionano, sono sbagliate e non ci aiutano a capire come funziona la mente; lo studio delle neuroscienze è molto più fondamentale di quanto i teorici alla Fodor ritengano che sia (Fodor lo potrebbe ritenere un semplice modo per verificare ipotesi della teoria della psicologia ingenua). Le teorie neurofisiologiche danno infatti contributi fondamentali a chiarire la struttura del funzionamento dei processi mentali. Usare invece la visione standard, computazionale e simbolica del funzionalismo per spiegare il funzionamento della mente sarebbe come cercare di far star ben seduto un polpo su una seggiola. L'immagine, di Patricia Churchland¹⁹ (autrice di un fortunato volume dal titolo "neurofilosofia") è efficace e ha un certo appeal. Come compagna di critica della psicologia del senso comune la neurofilosofia trova un alleato negli studi sugli algoritmi genetici²⁰ e nell'idea di modellare lo sviluppo mentale come uno sviluppo tipico della teoria evoluzionista, simulando strategie di selezione naturale (già il premio Nobel Edelman parlava di "darwinismo neuronale"). Diverse direzioni di ricerca dunque abbandonano decisamente l'ipotesi della psicologia ingenua, che si trova a doversi difendere o come alternativa radicale o come una necessaria componente di un sistema computazionale, in cui ci sia una parte simbolica insieme ad altre componenti non simboliche²¹.

Tra le novità recenti portate dallo studio dell'attività neuronale per lo studio della mente abbiamo le analisi derivanti dallo studio dei "neuroni specchio": quando osserviamo qualcuno eseguire un'azione, si attivano non solo le aree visive, ma anche le aree motorie normalmente attivate durante l'esecuzione di quel tipo di azione. Un famoso esperimento mostra che certi neuroni di una scimmia, che si attivano quando la scimmia afferra qualcosa, si attivano anche quando la scimmia si limita a "osservare" l'azione di afferrare qualcosa. Qualcuno dirà che si è sempre saputo che le scimmie imitano. Qualcun altro troverà in questo una spiegazione del concetto di "empatia" usato da filosofi come Quine (e ripreso da Alvin Goldman), altri troveranno in queste osservazioni una nuova visione dell'organizzazione della competenza linguistica (come il linguista George Lakoff), altri, come Vittorio Gallese²² troveranno suggerimenti per delineare una nuova visione della architettura della mente anche dal punto di vista di quella che si può chiamare "organizzazione di base del nostro cervello sociale".

Sta di fatto che la frontiera della ricerca sulle applicazioni del *neuroimaging* (vedi nota 13) non si limita alla semplice verifica di plausibilità di ipotesi già consolidate, ma offre strumenti e suggerimenti teorici di grossa portata, anche se l'interpretazione dei dati, come è ovvio, non sempre trova concordi i ricercatori entro un quadro teorico unico.

§5. Elefanti e formiche

Questa rapida rassegna di discussioni interne al paradigma funzionalista nasconde una frattura profonda che si è creata nell'ambiente delle scienze cognitive. La frattura nacque nel 1991, anno di nessun rilievo tranne la sua ovvia palindromicità e la pubblicazione di "Intelligence without representation" di Rodney Brooks. Con questo articolo si sancisce la frattura di chi sostiene che i sistemi intelligenti hanno rappresentazioni mentali come i topi dei labirinti, e chi sostiene che delle rappresentazioni mentali si può fare volentieri a meno. Le due ottiche si rifanno a ipotesi radicalmente alternative sull'architettura della mente e sulla progettazione di sistemi intelligenti.

Mentre, come abbiamo visto, i primi teorici dell'intelligenza artificiale partivano da rappresentazioni astratte "di alto livello" (logica, schemi di conoscenze, frame, dimostratori di teoremi, giocatori di scacchi), i nuovi venuti della robotica hanno tentato la strada opposta, a partire da una semplice osservazione: *gli elefanti non giocano a scacchi*.

¹⁹ L'esempio è di Patricia Churchland 2002

²⁰ Vedi ad es. Parisi 1999

²¹ Che si dia importanza allo studio delle strutture neurali come elemento centrale nell'architettura della mente non porta necessariamente ad abbandonare la quantità di ricerca teorica in intelligenza artificiale su sintassi e semantica del linguaggio naturale sviluppata in questi anni, come i diversi approcci logicisti alla rappresentazione della conoscenza (v. Frixione 1994). La componente simbolica continua a far parte di quella "mente estesa" che si costruisce nel corpo sociale e nella interazione tra agenti (vedi alla nota 10).

²² Vedi Gallese 2003

Eppure dimostrano comportamenti intelligenti. Rodney Brooks, che ha contribuito a ideare i robot mandati su Marte, ha affascinato per anni il mondo della robotica con una strategia "dal basso". Di per sé niente di nuovo; già Marr distingueva una strategia verso l'alto e una strategia verso il basso. Ma si affaccia ora una prospettiva decisamente radicale: la intelligenza artificiale cosiddetta "nuova" o "animale" o "embodied" (incorporata; con gran disprezzo di quella "disembodied", cioè senza corpo dei teorici della i.a. simbolica). I robot di Brooks si comportano come animali intelligenti senza rappresentazioni. Vanno in giro per le stanze, e vanno in giro per il terreno accidentato di Marte. Da Marte forniscono rappresentazioni, in fattispecie filmati, per noi umani, ma la loro struttura interna - si suppone - di rappresentazioni non ne ha. I robot di Brooks non assomigliano ai topi del labirinto che avevano "mappe mentali del territorio"; piuttosto assomigliano alla formica *Cataglyphis* che vedete riprodotta²³ qui sotto:



Cosa ha di particolare *Cataglyphis*? Invece di un sistema interno di rappresentazione del territorio questa formica pare vada e venga dal suo nido orientandosi con una specie di "bussola solare" che misura gli angoli di rotazione e le distanze coperte, aggiornando a ogni passo un vettore che punta sempre in direzione del nido e le permette di indirizzarsi in ogni momento. Il suo sistema di navigazione non richiede una rappresentazione interna, ma solo un puntatore di orientamento. Sembra che prendendo ad esempio *Cataglyphis* si ritorni a un modello comportamentista, abbandonando l'elemento centrale della rivoluzione cognitiva: l'idea di modelli mentali e strutture di rappresentazione mentali.

Ma non è tutto oro quello che luccica: una interessante analisi di Roberto Cordeschi 2003 mostra quanto viva sia la discussione su come interpretare il comportamento della suddetta formica. Qualcuno potrebbe scherzarci sopra, ma questo animale che condivide con noi la presenza al mondo in cui viviamo pare abbia ancora molto da insegnarci sulla complessità del suo sistema di rappresentazione mentale. Anche la formica, a un livello più profondo, avrebbe un sistema di rappresentazioni mentali del territorio che viene a poco a poco a conoscere. Se anche il comportamento di *Cataglyphis*, la formica, un essere che sembrava il più lontano possibile dalle rappresentazioni mentali, può essere ben spiegato solo ricorrendo all'ipotesi di rappresentazioni interne del territorio, a maggior ragione si ripropone lo studio su come si organizzano le *nostre* rappresentazioni mentali. Uno dei primi robot che, sia pur costruito a partire dalle idee di Brooks, sfida quelle stesse idee, viene chiamato "topo robot" (nome che un po' ironicamente ci ricorda le ipotesi sulle mappe cognitive dei topi; ma qui la parola "topo" abbrevia non "mouse", bensì la disciplina matematica della "topologia"). Contro le tesi anti-rappresentazionaliste, il topo-robot ha una rappresentazione specializzata e complessa dell'ambiente sotto forma di una mappa topologica (l'idea del suo costruttore, Maja Mataric, era quella di costruire un modello dell'ippocampo del topo). L'architettura della mente del topo-robot è strutturata su diversi livelli corrispondenti a livelli di comportamento, che riprendo dall'articolo di Cordeschi:

- (i) un comportamento di basso livello, il "livello degli schemi", ovvero un livello di controllo puramente reattivo (alla Brooks) che genera l'azione attraverso la semplice interazione con l'ambiente, senza accedere alla memoria
- (ii) un comportamento al "livello cognitivo", che usa la mappa del labirinto per pianificare l'azione sulla base degli schemi del livello inferiore
- (iii) un "livello motivazionale", che genera le mete, e dispone di una serie di "valori" che il modello può usare per valutare le strategie più appropriate.

I tre livelli funzionano in parallelo, cosicché il robot si muove e risolve il labirinto in uno stesso tempo. In sintesi gli "schemi" percettivi del primo livello non sono rappresentazioni

²³ Vedi su *Cataglyphis*: <http://www.ifi.unizh.ch/groups/ailab/projects/sahabot/>

interne nel senso di un "modello del mondo". Al secondo livello il robot costruisce invece una vera rappresentazione del mondo, una mappa che gli consente di avere successo nel suo compito.

Cosa concludere da queste riflessioni? Che la rivoluzione della nuova robotica non ha portato alla esclusione delle rappresentazioni mentali come si pensava in un primo tempo. La ventata di novità portata dalla nuova intelligenza artificiale anti-rappresentazionalista non elimina i dubbi e le critiche che i primi cognitivisti come David Marr e, tra gli psicologi, Phil Johnson-Laird, facevano all'idea di una percezione "diretta" (l'idea era sostenuta da Gibson e dalla corrente "ecologica" degli studi sulla percezione). Anche la percezione è sempre un processo cognitivo così complesso che a qualche livello richiede una forma di computazione e di rappresentazione interna. Se i robot di Brooks erano stati accostati alla mente "ecologica" che trae direttamente informazioni dal mondo senza la mediazione di rappresentazione, è anche vero che appena si realizza un comportamento complesso, anche i robot hanno bisogno di rappresentazioni e altre forme di mappe cognitive. La scienza cognitiva, in una parola, non può abbandonare lo strumento principale che l'ha fondata, l'idea di rappresentazioni mentali.

E, se ha ragione Cordeschi, dovrebbe sviluppare rappresentazioni mentali anche un robot come Hybot - un piccolo robot che ha migliaia di cellule neuronali prelevate da un cervello di un topo e messe in un chip in silicio che manda segnali elettrici a una sessantina di elettrodi; i segnali vengono amplificati e trasmessi a un computer che li inoltra al robot stimolando il suo movimento in un piccolo recinto (ricordate i labirinti dei topi?). I movimenti del robot sono in tal modo controllati da impulsi di natura biologica, su tempi di reazione di meno di un decimo di secondo. Non so cosa dire di fronte a questi esperimenti. Gli animalisti probabilmente, con scarsa coscienza del problema, distruggerebbero il robot e libererebbero i topi per mandarli a morire nei vicoli di Atlanta²⁴ (Georgia). I patiti dei robot parleranno invece di sviluppo di cyborg e di inizio di una coscienza delle macchine. Forse è il caso di concludere questa breve rassegna con due note sul problema della coscienza, il grande assente dalla discussione.

§6. Scienza cognitiva e coscienza

Quasi tutti si agitano un poco quando si discute sulla differenza tra umani e macchine: Pare che molti umani sentano un complesso di inferiorità sulle macchine e cerchino di dimostrare quante cose che *noi* sappiamo fare non siano realizzabili dalle macchine (che so, giocare con un gattino, provare sentimenti di giustizia sociale, ecc.). La vecchia domanda di Turing su "possono le macchine pensare?" è stata rinvigorita dalla domanda sulla "coscienza" e sulla "intenzionalità", articolata in diversi modi da diversi autori²⁵. La tesi di fondo è che le macchine possono riprodurre processi di pensiero, ma non hanno né coscienza né intenzionalità: hanno sintassi e non hanno semantica. La discussione si è spostata sempre più su coscienza ed emozioni, come se il problema fosse quello di costruire robot coscienti e con emozioni. Su questi temi ho sempre avuto molti dubbi: se si parla di aerei che *volano* nessuno pretende che volino *come* volano le aquile o i passerotti. Così nessuno pretende che le macchine pensino e sentano emozioni come gli umani; avranno processi simili, ma non necessariamente identici. Così come un quadro visto dal vivo non è la stessa cosa di un quadro riprodotto in formato digitale, o una musica dal vivo non è la stessa cosa di una musica riprodotta in Mp3. Per gli orecchi raffinati la musica digitale è un obbrobrio e per gli occhi raffinati la rappresentazione digitale dei quadri è uno sfacelo. Ma hanno la loro funzione, e c'è solo da sperare che l'assuefazione al digitale non rintontisca il gusto al punto da non cogliere più la differenza. Ma il fatto che non ci sia identità - se non a livello funzionale - non toglie che si possa parlare di buone e cattive riproduzioni. La domanda forse non è "cosa manca loro?", ma più semplicemente "qual'è la differenza?" Una macchina "pensante" o altresì detto "sistema intelligente" avrà una dimensione dell'intelligenza in parte diversa dalla nostra, anche se con analogie funzionali. La ricerca di fare sistemi che siano *sempre più* vicini ai processi cognitivi umani non è necessariamente collegata alla volontà del dottor Frankenstein di riprodurre l'essere umano con altri mezzi; vogliamo capire meglio

²⁴ L'esperimento è sviluppato al Georgia Institute of Technology. Vedi www.gatech.edu/news-room/release.php?id=125
Anche a Genova c'è una certa tradizione in questo senso. Per non fare ingiustizia a un robot invece che a un altro ho preferito andare a beccare un robot fuori Italia. Ma si può ragionevolmente sperare che il futuro Istituto Italiano di Tecnologia sviluppi e collabori con l'Università di Genova in direzioni nuove della ricerca robotica.

²⁵ Searle 19XX Agazzi 19xy

come siamo fatti e costruire sistemi che abbiano alcuni aspetti della nostra capacità cognitiva.

Leibniz faceva una distinzione tra pensiero calcolante e pensiero meditante. La dicotomia è stata ritradotta e riproposta sotto altri termini come ad esempio la contrapposizione tra "coscienza cognitiva" e "coscienza fenomenica". La discussione sulla coscienza, uno dei temi peculiari degli "umanisti", è ora anche uno dei temi più discussi da scienziati e ingegneri²⁶. Forse è possibile dotare macchine di un dispositivo di coscienza e di autocoscienza cognitiva. Se ci saranno macchine con "coscienza cognitiva", questa sarà comunque una coscienza da macchina, non sarà una coscienza da umano. Non so se si svilupperanno macchine con coscienza fenomenica, o se abbia senso costruirne. Certo può essere un progetto sensato costruire macchine che possano sviluppare un pensiero "calcolante", con un certo grado di consapevolezza dell'ambiente esterno e interno (Domenico Parisi²⁷ ha parlato di "robotica interna"). Ma il pensiero "meditante", per quanto di difficile definizione, possiamo lasciarlo per ora ai monaci buddisti, e in generale agli umani e al loro gusto. Se a qualcuno può interessare un computer che faccia buone analisi chimiche delle componenti alcoliche, a non molti interessa costruire un computer che contempli le sue più private sensazioni qualitative disteso su una amaca lasciando decantare in bocca i sapori del vino.

Se può assumere un certo interesse il tentativo di costruire macchine con una qualche forma di coscienza, credo che il problema centrale sia leggermente a margine di questo tentativo. Il problema più urgente è studiare come si sviluppa la coscienza degli umani *assieme* alle nuove macchine. Oggi si profila un nuovo tipo di coscienza che non era pensabile prima, così come la coscienza degli abitanti di un mondo con una letteratura e una storia è differente dalla coscienza di un mondo che non conosce la scrittura. Siamo di fronte a una nuova frontiera di cui siamo i primi ingenui e piuttosto inconsapevoli attori. In questa nuova frontiera la contrapposizione scienza-umanesimo non ha nemmeno senso. E' un nuovo umanismo che sta nascendo e che ha nello sviluppo della scienza e di un nuovo tipo di coscienza il suo fulcro. E forse c'è qualche speranza che questo fulcro riesca a allontanare dai nuovi umanisti quella deformazione della coscienza - o quello stadio assolutamente primitivo - che ha fatto strage di uomini e idee e che si chiama fondamentalismo religioso (di qualsiasi religione esso sia).

Bibliografia

- Agazzi E. 2004, "L'anello mancante dell'intelligenza artificiale" in *La nuova critica* (numero monografico su Vittorio Somenzi).
- Bobrow D.G., Collins A. (eds.) 1975, *Representation and Understanding. Studies in Cognitive Science*, Malden, MA: Blackwell.
- Bechtel, W., & Graham, G. (ed.) 1998, *A Companion to Cognitive Science*. Malden, MA: Blackwell.
- Brooks R.A. 1991a, "Intelligence without representation", in *Artificial Intelligence*, 47, pp. 139-159.
- Brooks R. (a cura di), *The Artificial Life Route to Artificial Intelligence*, Hillsdale, NJ, Erlbaum, pp. 165-181.
- Castelfranchi C. 2000. Through the agents' mind: Cognitive mediators of social action. *Mind & Society*, , pp.109-140
- Clark, A. 2001 *Mindware: An Introduction to the Philosophy of Cognitive science*. New York: Oxford University Press.
- Churchland, P. 2002 *Brain-Wise*, MIT press
- Colombetti et alia 2003 "Linguaggio e realtà sociale nei sistemi di agenti artificiali" in *Networks*, 1 (pp.)
- Cordeschi R. 2003, "Vecchi problemi filosofici per la nuova intelligenza artificiale", in *Networks* N.1, pp.1-23
- Crane T. 2003, *Elements of Mind*, Oxford U.P.; tr. it. *Fenomeni mentali*, Cortina Milano Dawson, M. R. W. (1998). *Understanding Cognitive Science*. Oxford: Blackwell.
- Di Francesco, M. 2002, *Introduzione alla filosofia della mente*, Roma, Carocci.
- Edelman, 1987, *Neural Darwinism: the theory of neuronal group selection*, tr.it. Einaudi, Torino, 1995
- Fodor J.A. 2001, *La mente non funziona così; la portata e i limiti della psicologia computazionale*, Laterza, Roma.
- Frixione M. 1994, *Logica, significato e intelligenza artificiale*, Angeli, Milano.
- Frixione, M. 2003, "Filosofia della scienza cognitiva" in N. Vassallo (a cura di) *Filosofie delle scienze*, Einaudi, (319-350).
- Frixione M, Palladino D. 2004, Carocci,
- Gallese V. 2003 "La molteplice natura delle relazioni interpersonali: la ricerca di un comune meccanismo neurofisiologico", in *Networks* N.1, pp. 24-47.
- Goldman, A. 1993 *Philosophical Applications of Cognitive Science*. Boulder: Westview Press; tr.it. Il Mulino, Bologna.
- Greco A. 1988 *Introduzione alla simulazione*, Angeli, Milano
- Johnson-Laird, P., (1988). *The Computer and the Mind: An Introduction to Cognitive Science*. Cambridge, MA: Harvard University Press; tr.it. Il Mulino Bologna 1990.
- Manzotti R., Tagliasco V. *Coscienza e realtà*, Il Mulino , 2001.
- Marconi D. 1997 *Lexical Competence*, MIT Press, Tr.it. Laterza, Bari.
- Marconi D. 2001 *Filosofia e scienza cognitiva*, Laterza, Bari.
- Mataric, M.J. (1995), *Integration of representation into goal-driven behavior-based robots*, in L. Steels e R. McCorduck P. 1987, *Machines who think*, Freeman, New York; tr.it. *Storia dell'intelligenza artificiale*, Muzzio, 1987.
- Moro A. 1999 "La ricerca degli universali in linguistica" in *Le lingue del mondo - Le Scienze Quaderni* 108, pp.19-23.

²⁶ Oltre agli studi classici di Edelman ecc. si può vedere anche il tentativo di dare coscienza ai robot in una prospettiva apparentemente del tutto anti-searlana, come si può vedere nel recente tentativo di Manzotti-Tagliasco 2001.

²⁷ In un intervento all'ultimo convegno di Scienze Cognitive tenutosi a Ivrea nel 2004.

Newell, A. 1980, "Physical symbol systems", in *Cognitive Science*, 4, pp. 135-183.
Norman, D.A. 1988 *The psychology of everyday things*, Basic Books Inc. tr.it. *La caffettiera del masochista*, Giunti, 1997.
Parisi D. 1999 *Mente, i nuovi modelli della Vita Artificiale*, Il Mulino, Bologna. Paternoster A. 2001 *Introduzione alla filosofia della mente*, Laterza, Roma.
Perry J. 2000, *Contesti*, De Ferrari, Genova.
Piattelli-Palmarini M. 1993, *L'illusione di sapere : che cosa si nasconde dietro i nostri errori*, Mondadori, Milano
Sobel, C. P. 2001, *The Cognitive Sciences: An Interdisciplinary Approach*. Mountain View, CA: Mayfield.
Smolensky P. 1988, "On the proper Treatment of Connectionism", in *Behavioral and Brain Sciences*, 11 (1-74); tr.it. a cura di Frixione, Marietti, Genova, 1992.
Tagliasco V. 2001, "Alle origini di una disciplina inesistente: l'ingegneria della mente", in *Sistemi intelligenti*, 1, (135-148)
Thagard, P., (1996). *Mind: Introduction to Cognitive Science*, Cambridge, MA: MIT Press.
von Eckardt, B. (1993). *What is Cognitive Science?* Cambridge, MA: MIT Press.
Wilson, R. A., & Keil, F. C. (Eds.). (1999). *The MIT Encyclopedia of the Cognitive Sciences*. Cambridge, MA: MIT Press.

Associazioni:

Associazione Italiana Scienze Cognitive: <http://www.istc.cnr.it/aisc/>

Cognitive Science Society: <http://www.cognitivesciencesociety.org/>

Riviste

Artificial Intelligence, Cognition, Cognitive Science, Mente e cervello, Networks, Sistemi Intelligenti.

Mi sono limitato a citare tre riviste in inglese (le più classiche) e tre in italiano, di cui l'ultima uscita (*Networks*) è la prima rivista italiana on line di divulgazione di scienze cognitive <<http://www.swif.uniba.it/lei/ai/networks/>>