

Sum, ergo cogito.

Sul connessionismo e le reti neurali. Un approccio allo studio della costruzione della mente.

Paolo Agnoli, settembre 2003



INDICE

	Pagina
PREMESSA	3
INTRODUZIONE	3
1. IL DUALISMO MENTE-CORPO	6
2. I SISTEMI COMPLESSI	9
3. TEORIA DELLA SELEZIONE DEI GRUPPI NEURONALI	12
4. LE RETI NEURALI	19
5. EVOLUZIONE BIOLOGICA E ALGORITMI GENETICI	20
6. PREVEDERE IL FUTURO	21
8. CONCLUSIONI	22
BIBLIOGRAFIA	24

In copertina: la superficie della corteccia cerebrale umana, in un disegno tratto dall'opera *De Humani corporis fabrica* del medico fondatore della moderna anatomia (figura ripresa da Edelman, 1993, 39)

Premessa

Questo scritto è stato elaborato come tesina integrativa alla prova di esame del corso di (seconda annualità) *Psicologia dello sviluppo e dell'educazione* tenuto all'Università di Roma Tor Vergata dalla prof.ssa Anna Maria Di Santo nell'anno accademico 2002-2003, e vuole offrire una breve introduzione ed una breve discussione degli aspetti più recenti che caratterizzano un approccio allo studio dello sviluppo mentale che va sotto il nome di "connessionismo".

Introduzione

Il dibattito teorico sulla natura della mente umana e sui meccanismi responsabili della costruzione della mente ha una storia davvero lunga. Studiosi di epoche diverse, e con differenti interessi, ne sono stati protagonisti: filosofi come Sant'Agostino e Wittgenstein, biologi come Darwin, linguisti come Chomsky, psicologi come Piaget hanno cercato di rispondere agli interrogativi che via via sono emersi dagli studi, dalle riflessioni, dalle osservazioni e dagli esperimenti al riguardo.

Si possono, davvero schematizzando, riassumere gli aspetti più importanti della situazione attuale del dibattito in tre posizioni teoriche (come anche discusso nelle lezioni del corso cui ho partecipato lo scorso anno accademico; vedi anche Devescovi, Bates, 2000, da cui in aggiunta sono state riassunte parte delle considerazioni introduttive di carattere generale presentate in questo specifico paragrafo).

La prima posizione, chiamata "empirismo", è la dottrina secondo la quale la conoscenza ha origine dall'ambiente ed arriva all'individuo attraverso i sensi. Ed è così che si costruirebbero, pian piano, le nostre funzioni mentali. Questo approccio (chiamato anche "comportamentismo" ed "associazionismo") è antico e possiamo dire che, almeno in parte, risale addirittura ad Aristotele. In epoca moderna questo approccio è stato associato allo psicologo Skinner. Secondo Skinner non esistono limiti a ciò che l'essere umano può diventare se ha il tempo, l'opportunità e se vengono applicate le leggi generali dell'apprendimento. Noi siamo in grado, anche "inconsciamente" e da molto piccoli, di imparare dall'ambiente (con la vista, l'udito, il tatto, il gusto...). Un ulteriore fattore, postulato da Skinner, è una sorta di "condizionamento operante": i comportamenti sono rafforzati da premi e punizioni... e le capacità intuitive appaiono solo con il tempo.

Gran parte della ricerca condotta a partire degli anni Cinquanta ha cercato di dimostrare che Skinner aveva torto, sottolineando per esempio che il linguaggio prodotto da bambini e adulti supera l'input a cui sono esposti: essi creano infatti frasi nuove, mai sentite prima, e producono errori originali.

Chomsky viene considerato il più autorevole esponente della seconda posizione teorica, che possiamo dire risale a Platone: il "nativismo", secondo cui la conoscenza nasce dalla natura umana.

Chomsky spiega il legame tra la sua concezione dell'innatismo del linguaggio e l'originaria posizione di Platone sulla natura della mente come segue:

Come possiamo interpretare la proposta di [Platone] in termini moderni? Una variante moderna potrebbe essere che certi aspetti della nostra conoscenza e comprensione sono innati, parte del nostro corredo biologico, geneticamente determinato, al pari degli elementi della nostra natura comune che fanno crescere gambe e braccia anziché ali. Penso che questa versione della dottrina classica sia essenzialmente corretta. (Chomsky, 1988, cit. da Devescovi, Bates, 2000, 241)

Un terzo approccio, diverso ed in un certo senso intermedio tra i primi due, chiamato "interazionismo", "costruttivismo" e "approccio epigenetico" ha radici storiche più recenti. Nella prima metà del XX secolo, l'approccio interazionista o costruttivista è stato, in particolare, associato allo psicologo Jean Piaget.

Secondo l'approccio epigenetico, si può dire in generale che il risultato di un processo di soluzione di un problema si ottiene da uno qualsiasi degli input del sistema di elaborazione, per ragioni che possono non essere ovvie o prevedibili. Le bolle di sapone sono tonde perché una sfera è l'unica possibile soluzione per raggiungere il volume massimo con una

superficie minima (cioè, la forma sferica non viene spiegata dal sapone, dall'acqua o dal bambino che fa le bolle soffiando). Il nido d'ape in un alveare assume la forma esagonale perché essa rappresenta la soluzione definitiva al problema di dover pressare dei cerchi insieme (cioè, l'esagono non è prevedibile in base alla cera, al miele che contiene e al comportamento della singola ape nell'atto di comprimere). Jean Piaget sosteneva che la logica e la conoscenza emergono esattamente in questo stesso modo, da interazioni successive tra attività sensomotoria ed un mondo strutturato. (Devescovi, Bates, 2000, 243)

Cerco di spiegare ulteriormente. Per Piaget (che si è formato nelle discipline biologiche) l'intelligenza è un caso particolare dell'adattamento biologico, di cui però trascende le limitazioni imposte dalla struttura: infatti dall'animale all'uomo, dal bambino all'adulto, vi sono delle funzioni del pensiero costanti (invarianti funzionali) che si manifestano in strutture diverse e rientrano nel quadro delle funzioni più generali, l'organizzazione e l'adattamento. Quest'ultimo risulta da un equilibrio tra organismo e ambiente ottenuto attraverso processi d'assimilazione e accomodamento; l'organizzazione è l'aspetto strutturale dell'adattamento, attraverso cui il pensiero organizza se stesso. L'intelligenza è quindi, per Piaget, la forma di adattamento biologico più elevata, anche per la rapidità che ne caratterizza lo sviluppo. La domanda di fondo che si pose, nell'affrontare il problema dello sviluppo dell'intelligenza nel bambino, fu: l'intelligenza è già tutta potenzialmente presente nel bimbo oppure è il risultato delle molteplici interazioni del bimbo con l'ambiente? La risposta a cui pervenne è che l'intelligenza è un equilibrio dinamico (che spesso si rompe e si ricostruisce ad un livello più elevato) tra un processo di assimilazione dei dati dell'esperienza a degli schemi mentali e un processo di accomodamento, ovvero di modificazione di questi schemi mentali.

In altre parole l'attività di pensiero nasce dal bisogno di funzionamento degli schemi innati che si modificano nel contatto con l'esperienza con vari processi d'auto-regolazione.

Le operazioni mentali, anche le più astratte, si sviluppano da operazioni concrete, e queste si basano sull'azione interiorizzata che a sua volta deriva da schemi sensoriali. E' in questo senso che la teoria piagetiana si può definire quindi come una teoria costruttivista, che descrive la nascita dell'intelligenza come un'interazione continua fra i processi interni derivanti dalla programmazione ereditaria e i fattori esogeni: la molla dell'apprendimento non è il rinforzo esterno, ma un meccanismo di equilibratura continua che modifica gli schemi innati.

Si passa così dagli schemi sensomotori alla rappresentazione simbolica, alle operazioni concrete e quindi logico-formali, infine alla costruzione di ipotesi e previsioni.

Va forse sottolineato che Piaget arriva ad un modello simile attraverso l'osservazione analitica e sistematica di bambini dai 4 ai 18 mesi. Egli descrive lo sviluppo dal semplice esercizio di schemi innati attraverso la variazione e il coordinamento fino alla costruzione di nuovi schemi di azione e pensiero: la conoscenza del mondo e la conoscenza sul modo di agire in esso sono strettamente legate, la rappresentazione mentale e l'abilità di fare piani si sviluppano insieme e interagiscono in modi dinamici, costruttivi, passando dall'esplorazione della realtà all'esplorazione della possibilità; i sistemi cognitivi sono sempre in moto, tendono verso l'equilibrio, ma quando lo raggiungono lo rompono e formano nuove organizzazioni, nuove strutture.

Lo sviluppo dell'intelligenza è visto dunque come un processo costruttivo epigenetico che parte dal livello biologico e arriva a quello logico, seguendo vie simili a quelle della costruzione storica del pensiero scientifico.

Un'argomentazione simile è stata presentata per spiegare la nascita delle grammatiche, che rappresentano la classe di soluzioni possibili al problema di dover fare corrispondere un ricco insieme di significati ad un limitato strumento comunicativo, fortemente condizionato dai limiti della memoria, della percezione e della programmazione motoria. I principi astratti della grammatica, che non si possono estrapolare dalla realtà fisica ma non sono nemmeno iscritti nei geni, sono stati scoperti dagli esseri umani perché rappresentavano la migliore soluzione possibile ai problemi specifici di cui le altre specie non si curavano e che, comunque, non avrebbero potuto risolvere. (Ivi, 243-244)

Il costruttivismo psicologico di Piaget trova oggi una conferma nella teoria cellulare di Edelman (per es. Edelman, 1992), per cui l'esperienza modifica le mappe neuronali formandone altre di

livello superiore. La teoria di Piaget è riapparsa così, secondo il giudizio di molti studiosi, in un nuovo approccio allo studio dell'apprendimento e dello sviluppo del cervello chiamato "connessionismo" (o anche "elaborazione parallela distribuita", oppure "reti neurali") ispirato, almeno in larga parte, proprio agli studi di Edelman. In questo scritto cercherò di introdurre tale approccio, soffermandomi anche brevemente sulla teoria di Edelman.

Ancora, però, una considerazione di carattere introduttivo e generale. Tutta la psicologia, tutte le singole scuole di psicologia, dalla psicologia della Gestalt alla psicologia cognitiva contemporanea studiano la «mente», nel senso che adottano un vocabolario teorico per parlare di quello che sta dietro al comportamento e alla vita mentale diverso da quello usato dalle scienze biologiche per studiare quello che per loro sta dietro al comportamento e alla vita mentale, cioè il cervello e il corpo. E' forse interessante notare che, in aggiunta a Piaget, l'unico grande "psicologo" che abbia fatto tentativi di fondere in un modello teorico unico comportamento, vita mentale e sistema nervoso fu Sigmund Freud. Questi fece il suo tentativo (almeno secondo alcuni studiosi, vedi per esempio Parisi, 1999) più "diretto" in un libro che pubblicò nel 1895, il *Progetto di psicologia*. Freud propose un modello del comportamento e della vita mentale direttamente ispirato alla struttura e al modo di funzionare del sistema nervoso e per molti aspetti simile alle reti neurali, che saranno introdotte più avanti. Pur non riprendendo direttamente queste proposte, va sottolineato che la psicoanalisi di Freud non è incompatibile (ciò accade evidentemente ad altre teorie, come cercherò di mostrare) con l'approccio teorico che voglio introdurre in questo scritto.

Una doverosa precisazione. L'elaborazione di questa tesina è basata soprattutto, anche se non esclusivamente, sulla lettura di tre volumi ed il riassunto di parte delle argomentazioni qui presentate dai rispettivi autori: *Sulla materia della mente* di Gerald M. Edelman (Edelman, 1993), *Mente, I nuovi modelli della vita artificiale* di Domenico Parisi (Parisi, 1999) e, in maniera più limitata, *Un paradiso perduto, Dall'universo delle leggi naturali al mondo dei processi evolutivi* di Marcello Cini (Cini, 1994).

Un'ultima nota. Per le cose appena dette a proposito di Freud e la citata teoria di Edelman, non è certo sorprendente che quest'ultimo abbia posto agli inizi di *Sulla materia della mente* la seguente dedica:

Alla memoria di due pionieri dell'intelletto: Charles Darwin e Sigmund Freud.

Grande saggezza è grande tormento.

Nel discutere brevemente la teoria di Edelman i motivi di tale scelta saranno, credo, ancora più chiari.

1. Il dualismo mente corpo.

Oggi una parte significativa della ricerca scientifica sta facendo un importante tentativo per superare il dualismo tra la mente e il corpo e per integrare la mente in un quadro unitario della realtà. Questo apre, almeno per molti studiosi, come vedremo, la prospettiva di una scienza della mente dell'uomo per il prossimo secolo molto diversa da quella che conosciamo.

Come fenomeno da studiare la vita mentale ha sempre posto dei problemi particolari alla scienza, e per molto tempo, anche in era moderna, se ne sono occupati quasi esclusivamente i filosofi. I dati empirici della vita mentale di una persona sono privati, mentre la scienza è abituata ad avere a che fare con dati ugualmente accessibili a chiunque. Inoltre i dati empirici della mente sono poco quantificabili mentre la scienza privilegia il linguaggio dei numeri e delle misure perché sarebbe “più preciso e obiettivo”.

E tuttavia dalla scienza ci aspettiamo che prima o poi riesca a risolvere questi problemi e a chiarire la natura della vita mentale. In particolare ci aspettiamo che come ha dimostrato che la vita biologica non ha bisogno di un misterioso «principio vitale» che dall'esterno si aggiunge alla materia inerte, così la vita mentale non ha bisogno di un misterioso «principio mentale» che si aggiunge alla semplice vita del corpo. (Parisi, 1999, 21)

Negli ultimi secoli la scienza ha dato numerosi «colpi» all'idea che l'uomo è “speciale”: la scienza ha mostrato che il pianeta su cui viviamo non è il centro dell'universo, che la vita appunto non ha bisogno di uno speciale «principio vitale» ma è soltanto una particolare organizzazione complessa della materia, che i nostri antenati erano gli stessi delle scimmie, che le nostre azioni hanno spesso motivi di cui non siamo consapevoli e che perciò non controlliamo, e sta mostrando oggi che i nostri comportamenti sono influenzati dalle caratteristiche fisiche del nostro corpo, dai nostri geni e dal nostro cervello, e che *forse* la nostra intelligenza può essere riprodotta in un artefatto tecnologico. Malgrado questi colpi, la mente dell'uomo continua ad essere vista come qualcosa di speciale, e che ci rende speciali.

Nella storia della psicologia del Novecento un'evidente *disagio* nei riguardi della mente e del vocabolario usato per parlarne è stato espresso in modo esplicito da una particolare scuola psicologica: il comportamentismo.

Il comportamentismo ha fatto una proposta semplice e radicale: aboliamo la mente. Dietro al comportamento non c'è nulla, o almeno nulla che sia necessario esaminare per capire il comportamento. La mente può essere trattata come una «scatola nera», qualcosa dentro la quale non è necessario guardare perché è sufficiente prendere in considerazione quello che vi entra e quello che ne esce. (Ivi, 41)

Una volta che sappiamo quali risposte motorie vengono causate da quali stimoli, non c'è nient'altro da capire, non c'è alcun bisogno di andare a cercare *dietro al* comportamento, di scoprire quello che c'è *tra* gli stimoli e le risposte.

Va tenuto presente però che, come ancora afferma Parisi, i comportamentisti *insieme alla mente abolirono anche il cervello*. Secondo loro il compito della psicologia era quello di studiare il comportamento, e il comportamento si può studiare senza occuparsi di quello che sta dietro di esso, sia che si tratti della mente sia che si tratti del cervello. Come afferma Edelman

Il behaviorismo[...]malgrado la facciata monistica, non è altro che dualismo ridotto dalla negazione che la mente possa essere oggetto di indagine scientifica: quindi, dualismo con un'estremità in sospeso.

I behavioristi risolvono il dilemma studiando il comportamento e ignorando l'intenzionalità; non tentano di reintegrare la mente nella natura, ma semplicemente non la riconoscono come oggetto di ricerca scientifica. (Edelman, 1993, 30-31)

Un movimento di risposta alla pretesa del comportamentismo di abolire la mente è il cognitivismo. La rivoluzione cognitiva è cominciata negli Stati Uniti verso la fine degli anni Cinquanta e nel giro di pochi anni ha praticamente tolto dalla scena il comportamentismo e ha riaffermato con forza

l'idea che bisogna guardare dietro al comportamento, analizzando quello che sta in mezzo tra stimoli e risposte.

Oggi è ampiamente riconosciuto che il modo in cui un organismo appena un po' complesso risponde agli stimoli che gli giungono dal mondo esterno dipende solo in misura limitata da questi stimoli. Dipende molto di più da quello che c'è dentro l'organismo, dalla sua mente o, appunto, dal suo cervello.

La rivoluzione cognitiva degli anni Sessanta e Settanta è consistita nel fatto che gli psicologi hanno capovolto la posizione comportamentista che consisteva nell'ignorare quello che c'è «dentro», quello che succede *dopo* che è arrivato uno stimolo e *prima* che venga prodotta una risposta, e hanno considerato invece proprio lo studio e l'analisi di quello che avviene *tra* lo stimolo e la risposta come il vero compito della psicologia. Ma la strada che ha preso la rivoluzione cognitiva è stata quella secondo la quale «dentro» c'è la mente, non il cervello.

Sfugge a questi studiosi, ed è un punto critico, che una descrizione della mente non può procedere in modo « libero » - cioè in mancanza di una precisa descrizione biologica del cervello. Essi non tengono conto di un corpus insieme di risultati che minano alla base la concezione secondo cui il cervello sarebbe una sorta di calcolatore; ignorano i risultati che mostrano come gli animali e gli esseri umani suddividano in categorie gli oggetti e gli eventi in un modo che non ha niente a che vedere con la logica e con il calcolo. (Ivi, 1993, 34-35)

Come inoltre asserisce Parisi,

È stato il computer che ha reso possibile la rivoluzione cognitiva[...]ma anticipiamo subito che il computer è servito a rafforzare il dualismo della psicologia, cioè l'idea che dietro al comportamento e alla vita mentale c'è una mente non fisica, non ci sono un cervello e un corpo[...]In effetti l'avvento del computer ha risolto un problema che Cartesio aveva lasciato irrisolto: il problema di dare rigore e legittimità scientifica a uno studio della mente come entità non fisica. (Parisi, 1999, 43-49)

Un computer funziona manipolando simboli in modo algoritmico. Manipolare simboli vuol dire riconoscerli, conservarli nella memoria, ritrovarli in essa, confrontarli tra loro, modificarli in vario modo, comunicare mediante essi con l'utente del computer. Manipolare simboli in modo «algoritmico» (o, come anche si dice, in modo «sintattico» o «formale») significa fare tutte queste operazioni considerando soltanto la forma fisica dei simboli, quella per cui il simbolo A è fisicamente diverso dal simbolo B, ma ignorando completamente quello che i simboli significano, e quindi abolendo ogni loro possibile vaghezza, imprecisione e ambiguità.

Per qualche decennio, diciamo fino alla metà degli anni Ottanta, il nuovo dualismo tra corpo e mente basato sul computer è stato dominante nello studio del comportamento e della vita mentale in tutte le discipline che formano la scienza cognitiva. In psicologia si è affermata appunto la psicologia cognitivista per la quale la mente è, come il computer, un sistema di manipolazione di simboli e i modelli teorici da usare per spiegare le capacità e i comportamenti degli esseri umani, ma anche degli altri animali, vanno formulati come diagrammi di flusso delle informazioni e come procedure che applicano regole a rappresentazioni o a «modelli mentali». Nella linguistica si sono affermate le idee di Chomsky che con le sue critiche alle teorie del linguaggio di Skinner e con la sua teoria linguistica così vicina alla logica e all'informatica, si può dire sia stato uno dei padri fondatori della scienza cognitiva. In filosofia la nuova teoria «computazionale» della mente ha trovato grande favore dato che fu proprio una certa tradizione filosofica (quella di Frege, del Wittgenstein autore del *Tractatus logico-philosophicus*, della logica, ecc.) a crearne le premesse.

E tuttavia, nonostante novità e originalità, il bilancio dell'operazione che consiste nel concepire la mente come una macchina computazionale e quindi, esplicitamente, macchina non fisica, adesso, alla fine del secolo, dopo quasi cinquant'anni di ricerche, elaborazioni, prove, discussioni, a un numero crescente di studiosi non appare positivo. (Ivi, 54)

I sistemi costruiti dall'intelligenza artificiale dovrebbero essere in grado di riconoscere gli oggetti presenti nell'ambiente, di muoversi fisicamente nell'ambiente in modo efficiente, di fare ragionamenti e progetti, prendere decisioni, comunicare con il linguaggio. Tutto questo sulla base di procedure che si limitano a manipolare formalmente dei simboli - esattamente l'idea della «mente computazionale». Perciò valutare i risultati ottenuti in concreto dall'intelligenza artificiale è il modo più diretto di determinare quanta strada si riesce a fare se si applica alla lettera l'idea che la mente è manipolazione di simboli e quindi può essere studiata ignorando la sua base fisica. Oggi un numero crescente di studiosi ritiene che non si riesce a fare molta strada.

Ma c'è un'altra conclusione più radicale da trarre: forse è il dualismo tra corpo e mente, anche nella nuova versione della macchina simbolica ma non fisica, che è sbagliato. L'uomo non è due macchine, una fisica e una simbolica. L'uomo è una sola macchina, una macchina fisica. Le macchine possono pensare? Se «macchina» significa semplicemente una cosa fisica la risposta probabilmente è «Sì», e questo è dimostrato dal fatto che l'uomo, che è una cosa fisica, pensa. Riusciremo a costruire una macchina che pensa, un artefatto, non una cosa naturale come un essere umano, di cui si possa dire che pensa? Sì, probabilmente sì. Ma non è la strada della macchina simbolica ma non fisica che dovremo seguire. Dovremo costruire una macchina che riproduca le proprietà fisiche degli esseri umani e dovremo «far derivare la mente dalle potenze della materia», cioè quello che Cartesio riteneva impossibile. (Ivi, 59)

Ricordo, con le parole di Edelman, che per Cartesio

la ricerca di un metodo corretto di ragionamento lo indusse a dichiararsi a favore del « dualismo di sostanza ». Secondo questa concezione, il mondo consiste di *res extensa* e di *res cogitans*. Le manipolazioni galileiane operano sulla *res extensa*, sull'insieme di ciò che ha estensione; ma la materia pensante, *res cogitans*, non esiste propriamente nel tempo e nello spazio, non ha estensione e perciò non può cadere nel dominio di un osservatore esterno. Il problema dell'interazione è ancor più grave, poiché la mente e il corpo devono comunicare. Con una mancanza di chiarezza che non gli era propria, Descartes sostenne che la sede dell'interazione tra *res cogitans* e *res extensa* era la ghiandola pineale. (Edelman, 1993, 30)

In questi decenni le scienze biologiche continuano a fare grandi progressi. E questi progressi stanno riducendo sempre di più la distanza che le separa dalla mente.

Che cosa significa essere dotati di una mente, essere consapevoli, essere consci? Chiunque vi ha riflettuto, una volta o l'altra, ma fino a poco tempo fa gli scienziati se ne ritraevano timorosi. Ora è di scena qualcosa di nuovo: le neuroscienze. Le conoscenze scientifiche sul cervello hanno cominciato ad accumularsi a un ritmo esplosivo; sta diventando possibile parlare in termini scientifici di come si vede, si sente, si provano sensazioni e sentimenti. L'oggetto più complicato dell'universo comincia a svelare i propri segreti. Perché credere che tutto questo ci dirà qualcosa riguardo alla mente? A motivo di ciò che abbiamo imparato di già: proprio come ci si è resi conto del modo in cui si arriva alla materia per assetti particolari delle cose, così si dovrebbe essere in grado di spiegare come la mente è emersa da altri, simili assetti. (Ivi, 1993, 21)

Quasi ogni giorno le neuroscienze, cioè le scienze che studiano il sistema nervoso da tutti i punti di vista (anatomia, fisiologia, patologia, basi genetiche e molecolari, farmacologia, biologia evolutiva e dello sviluppo), ma anche la conoscenza degli altri sistemi del corpo che hanno un ruolo evidente nell'influenzare il comportamento e la vita mentale, fanno dei passi avanti. Forse, come afferma Edelman agli inizi della prefazione di *Sulla materia della mente*:

Siamo all'inizio della rivoluzione delle neuroscienze; alla fine, sapremo come funziona la mente, che cosa governa la nostra natura e in quale modo conosciamo il mondo.

Ma le cose stanno cambiando anche per ragioni collegate a un modificarsi più generale del clima e della sensibilità culturale. Per molti aspetti il rifiuto della «mente computazionale» e la ricerca di una reintegrazione della mente nella natura appaiono connessi con il passaggio dal moderno al postmoderno. Molto in sintesi, il moderno è legato alla razionalità, al maschile, all'estremo controllo

conoscitivo e tecnologico della realtà da parte degli esseri umani e quindi alla necessità di collocare la mente fuori dalla realtà perché possa esercitare questo controllo. Il postmoderno cerca faticosamente di uscire dal moderno schierandosi contro queste scelte.

Un programma di computer è l'incarnazione stessa della razionalità, una procedura che prevedendo tutte le eventualità, con il massimo di «freddezza», affidabilità ed economicità, conduce a un risultato desiderato ben definito fin dall'inizio.

L'ideale di un totale controllo conoscitivo e tecnologico della realtà è quasi definitorio del moderno. Il postmoderno ha abbandonato questo ideale. Per il postmoderno la realtà è troppo complicata (anzi, *complessa*) per essere completamente controllata con la conoscenza o con l'azione. La stessa scienza, con la sua tendenza a estendere il suo quadro unificante all'intera realtà, è tipica del moderno. E pertanto la scienza può essere parte del postmoderno solo se viene ridimensionata come una via, accanto ad altre, di conoscenza della realtà, e se riconosce il carattere *complesso* e quindi solo parzialmente conoscibile e comprensibile di gran parte della realtà. (Parisi, 1999, 63-64)

Due ragioni importanti che aiutano a spiegare il recente cambiamento di clima nello studio del comportamento e della vita mentale sono due fondamentali novità che sono avvenute in questi ultimi anni nella ricerca scientifica, una novità di carattere metodologico, l'altra di carattere teorico. La novità metodologica è il diffondersi del metodo della simulazione mediante il computer come strumento di ricerca in tutta la scienza. La novità teorica è l'affermarsi di modelli che interpretano un numero crescente di fenomeni della realtà come fenomeni «complessi».

Per capire l'importanza di questi nuovi sviluppi della ricerca bisogna rendersi conto che se la mente deve smettere di essere qualcosa di speciale, in maniera tale che il comportamento e la vita mentale divengano finalmente parte del quadro unificato della realtà a cui mira la scienza, la scienza deve risolvere preliminarmente alcuni problemi. La novità metodologica della simulazione e la novità teorica della complessità sono un contributo importante a risolvere questi problemi.[...]Il metodo della simulazione mediante il computer cambia i termini del problema. Questo metodo rappresenta una vera e propria rivoluzione nella scienza, di cui finora si riescono a vedere solo in parte le implicazioni e le conseguenze. La simulazione al computer si aggiunge come terzo grande strumento ai due strumenti tradizionali della scienza che sono l'esperimento di laboratorio e la formulazione di teorie. (Ivi, 65-66)

La scienza finora ha ritenuto che la realtà, tutta la realtà, fosse fatta di sistemi «semplici». Da qualche tempo essa sta invece scoprendo che la realtà è fatta in buona parte di sistemi «complessi». Ma che cosa sono i sistemi semplici e i sistemi complessi?

2. I sistemi complessi

Un sistema complesso ha le caratteristiche opposte rispetto a quelle di un sistema semplice. Un sistema complesso, come riassumono molti differenti studiosi (per es. Parisi,1999, Cini, 1994, Arecchi, 2000):

- a) è composto da un grande numero di elementi che interagiscono tra loro in modo tale che è impossibile isolare il ruolo di ciascun elemento nel produrre un certo effetto;
- b) ha comportamenti e caratteristiche “globali” che non si possono prevedere sulla base di una conoscenza degli elementi e delle loro interazioni;
- c) reagisce alle perturbazioni esterne in modi che non corrispondono all'entità delle perturbazioni: una piccola perturbazione può produrre effetti catastrofici, una grande perturbazione può essere riassorbita dal sistema senza effetti;
- d) tende a modificare l'ambiente in cui sta e a modificarsi in funzione dell'ambiente;
- e) tende a cambiare nel tempo in modi non gradualmente e non prevedibili, ad esempio con lunghi periodi di stasi interrotti da cambiamenti improvvisi.

Possiamo oggi dire che in verità identificare un pezzo di mondo per darne una descrizione *come sistema chiuso* è un'operazione mentale che davvero solo in casi limitati ha un corrispettivo nella realtà. Ogni pezzo di mondo riceve attraverso il proprio contorno degli *influssi ambientali che lo influenzano nella sua evoluzione*. Vediamo quello che dovrebbe essere l'esempio più semplice, l'atomo di idrogeno:

l'elettrone di un atomo di idrogeno interagisce col protone del nucleo e la dinamica corrispondente ammette una soluzione esatta. Ma poi l'elettrone interagisce anche con i campi di radiazione di tutte le altre cariche dell'universo, e ciò implica delle correzioni sensibili che vanno calcolate con procedure ben più elaborate che la soluzione dell'equazione di Schrödinger o di Dirac. Questa è la base del dibattito attuale sulla cosiddetta *complessità*: l'immagine del mondo circoscritto in una stanza, in cui gli oggetti hanno una collocazione e funzione precisa, non è spesso sufficiente; occorrerebbe in teoria includere tutto quello che viene dal di fuori (Arecchi, 2000,9).

Infatti si innestano scambi con l'ambiente che impongono una struttura "aperta" alla stessa descrizione scientifica. L'irruzione, o *emergenza*, di aspetti nuovi non inclusi nel pacchetto dei dati di partenza rappresenta la parte più innovativa di questa nuova avventura interdisciplinare:

non limitarsi cioè alla scienza delle interazioni fondamentali, da cui poi estrarre, con una procedura pitagorico-platonica, tutti i possibili comportamenti e invece adeguare la descrizione scientifica del mondo agli elementi di realtà che intervengono in ciascuna situazione. (Ivi, 10).

Ciò significa rendersi innanzi tutto conto del fatto che qualunque scienza, che opera nell'ambito di precise formulazioni linguistiche, è sempre un taglio che facciamo sui possibili modi di leggere la realtà. Qualunque teoria seleziona un numero limitato di aspetti da spiegare: in pratica nel rappresentare (alcuni preferiscono il termine *costruire*) la realtà facciamo uso di una pluralità di moduli che corrisponde ad una pluralità di *punti di vista*. Consideriamo, per fare un esempio, l'irreversibilità dei fenomeni naturali che *emerge* quando utilizziamo gli strumenti teorici (punto di vista) della termodinamica nei fenomeni macroscopici. Ebbene, a livello della Fisica atomica, la freccia del tempo non esiste, non c'è nessuna freccia del tempo, le leggi della Fisica sono perfettamente reversibili; i sistemi fisici tendono verso uno stato di equilibrio, però tutto è simmetrico, sia che il tempo tenda a più infinito che a meno infinito.

Tutto ciò ha un'influenza diretta anche sul "linguaggio" scientifico:

i protocolli di misura non sono fissati una volta per tutte, non fanno parte integrante del linguaggio formale in cui si è congelata una teoria scientifica, ma in ogni atto di misura c'è un aggiustamento della sensibilità e risoluzione degli apparati per adeguarsi alla realtà locale e questo aggiustamento precede la stessa formulazione linguistica dell'esperimento. Già sappiamo che ciò avviene a livello percettivo. Ad esempio, vedere non è registrare un campo di segnali su un ricevitore passivo, come fa una macchina fotografica, ma è un dialogare con la realtà in quanto la memoria archiviata di situazioni precedenti modifica le soglie neuronali in modo da esaltare certi dettagli e trascurarne altri. Il vedere è perciò un dialogo attivo col mondo che esclude, da una parte la ricezione passiva legata al dualismo fra *res cogitans* e *res extensa*, e dall'altra esclude una "autopoiesi" per cui non si esce mai da se stessi e si continua a prendere coscienza solo di proprie rappresentazioni interne. In effetti, i meccanismi di sincronizzazione neuronale di cui ci parlano i neurofisiologi implicano delle correlazioni fra flussi di segnali provenienti dall'esterno (*bottom-up*: dal basso verso l'alto) e flussi di congetture provenienti dalla memoria (*top-down*: dall'alto verso il basso). La percezione vista come armonizzazione di questi due flussi implica una sintesi complessa fra due punti di vista che - se isolati - appaiono semplicistici, quali l'empirismo della tabula rasa da una parte e il solipsismo dell'autopoiesi dall'altra. (ivi, 11).

Un'ulteriore conseguenza di ciò può essere schematizzata dicendo che con le leggi che interpretano il comportamento degli atomi non si possono spiegare tutte le proprietà delle molecole, con le leggi che spiegano le proprietà delle molecole non si possono interpretare tutte le proprietà delle cellule, con le leggi che regolano le proprietà delle cellule non si possono spiegare tutte le proprietà degli organi e con le leggi che spiegano le proprietà degli organi non si possono spiegare tutte le proprietà dell'uomo. Per usare le famose parole del paleontologo e biologo teorico Stephen Gould:

La grande maggioranza dei biologi sostiene [...] che la vita, come risultato della propria complessità strutturale e funzionale, non può essere risolta nei suoi costituenti chimici e spiegata nella sua interezza da leggi fisiche e chimiche che operano a livello molecolare. Ma nega, in modo altrettanto strenuo, che l'insuccesso del riduzionismo indichi una qualsiasi proprietà mistica della vita, una qualsiasi 'scintilla' speciale che sia inerente alla vita soltanto. La vita acquisisce i propri principi dalla struttura gerarchica della natura. A mano a mano che i livelli di complessità salgono lungo la gerarchia dell'atomo, della molecola, del gene, della cellula, del tessuto, dell'organismo e della popolazione, compaiono nuove proprietà come risultato di interazioni e di interconnessioni che emergono a ogni nuovo livello. Un livello superiore non può essere interamente spiegato separando gli elementi che lo compongono e interpretando le loro proprietà in assenza delle interazioni che uniscono quegli elementi. Così, abbiamo bisogno di principi nuovi, o emergenti, per poter cogliere tutta la complessità della vita; questi principi si addizionano alla fisica e alla chimica degli atomi e delle molecole e sono in armonia con esse. (Gould, 1987, 305)

Ebbene, è possibile oggi vedere il comportamento e la vita mentale come la punta dell'iceberg di un sistema complesso.

Dato il carattere unico della coscienza e l'incapacità da parte del pensiero di « guardare dentro » i propri meccanismi, non sorprende di certo che alcuni filosofi abbiano proposto il concetto di sostanza pensante, o persino una sorta di pansichismo, per il quale la coscienza è condivisa da tutta la materia. I risultati delle indagini moderne lasciano intendere, tuttavia, che la materia fisica sottostante la mente non è affatto straordinaria. E' materia del tutto normale - costituita cioè da elementi chimici quali il carbonio, l'idrogeno, l'ossigeno, l'azoto, lo zolfo, il fosforo e da alcuni metalli presenti in tracce. Quindi non c'è nulla, nella composizione essenziale del cervello, che possa offrirci un indizio sulla natura delle proprietà mentali. Quel che c'è di speciale è la sua organizzazione. (Edelman, 1993, 37)

I geni che compongono il materiale genetico interagiscono tra loro e con i loro stessi prodotti, per produrre le molecole e le cellule del corpo.

Le cellule del sistema nervoso interagiscono tra loro e con il resto del corpo e da queste interazioni emergono il comportamento e la vita mentale dei singoli individui. E, andando anche più lontano, i singoli individui interagiscono tra loro e con le strutture sociali e da queste interazioni emergono la struttura e il modo di funzionare delle società.

A tutti i livelli, i fenomeni che si osservano e il modo in cui essi cambiano nel tempo sono il risultato di una interazione costante con l'ambiente. E a tutti i livelli il livello superiore costituisce almeno in parte l'ambiente per il livello inferiore. Il comportamento e la vita mentale modificano l'ambiente creando, nel caso degli esseri umani, la cultura e la tecnologia, e si modificano, cioè prendono la forma che hanno, in risposta all'ambiente a tutti i livelli, da quello dell'evoluzione biologica, allo sviluppo dell'individuo, all'evoluzione culturale e tecnologica[...]I due nuovi strumenti a disposizione dello scienziato, quello teorico dei sistemi complessi e quello metodologico della simulazione, costituiscono il quadro di riferimento entro il quale si possono studiare comportamento e vita mentale senza dualismi, percorrendo con libertà e nei due sensi la gerarchia di fenomeni rilevanti per capire il comportamento e la vita mentale. Questi strumenti sono alla base dei nuovi modelli simulativi della Vita Artificiale: le reti neurali e gli algoritmi genetici. (Parisi, 1999, 77-78)

Una rete neurale è una struttura formata da un certo numero di unità collegate tra loro da connessioni. Attraverso le connessioni un'unità influenza fisicamente le altre unità con cui è collegata. Le unità hanno alcune delle caratteristiche essenziali delle cellule nervose, i neuroni del sistema nervoso reale, mentre le connessioni hanno alcune delle caratteristiche essenziali dei collegamenti sinaptici tra neuroni.

Ma, prima di presentare brevemente i modelli simulativi della Vita Artificiale alla base del moderno approccio connessionista, credo sia opportuno ora fare una breve parentesi sulla teoria della selezione dei gruppi neuronali di Gerald Edelman che per prima ha ispirato direttamente questo filone di ricerca.

3. Teoria della selezione dei gruppi neuronali.

L'obiettivo della teoria della selezione dei gruppi neuronali di Gerald Edelman è quello di stabilire un nesso fra ciò che sappiamo della mente e ciò che conosciamo del cervello per dimostrare che è scientificamente possibile comprendere i processi mentali sulla base della conoscenza della struttura e delle funzioni cerebrali.

Se si considera che senza la mente non si possono formulare domande e che una solida dimostrazione di una mente senza un corpo non è mai stata data, non occorre difendere l'importanza del tema qui trattato[...]descrivere una teoria biologica di come si arrivi ad avere una mente. A questo scopo entrerà nel merito dell'organizzazione della materia alla base della nostra mente: i neuroni, i loro collegamenti e le loro configurazioni.(Edelman,1993, 17)

E, come fa notare Cini,

E' sufficiente questa enunciazione programmatica per accorgersi che la linea di ricerca di questo scienziato, al quale venne attribuito nel 1972 il premio Nobel per i suoi contributi alla comprensione del funzionamento del sistema immunitario, si colloca in netta contrapposizione con gli obiettivi delle cosiddette scienze cognitive, e in particolare con l'ipotesi di fondo dell'approccio ai problemi della mente adottato dai ricercatori dell'Intelligenza Artificiale, che li considerano del tutto indipendenti dalla natura dello hardware del computer cerebrale. (Cini, 1994, 162)

Voglio ricordare che i padri fondatori dell'IA, come Herbert Simon e Allen Newell, sono convinti che le macchine, dotate di opportuno software, sono in grado "di pensare". Questa affermazione, coerentemente ai presupposti di tutte le scienze cognitive, si basa sul convincimento secondo il quale un pensiero razionale è costituito di pensieri razionali di taglia più ridotta, assemblati secondo regole logiche precise, ossia che l'attitudine a pensare della mente discende da un'attività razionale di "trattamento dell'informazione".

In altre parole, alla base dell'Intelligenza Artificiale (IA),

c'è il presupposto secondo il quale il livello dei processi mentali che si svolgono all'interno del cervello può essere rappresentato mediante un linguaggio proprio, facendo astrazione dai concreti processi fisicochimici che avvengono nelle reti neuronali della struttura cerebrale. Questo implica che, da un punto di vista di principio, gli stessi processi mentali possono essere riprodotti in una struttura di natura fisica diversa dal cervello, purché di uguale complessità. La struttura artificiale più complessa che abbiamo a disposizione per mettere alla prova questa ipotesi è ovviamente il computer. Obiettivo programmatico della IA è dunque quello di cercare di tradurre sotto forma di software gli algoritmi che sono alla base dell'attività mentale.(Ivi, 155-156)

Scrivendo Edelman, riferendosi ai fondatori dell'IA.

Incoraggiati da un'apparente convergenza di interessi, alcuni scienziati che lavorano in questi campi hanno scelto di non scartare fin dall'inizio le funzioni mentali, come i behavioristi, ma di ricorrere invece al concetto di rappresentazione mentale e a un insieme di congetture che va sotto il nome di tesi funzionalista. Secondo questa prospettiva, la conoscenza che guida il comportamento umano è costituita da rappresentazioni mentali simboliche e l'attività cognitiva consiste nella manipolazione di tali simboli. I fenomeni psicologici sono descritti in termini di processi funzionali; l'efficacia di tali processi risiede nella possibilità di interpretare gli elementi come simboli, in maniera astratta e rigorosamente definita, secondo un insieme di regole non ambigue; tali regole costituiscono la cosiddetta sintassi. L'applicazione di queste regole sintattiche è una forma di calcolo. [...] Si suppone che il calcolo sia in gran parte indipendente dalla struttura e dalle modalità di sviluppo del sistema nervoso, proprio come il software può girare su macchine diverse, con architetture diverse, ed è perciò "indipendente" da queste. A quest'ipotesi è legata l'opinione che il cervello (o, per esser più corretti, la mente) sia paragonabile a un calcolatore e il mondo a un nastro magnetico e che il mondo sia ordinato per lo più in modo tale che i segnali ricevuti possano essere 'letti' in termini di pensiero logico. (Edelman, 1993, 33)

Orbene, argomenta Edelman, il punto di vista dei cognitivisti è profondamente sbagliato, perché la mente non può essere descritta in assenza di una descrizione biologica dettagliata del cervello.

Ignorare le origini delle cose è sempre una faccenda rischiosa. Lo è ancora di più se l'impresa dichiarata è spiegare quel che accade nella mente. Ma è esattamente ciò che è successo in gran parte della storia della psicologia e della filosofia della mente, suppongo a causa del fatto che il pensiero è un processo riflessivo e ricorsivo; per tali ragioni è allettante pensare di poter svelare la natura del pensiero unicamente grazie al pensiero stesso. Tuttavia[...]si osserva che la differenza più grande tra gli oggetti intenzionali e quelli non intenzionali è che i primi sono entità biologiche. Il punto non è che tutte le cose viventi sono intenzionali, ma che niente che non abbia vita lo è. (Ivi,1993, 61)

L'identificazione del cervello con un computer trascura, sempre secondo Edelman, una quantità di risultati che mostrano come il modo utilizzato dagli esseri umani e dagli animali per classificare gli oggetti e gli avvenimenti in categorie non ha niente a che vedere con la logica o il calcolo. Come riassume in maniera convincente Cini:

L'analisi dell'evoluzione, dello sviluppo e della struttura del cervello rende infatti estremamente improbabile l'ipotesi che esso funzioni come una macchina di Turing, ipotesi che è la base del punto di vista cognitivista.

L'analogia infatti non regge per diverse ragioni. In primo luogo, perché il nastro che rappresenta l'input di una macchina di Turing contiene simboli non ambigui scelti all'interno di un insieme finito, mentre i segnali sensoriali che sono a disposizione del sistema nervoso sono di tipo analogico, e sono, dunque ambigui e non riducibili a un insieme discreto e finito. In secondo luogo perché una macchina di Turing possiede un numero finito di stati interni, mentre il numero di stati possibili del sistema nervoso umano sembra illimitato. Inoltre le transizioni fra gli stati di una macchina di Turing sono completamente deterministiche, mentre quelle degli esseri umani sembrano ampiamente indeterminate. Infine, la variabilità ambientale e quella delle procedure di categorizzazione degli uomini e degli animali sembrano incompatibili con la possibilità di riuscire a codificare il mondo su nastro di una macchina Turing.

Insomma contrariamente a ciò che accade con i computer, le caratteristiche delle risposte dipendono dalla sua storia, che da un lato produce cambiamenti nel sistema stesso a tempi diversi, dall'altro introduce differenze fra i sistemi nervosi di differenti individui in conseguenza della diversità delle esperienze vissute. (Cini, 1994, 163-164)

Il fondamento della teoria di Edelman è il pensiero evoluzionista.

La proposta di Darwin, secondo cui la mente era comparsa con l'evoluzione, ci ha offerto un'enorme capacità di comprendere in quale modo la nostra mente potrebbe funzionare. Essa indica che le menti non ci sono state sempre; sono comparse in un certo momento preciso, attraverso una serie di passi gradualmente. Significa anche che si deve prestare attenzione alla forma animale, poiché l'evoluzione insegna che il nocciolo della questione sta nella selezione di animali formati in modo da compiere funzioni che ne accrescano il valore adattativo. (Edelman,1993,58)

L'idea centrale di questo modo di spiegare il mutamento delle forme viventi consiste, come sappiamo, nell'assumere come soggetto del processo evolutivo una popolazione caratterizzata da un'estesa variabilità dei caratteri degli individui che la costituiscono. Questa variabilità è la sorgente di diversità sulla quale agisce la selezione naturale per produrre varietà differenti di organismi. Il processo di adattamento degli organismi ai mutamenti dell'ambiente, infatti, risiede nella selezione degli organismi che presentano le varianti in media più favorevoli, senza che alcuna informazione (o istruzione) venga fornita a priori sulla natura di quei mutamenti. In altre parole, nessun trasferimento esplicito d'informazione dall'ambiente agli organismi interviene per indurre la popolazione a modificarsi in modo da accrescere il suo livello di adattamento: l'evoluzione opera per selezione, non per istruzioni.

Nel processo evolutivo, gli organismi[...]si adattano, poco o tanto, a ciò che avviene nell'ambiente[...]L'adattamento si verifica anche in corrispondenza di cambiamenti ambientali imprevedibili (i quali, cioè, rappresentano una novità). Il processo di adattamento si esplica mediante la selezione di quelle varianti dell'organismo che risultano essere, in media, le più adatte; ciò che le rende tali non ha bisogno di ricevere, prima di operare, un'esplicita informazione (« istruzione ») sulla natura delle novità ambientali. I cambiamenti ambientali selettivi non dipendono, in generale, dalle variazioni nella popolazione di organismi, sebbene la selezione che ne consegue possa contribuire a tali variazioni. In breve, non si tratta di un trasferimento esplicito di informazione tra l'ambiente e gli organismi che provoca i cambiamenti della popolazione e ne aumenta il grado di adattamento. L'evoluzione opera per selezione, non per istruzione. Non c'è causa finale né teleologia né uno scopo alla guida del processo globale, le cui reazioni si verificano sempre *a posteriori*. L'idea è stupefacente. A me ricorda quel personaggio di un romanzo di E.M. Forster che a un certo punto dice: « Come

faccio a sapere quel che penso fino a quando non sento quel che dico? ». Più stupefacente ancora è il fatto che l'evoluzione, che opera mediante processi selettivi su popolazioni di individui nel corso di periodi di tempo lunghissimi, dia origine a sistemi selettivi all'interno degli individui. Tali sistemi selettivi, che operano in un corpo per la durata della vita, si chiamano sistemi selettivi somatici. Si ha quindi un sistema selettivo evolutivo che seleziona un sistema selettivo somatico! (Ivi, 118-119)

Il passo ulteriore consiste nell'osservare che il principio del mutamento per selezione non opera soltanto a livello filogenetico su popolazioni di individui nell'arco dei tempi geologici, ma anche a livello ontogenetico nel corso della vita di un individuo. Un esempio, su cui peraltro Edelman come sappiamo, lavorò per anni, è il sistema immunitario.

Senza entrare ovviamente nei particolari, ricordo che il sistema immunitario è capace di distinguere a livello molecolare tra “il sé” e “il non sé”. Le cellule immunitarie responsabili di questo riconoscimento sono, come noto, i globuli bianchi, o linfociti. Fino a non molto tempo fa si pensava che fosse ogni antigene a trasmettere al linfocito l'informazione necessaria a permettergli di produrre un anticorpo capace di bloccare l'attività. Ma oggi, dopo i lavori di Edelman, è universalmente accettata un'altra spiegazione, che fa appello al principio di selezione. Si ammette infatti che ogni organismo produca autonomamente un'enorme varietà di linfociti ognuno dotato di un anticorpo “diverso” in modo che un antigene, qualunque sia la sua forma, troverà “sempre” sulla sua strada un anticorpo capace di bloccarlo. A questo punto interviene il processo selettivo. Il linfocito comincia a replicarsi per divisione dando origine a una progenitura di cellule identiche. La selezione produce così una popolazione di linfociti che evolve nel tempo a seconda della sua storia passata. E' utile, credo, vedere proprio come Edelman riassume questi aspetti.

Il sistema selettivo immunitario presenta alcune caratteristiche interessanti. Innanzitutto, c'è più di un modo per riconoscere una certa forma; in secondo luogo, non esistono due individui che lo facciano nello stesso identico modo, cioè non esistono due individui con gli stessi identici anticorpi. In terzo luogo, il sistema mostra una sorta di memoria cellulare: dopo l'incontro tra un antigene e un insieme di linfociti in grado di legarsi ad esso, alcuni di questi si divideranno solo alcune volte, mentre gli altri continueranno in modo irreversibile a produrre l'anticorpo specifico per quell'antigene e infine moriranno. Poiché alcune delle cellule si dividono ma non arrivano a produrre anticorpi, le cellule di quel tipo saranno comunque più numerose di prima, entro la popolazione totale, e questo gruppo più numeroso potrà rispondere in seguito allo stesso antigene in maniera più spedita. Il sistema esibisce quindi[...]una forma di memoria a livello cellulare. Si tratta di un sistema per il riconoscimento di molecole, un sistema non cognitivo e altamente specifico la cui spiegazione è un esempio meraviglioso di ragionamento in termini di popolazioni - l'essenza del darwinismo. Come nell'evoluzione, c'è un generatore di diversità (il « rimescolatore » di DNA nei linfociti), un modo di perpetuare i cambiamenti mediante una sorta di eredità (la divisione clonale) e un modo di aumentare in maniera differenziale gli eventi selettivi (la riproduzione clonale differenziale). A differenza dell'evoluzione, tutto ciò accade nelle *cellule* in piccoli intervalli di tempo e non produce molti livelli di forma, ma soltanto anticorpi diversi. E' un sistema selettivo somatico.(Ivi, 124-125)

Si tratta di un'evoluzione adattativa per selezione, come nel caso della specie.
Entrambi i sistemi sono una sorta quindi di “sistema selettivo di riconoscimento”.

Il cervello è un sistema di riconoscimento selettivo? Una descrizione delle operazioni fondamentali del cervello in termini siffatti può essere proficua e rivelatrice? Come avrete senza dubbio sospettato, io non soltanto la ritengo proficua, ma penso anche che dissolverà in gran parte il paradosso e il senso di crisi che conseguono dall'analisi dei dati concernenti la struttura e il funzionamento del cervello. (Ivi, 126-127)

Arriviamo ora a quello che Cini definisce “il punto centrale dell'argomentazione”.

Edelman sostiene che anche il cervello è un sistema selettivo di riconoscimento. Diverse ragioni militano a favore di questa ipotesi. La prima deriva dalle critiche già esposte precedentemente alla concezione cognitivista. Se esse sono valide, l'adattamento di un animale al suo ambiente (apprendimento) non può essere un processo che procede attraverso il trasferimento *a priori* di istruzioni da parte di quest'ultimo, ma deve essere il risultato di un processo *selettivo a posteriori*. La seconda si fonda sui dati forniti dall'embriologia che inducono a pensare che la straordinaria diversità

anatomica presente a livello delle più minute ramificazioni delle reti neuronali in individui diversi sia una conseguenza inevitabile del processo di sviluppo. E' già stato notato a questo proposito che un tale grado di diversità individuale non può essere tollerato da un sistema simile a un computer che deve seguire delle istruzioni. Esso è invece ciò di cui ha bisogno un sistema selettivo. Un'ultima ragione infine si ricollega alla possibilità di superare in questo modo una difficoltà concettuale inerente al funzionamento di qualunque sistema che debba seguire delle istruzioni esterne, e cioè la necessità di postulare in qualche modo l'esistenza, al suo interno, di un 'interprete' dei segnali e dei simboli che le codificano. Al contrario i sistemi selettivi, nei quali l'adattamento avviene a posteriori su un repertorio diversificato già esistente di possibili risposte, non hanno bisogno di affrontare il problema dell'attribuzione di un significato ai messaggi provenienti dal mondo. (Cini, 1994,, 166)

Il compito che Edelman si assegna è dunque quello di riconciliare la variabilità strutturale e funzionale del cervello con la necessità di spiegare in che modo esso sia capace di effettuare categorizzazioni. La teoria che egli propone deve dunque possedere un certo numero di caratteristiche essenziali. Come Edelman chiarisce,

A questo scopo ci occorre una teoria che presenti alcune caratteristiche indispensabili: deve concordare con i dati dell'evoluzione e dello sviluppo; deve render conto della natura adattativa delle risposte alle situazioni nuove; deve mostrare come le funzioni cerebrali crescano in armonia con le funzioni del corpo, seguendone i cambiamenti dovuti alla crescita e all'esperienza; deve render conto dell'esistenza delle mappe cerebrali, della loro funzionalità, della loro variabilità; deve spiegare come si arrivi a una risposta integrata, partendo da una molteplicità di mappe, e come da queste si giunga alla generalizzazione delle risposte percettive anche in assenza del linguaggio. Infine, una teoria siffatta deve render conto della comparsa, nel corso dell'evoluzione, delle varie forme di categorizzazione percettiva e concettuale, della memoria e della coscienza. (Edelman, 1993, 131)

Ricordo, sempre con le parole di Edelman, che il concetto di mappa cerebrale si riferisce alla organizzazione stessa dei neuroni ed a una loro specifica funzione.

I neuroni presentano una gran varietà di forme, e la forma determina in parte il modo in cui si connettono e compongono la neuroanatomia di una data area del cervello. Le possibili disposizioni anatomiche dei neuroni sono molte e talvolta essi sono organizzati in mappe. Queste realizzano un importante principio dei cervelli complessi: le mappe mettono in relazione i punti appartenenti agli strati bidimensionali di recettori del corpo (quali la pelle e la retina) con i punti corrispondenti sugli strati che formano il cervello. Gli strati di recettori (per esempio le cellule tattili sui polpastrelli e le cellule fotosensibili della retina) sono in grado di reagire al mondo tridimensionale e fornire al cervello segnali spaziali riguardanti la pressione o le differenze di lunghezza d'onda (se si prende in considerazione anche il tempo, reagiscono a un mondo a quattro dimensioni). Inoltre la maggioranza delle fibre presenti nel cervello è costituita da quelle che connettono le mappe; per esempio, il corpo calloso, il principale fascio di fibre che connette parti dell'emisfero destro a parti dell'emisfero sinistro lungo la linea mediana, contiene circa duecento milioni di fibre. (Ivi, 42-43)

E ancora.

I circuiti del cervello non assomigliano ad alcun altro circuito di tipo conosciuto. Le arborizzazioni dei neuroni si sovrappongono tra loro e si ramificano in una miriade di modi diversi. Lo scambio di segnali tra i neuroni non è affine a ciò che avviene in un calcolatore o in una centrale telefonica; assomiglia piuttosto all'enorme aggregato di interazioni caratteristico di una giungla. Eppure, a dispetto di ciò, il cervello dà origine a mappe e circuiti che adattano in modo automatico i propri confini al variare dei segnali. Il cervello contiene una molteplicità di mappe che interagiscono senza alcun supervisore e che tuttavia rendono unitaria e coesa la scena percettiva. Esso consente (ai piccioni, per esempio) di riunire nella stessa categoria, avendone riconosciuta l'affinità, molti, se non infiniti, oggetti differenti (per esempio, immagini di pesci diversi, dopo aver visto solamente alcune di queste immagini).(Ivi, 113-114)

Tre sono i principi di base della teoria.

Il primo principio parte dalla constatazione che il codice genetico non può fornire un programma specifico e dettagliato della rete di connessioni che si stabiliscono all'interno della popolazione di neuroni, perché il numero di queste connessioni è molto maggiore delle unità di informazione

contenute nel genoma. E' per questo che tale struttura presenta una variabilità enorme da individuo a individuo a livello delle sue ramificazioni più fini. Come riassume Cini,

Essa è dunque il risultato di un processo di selezione risultante dalla competizione fra cellule, alcune delle quali sopravvivono e altre muoiono nel corso del processo di crescita delle loro ramificazioni man mano che esse esplorano una data regione del cervello durante il suo sviluppo (Cini, 1994, 167)

Il secondo principio fornisce un meccanismo di selezione supplementare che, in generale non introduce modificazioni della struttura anatomica primaria, ma rinforza o indebolisce le connessioni (*sinapsi*) esistenti fra neuroni a seconda della maggiore o minore attività neuronale sviluppata nel corso delle esperienze vissute dall'organismo nella sua interazione con il mondo.

Il terzo principio infine è il più importante, perché si propone di indicare in che modo i fenomeni selettivi descritti riescono a collegare la psicologia alla fisiologia o, se si vuole, in che modo le aree cerebrali che compaiono nel corso dell'evoluzione si coordinano per dare origine a nuove funzioni.

Come si è detto i segnali provenienti dal mondo vengono analizzati dal cervello raccogliendone campioni differenti attraverso una molteplicità di mappe (il sistema visuale della scimmia, per esempio, possiede più di trenta mappe diverse), ognuna delle quali è sensibile a particolari differenti del segnale complessivo (per esempio, diversi tratti caratteristici della forma, il colore, la direzione del movimento ecc.). Queste mappe sono collegate fra loro da connessioni parallele e reciproche, attraverso le quali si scambiano segnali *rientranti*. (Ibid.)

Con questi tre principi Edelman ricostruisce pian piano tutta la scala evolutiva delle funzioni cerebrali, iniziando dalla categorizzazione percettiva. Questa categorizzazione emerge dall'“accoppiamento” fra le uscite di molte mappe locali e il comportamento (sensorio, motorio,...) dell'animale. Come riassume bene Cini,

Questo accoppiamento è effettuato da una struttura dinamica (mappatura globale) che evolve nel tempo in funzione di questo comportamento, in quanto permette di mettere in collegamento con altre regioni del cervello (ippocampo, cervelletto, gangli basali), che controllano il coordinamento delle attività motorie, gli avvenimenti selettivi che hanno luogo nelle mappe locali, e di aggiustare quindi continuamente i gesti e la postura dell'animale ai campionamenti indipendenti di una molteplicità di segnali sensoriali esterni e interni. La *selezione* dei gruppi neuronali nelle mappe locali di una mappatura globale fornisce dunque una categorizzazione dei segnali continuamente aggiornata. La categorizzazione, perciò, non è il risultato di un programma che connette un'informazione sensoriale all'esecuzione di una risposta motoria particolare, ma, al contrario, è l'attività sensorio-motoria che seleziona nell'insieme della mappatura i gruppi neuronali che forniscono in uscita una risposta “adeguata”.(Ivi, 168)

Senza entrare in ulteriori dettagli, è sufficiente sottolineare che per Edelman i tre principi sopra esposti sono sufficienti per la ricostruzione del rapporto fra fisiologia e psicologia per quanto riguarda la categorizzazione percettiva e l'acquisizione, attraverso l'evoluzione, di funzioni cerebrali superiori, come la memorizzazione e la categorizzazione concettuale, che a loro volta sono la premessa per lo sviluppo della coscienza e dell'intenzionalità.

Edelman distingue tra due tipi di coscienza.

Ho fatto una distinzione, che ritengo fondamentale, tra coscienza primaria e coscienza di ordine superiore. La prima è lo stato di consapevolezza mentale delle cose del mondo, in cui si hanno immagini mentali del presente. [...] La coscienza di ordine superiore, invece, comporta il riconoscimento, da parte di un soggetto razionante, dei propri atti e dei propri sentimenti [...] rivela una consapevolezza diretta - la consapevolezza non inferenziale, o immediata, di episodi mentali senza il coinvolgimento di organi di senso o di recettori. E' ciò che abbiamo noi, esseri umani, in aggiunta alla coscienza primaria: siamo coscienti di essere coscienti. (Edelman, 1993, 174)

In altre parole la coscienza primaria è la capacità di mettere in relazione gli oggetti e gli avvenimenti, anche non collegati fra loro da nessi causali, di una 'scena' attuale, grazie alla memoria delle categorizzazioni concettuali precedenti. E' il risultato dell'interazione di queste categorie cariche di valori, frutto delle esperienze precedenti, con le aree cerebrali che effettuano la categorizzazione percettiva attuale dei segnali provenienti dal mondo esterno e degli avvenimenti in corso. La coscienza primaria è tuttavia limitata a un piccolo intervallo di memoria collocato

nell'intorno del presente. Ad essa manca una nozione esplicita del sé individuale, e la capacità di integrare modelli del passato e del futuro in una scena correlata.

La coscienza di ordine superiore nasce quando, per via evolutiva, si sviluppa una memoria dei simboli e dei significati ad essi associati. E' possibile che l'origine di questo tipo di memoria risalga, almeno in parte, ai progenitori dell'uomo, ma è certo che senza l'acquisizione di un linguaggio e delle interazioni sociali che esso rende possibili la coscienza di ordine superiore non avrebbe potuto svilupparsi. L'acquisizione del linguaggio, a sua volta, non sarebbe stata possibile senza l'apparizione di organi di fonazione (probabilmente in seguito all'adozione della stazione eretta) e di aree cerebrali particolari in grado di produrre, organizzare e memorizzare suoni. La capacità di formazione dei concetti è la base indispensabile per lo sviluppo degli aspetti semantici del linguaggio.

Contrariamente a quanto sostengono i cognitivisti la sintassi si costituirebbe in seguito.

Le aree della parola che mediano la categorizzazione e la memoria per il linguaggio interagiscono con le aree concettuali cerebrali, di più antica evoluzione. La funzione loro propria- entro una comunità di parlanti- collega la fonologia con la semantica e guida l'apprendimento attraverso l'interazione con le aree concettuali del cervello. Ciò da origine a una sintassi, quando i medesimi centri concettuali categorizzano gli eventi di ordinamento che si verificano nel corso degli atti verbali. Quando comincia a formarsi una sintassi e si acquisisce un lessico sufficientemente ampio, i centri concettuali del cervello trattano i simboli, i riferimenti ai simboli e le immagini mentali che essi evocano come se fossero parte di un mondo 'indipendente', da sottoporre a ulteriori categorizzazioni. L'interazione tra i centri del linguaggio e i centri concettuali rende possibile un'esplosione di concetti e una rivoluzione ontologica - un mondo vero e proprio, non solo un ambiente. In questo modo emergono i concetti del sé, di un passato e di un futuro. (Ivi, 233)

Non è certo questa la sede per approfondire i dettagli della teoria, che può essere appresa appieno direttamente dai testi del suo autore (oltre a *Sulla materia della mente*, un altro libro in cui Edelman riassume la teoria e disponibile in italiano è *Il presente ricordato*, Rizzoli, Milano, 1991). Può comunque essere però utile a questo punto fare qualche commento sul rapporto fra la sua concezione e quella di alcuni altri importanti studiosi. Come si è visto fin dall'inizio, Edelman ribadisce a più riprese che l'analogia fra mente e calcolatore cade in difetto per molte ragioni.

Infatti, il cervello si forma secondo principi che ne garantiscano la varietà e anche la degenerazione; a differenza di un calcolatore, non ha una memoria replicativa; ha una storia ed è guidato da valori; forma categorie in base a criteri interni e a vincoli che agiscono su molte scale diverse, non mediante un programma costruito secondo una sintassi. Il mondo con il quale il cervello interagisce non è univocamente formato da categorie classiche. [...] il mondo, pertanto, non è paragonabile a un tratto di nastro magnetico. La polemica con i rappresentanti più autorevoli della comunità dell'IA è dunque netta e inequivocabile. (Cini, 1994, 170)

E' a questo riguardo utile notare che la posizione di Edelman sembra, almeno a prima vista, essere simile a quella del filosofo Searle. John Searle è famoso per aver presentato per primo l'esperimento ideale noto come "la stanza cinese", escogitato per mostrare l'inadeguatezza della nozione di algoritmo a spiegare la capacità umana di *comprendere* un linguaggio naturale (Searle, 1980).

Si consideri la seguente situazione immaginaria (vedi, per esempio, Tamburini, 2002). Un uomo A, che non comprende il cinese, sta da solo in una stanza. Egli comunica con il mondo esterno mediante messaggi scritti su carta, scambiati attraverso due aperture, quella dei messaggi in entrata e quella dei messaggi in uscita. Il suo interlocutore B comprende il cinese e può inviare messaggi in cinese a A presentandoli all'apertura dei messaggi in entrata. A è dotato di un "libro di regole", che contiene le specifiche di una procedura algoritmica per comporre ideogrammi cinesi a partire dall'osservazione degli ideogrammi in entrata.

A questo punto Searle immagina che l'uomo nella stanza e il suo interlocutore comunichino fra loro, per mezzo di fogli, utilizzando la scrittura ideografica cinese. L'uomo nella stanza si serve del libro di regole sia per esaminare gli ideogrammi in entrata, sia per scrivere gli ideogrammi che poi invia al suo interlocutore. Per B, i messaggi scambiati, presi nel loro insieme, costituiscono una comunicazione perfettamente sensata. A, invece, continua a non capire il cinese. Consultando il

libro d'istruzioni, A riesce a produrre e inviare all'esterno segni che egli non sa interpretare, ma che B interpreta proprio come messaggi appropriati al contesto del dialogo. Stando così le cose, bisogna concludere che l'applicazione di regole algoritmiche non è sufficiente a garantire la comprensione del cinese, per quanto esse consentano di condurre un dialogo che si sviluppa proprio come se ambedue gli interlocutori comprendessero quella lingua.

Il risultato di questo esperimento immaginario induce Searle alla conclusione che la comprensione di un linguaggio naturale richieda qualcosa di diverso dall'esecuzione di un algoritmo; nessun processo algoritmico fornisce una condizione sufficiente per la comprensione linguistica.

Vi sono state numerose critiche a questo esperimento ideale. Non è però questa la sede per analizzare il dibattito che ne è scaturito. Ciò che, ai fini del nostro discorso, volevo sottolineare, è che secondo Searle ciò che conferisce al cervello la capacità di pensare è la sua natura biologica. Egli è convinto che non sia possibile separare l'hardware del cervello dal software, per cercare di utilizzare quest'ultimo su una macchina con un hardware differente, perché ritiene che l'intenzionalità sia essenzialmente un fenomeno biologico. È dunque l'ipotesi fondamentale dell'IA come disciplina che Searle respinge, negando che essa abbia qualcosa di fondamentale da dirci sul pensiero.

La posizione di Edelman sembra, dicevo, simile. E tuttavia nel corso del suo libro Edelman fa alcune precisazioni significative che attenuano questa sua collocazione apparentemente così netta. Una di queste precisazioni è sicuramente la seguente.

La dinamica chimica ed elettrica del cervello in effetti ricorda il caotico insieme di luci, suoni, movimenti e crescita rigogliosa che si trova in una giungla, più che l'attività di un'azienda elettrica. Tale dinamica deriva da una chimica particolare; se quest'ultima si modifica, o se va distrutto il substrato anatomico corrispondente, ne possono conseguire cambiamenti mentali temporanei o permanenti, dall'euforia allo stato di incoscienza, fino alla morte. Peraltro, nel rendersi conto che la meravigliosa materia alla base della mente è senza pari, occorre evitare un superficiale sciovinismo, tale da farci affermare che *soltanto* le sostanze biochimiche di cui il cervello è composto potrebbero dar luogo a una tale struttura. Se anche ciò fosse vero, in una qualche misura, è comunque la disposizione dinamica di queste sostanze a creare i processi mentali che è essenziale, non la loro composizione effettiva. Si tratta sempre di morfologia dinamica, fino in fondo. (Edelman, 1993, 56)

Quest'affermazione segnala una differenza non trascurabile fra le posizioni di Edelman e le tesi di Searle, che ritiene l'intenzionalità determinata dalla biochimica specifica della materia sottostante.

Al riguardo si può anche notare quanto segue. Il capitolo 19 di *Sulla materia della mente* si intitola: "È possibile costruire un artefatto dotato di coscienza?". Esso comincia con un'affermazione che sembrerebbe in contraddizione con tutte le premesse:

Qui mi propongo di valutare se la conoscenza della funzione cerebrale possa permetterci di costruire oggetti intenzionali. Vorrei inoltre prospettare la possibilità che la sintesi di artefatti sia l'unico modo in cui si riesca a integrare in maniera efficace la nostra conoscenza del cervello, dati tutti i suoi livelli. A tal fine, sono necessari i calcolatori più progrediti.

Come però sottolinea Cini, a ben vedere questi propositi non sono in contraddizione con la tesi che il cervello non è un computer, se si precisa bene cosa si vuole.

L'obiettivo fondamentale è di *simulare un sistema selettivo di riconoscimento*, nel senso discusso in precedenza, in presenza di un ambiente nel quale accadono eventi imprevedibili. Per far questo si può procedere come segue:

- 1) dotare il sistema di un generatore di diversità: mutazioni, modificazioni di circuiti neuronali o modificazioni sinaptiche imprevedibili;
- 2) simulare un ambiente sottomesso ai vincoli creati dai principi fisici noti, nel quale possono prodursi avvenimenti impreveduti;
- 3) permettere al sistema d'interagire con l'ambiente simulato in assenza di qualunque trasferimento preventivo d'informazione, in modo da lasciare libera la selezione di seguire il suo corso;

- 4) vedere quello che succede. In queste condizioni non esiste alcuna procedura effettiva in grado di determinare le conseguenze della selezione, e non ha quindi alcun senso affermare che il sistema e i suoi risultati futuri si comportano come un computer (o una macchina di Turing).
(Cini, 1994, 172)

In effetti Edelman e i suoi collaboratori hanno costruito una macchina, chiamata Darwin III, che presenterebbe un comportamento assai simile a quello della categorizzazione percettiva. Ma i migliori risultati per valutare la teoria, almeno in questo momento, possono essere prodotti, come ritenuto da molti studiosi e come cercherò nei prossimi paragrafi di introdurre brevemente, dalle reti neurali e gli algoritmi genetici.

4. Le reti neurali

Ritorniamo quindi alla descrizione di una rete neurale ed agli strumenti alla base delle simulazioni di Vita Artificiale.

Ho già detto che una rete neurale è una struttura formata da un certo numero di unità collegate tra loro da connessioni. In ogni dato momento ciascuna unità di una rete neurale ha un livello quantitativo di attivazione che corrisponde, nel sistema nervoso reale, a quanto è attivo in un certo momento un neurone, cioè alla frequenza con cui il neurone «spara» impulsi nervosi che influenzano gli altri neuroni con cui è collegato. Ogni connessione ha un suo «peso» quantitativo che determina quanto un'unità influenza il livello di attivazione di un'altra unità con cui è collegata. Il peso delle connessioni corrisponde grosso modo, nel sistema nervoso reale, al numero di siti sinaptici attraverso i quali un neurone influenza un altro neurone.

Certo le reti neurali semplificano rispetto ai sistemi nervosi reali. Ma certamente le reti neurali sono più simili a un sistema nervoso reale di un algoritmo di manipolazione di simboli. E poi la ricerca tende progressivamente a includere un numero crescente di caratteristiche dei sistemi nervosi reali nelle reti neurali simulate. (Parisi, 1999, 81)

Quello che vediamo sullo schermo del computer di simulazione è per esempio un ambiente bidimensionale, un quadrato, che contiene delle cose che somigliano a moschini. I moschini per lo più stanno fermi, ma ogni tanto, senza apparente ragione, uno di loro vola via e atterra in un altro punto dell'ambiente. L'ambiente contiene anche degli animaletti un po' più grossi che somigliano a insetti più grandi dei moschini che si muovono con le loro zampette. Quando un insetto finisce sopra un moschino, il moschino viene mangiato e sparisce. Se usando un apposito comando clicchiamo con il mouse su un insetto, compare un misuratore dell'energia posseduta da quel particolare insetto. L'energia diminuisce di un po' a ogni istante della vita dell'insetto. Però quando l'insetto mangia un moschino, la sua energia ricresce.

La rete neurale è un modello non solo del sistema nervoso ma anche del comportamento. La rete neurale riceve una informazione dal mondo esterno attraverso le sue unità di input, le quali simulano i recettori sensoriali dell'organismo. Questa informazione viene rielaborata all'interno della rete finché non raggiunge le unità di output, che simulano i neuroni motori dell'organismo. In questo modo la rete neurale controlla i movimenti con cui l'organismo risponde agli stimoli provenienti dall'ambiente, cioè il suo comportamento.

Perché, se usiamo una rete neurale come modello per simulare e spiegare il comportamento, abbiamo posto le basi per unificare concettualmente lo studio della mente e lo studio del corpo? Molto semplicemente: dentro la rete neurale ci sono soltanto entità fisiche (simulate) descrivibili in maniera quantitativa come qualunque altra entità fisica, e quello che avviene dentro la rete neurale e che determina come si comporta l'organismo sono soltanto normali processi fisici (simulati) in cui cause fisiche producono effetti fisici. Nient'altro. È per questo che le reti neurali ci permettono di studiare il comportamento e, si spera, anche la vita mentale, restando dentro ai confini della scienza naturale. (Ivi, 85)

Il comportamento, va sottolineato, non è produrre movimenti qualsiasi in risposta agli stimoli. Il comportamento è produrre i movimenti «giusti», cioè quelli che in ultima analisi consentono all'organismo di sopravvivere e riprodursi.

5. Evoluzione biologica ed algoritmi genetici

Ogni insetto ha all'interno del suo corpo un po' di materiale genetico, la molecola di acido deossiribonucleico (DNA). Negli organismi reali il DNA è contenuto nel nucleo di ogni cellula del corpo dell'organismo. Nelle simulazioni il DNA è costituito da una sequenza di bit, cioè di 1 e di 0, e cliccando con un apposito comando sul corpo di un insetto, si può visualizzare e ingrandire il suo DNA. Il DNA di un individuo codifica i pesi delle connessioni della sua rete neurale.

Siccome sono i pesi delle connessioni che determinano il comportamento di un insetto, cioè il modo in cui la sua rete neurale risponde all'input sensoriale, è per questo che ogni insetto si comporta in modo diverso da ogni altro.

Quando una madre genera una figlia, la figlia ha un DNA che è una copia di quello della madre, cioè ha la stessa sequenza di 1 e di 0 e quindi gli stessi pesi sulle connessioni della sua rete. In realtà la sequenza non è esattamente la stessa perché nel copiare il DNA dalla madre alla figlia, avvengono degli errori casuali, delle mutazioni genetiche che modificano a caso il valore di qualcuno dei bit del DNA. Cioè, qualche 1 diventa 0, o qualche 0 diventa 1. Perciò una figlia avrà un DNA simile ma non identico a quello della madre (e delle sorelle, se ne ha) e, di conseguenza, si comporterà nei riguardi dei moschini in modo simile ma non identico alla madre.

Quale può essere l'effetto di una mutazione, cioè del cambiamento del valore di un bit del DNA da 1 a 0 o da 0 a 1? Qui viene fuori chiaramente che una rete neurale è un sistema complesso. Il comportamento della rete neurale (dell'organismo) è una proprietà globale della rete che emerge dalle interazioni locali tra le sue unità, cioè dell'influenza che ciascuna unità ha sulle unità con cui è collegata. Queste interazioni sono non lineari, nel senso che l'effetto che il peso di una singola connessione ha sul modo in cui la rete risponde all'input dipende dai pesi di tutte le altre connessioni e non è prevedibile. Questo risulta in modo evidente dagli effetti delle mutazioni. Una mutazione cambia il peso di una connessione. Essa è come una perturbazione esterna che agisce sul sistema complesso costituito dalla rete neurale. L'effetto della mutazione è imprevedibile. La mutazione può produrre una figlia più brava della madre (mutazioni favorevoli) o può distruggere completamente nella figlia la capacità di mangiare posseduta dalla madre (mutazioni sfavorevoli o deleterie). Oppure anche la mutazione può esser neutra. (Parisi, 1999, 90)

L'evoluzione biologica è solo una delle fonti da cui origina il comportamento. Un'altra fonte è l'apprendimento. Mentre nell'evoluzione è la popolazione che cambia e diventa più adatta all'ambiente nel corso delle generazioni, nell'apprendimento è l'individuo che cambia e diventa più adatto all'ambiente nel corso della sua vita individuale. Un modo di simulare l'apprendimento nelle reti neurali consiste nel modificare i pesi delle connessioni di una rete in modo tale che le modificazioni progressivamente producano comportamenti migliori nel corso della vita dell'organismo. Questo più o meno corrisponde nel sistema nervoso reale a un aumento o a una diminuzione del numero dei siti sinaptici tra neuroni. Le modifiche dei pesi dipendono dall'esperienza. L'esperienza insegna all'individuo a comportarsi meglio.

Non solo in ogni organismo c'è sia evoluzione biologica sia apprendimento, ma l'evoluzione biologica e l'apprendimento collaborano tra loro a dotare l'organismo delle caratteristiche adatte all'ambiente. Anche questo si può simulare, anche se credo che non sia qui il caso di scendere fino a simili approfondimenti (peraltro ancora in fase di sviluppo e consolidamento).

Un organismo che apprende è un organismo che ha una forma di memoria. In termini generali la memoria può essere definita come una modificazione, una traccia lasciata dall'esperienza passata, che influenza le esperienze successive. L'apprendimento modifica i pesi delle connessioni delle reti neurali dei nostri organismi e quindi modifica il modo in cui essi rispondono ai futuri input sensoriali. Per questo l'apprendimento comporta una forma di memoria.

6. Prevedere il futuro

E il futuro?

È possibile che un organismo tenga conto del futuro nel suo comportamento? Perché possa avere un ruolo nel determinare il comportamento senza violare la legge per cui le cause vengono prima dei loro effetti, il futuro deve presentarsi come previsione del futuro. La previsione la facciamo adesso e quindi essa può influenzare il nostro comportamento. Se è una previsione corretta, cioè corrispondente a quello che effettivamente avverrà, in un certo senso il futuro influenza il comportamento attuale. (Parisi, 1999, 125)

Se un organismo vive in un ambiente che manifesta delle regolarità temporali, nel senso che gli input sensoriali si succedono con una qualche regolarità e non in maniera puramente casuale, l'organismo può basarsi su queste regolarità per prevedere quale sarà l'input successivo sulla base dell'input presente.

Come per ogni output prodotto da una rete neurale, anche saper fare previsioni corrette dipende dai pesi sulle connessioni della rete. I pesi possono essere ereditati geneticamente e allora la capacità di fare previsioni è innata, oppure possono essere appresi durante la vita, e allora sono l'esperienza e l'apprendimento che insegnano alla rete neurale a fare previsioni corrette. In entrambi i casi è vantaggioso per l'organismo saper prevedere quale sarà l'input successivo.

Nel caso della predizione all'inizio la rete neurale non ha i pesi giusti sulle sue connessioni e perciò non è capace di fare previsioni corrette. Dato un certo input dal mondo esterno la rete fa una previsione su quello che sarà l'input successivo e la previsione risulta sbagliata. Poi l'input successivo arriva effettivamente dal mondo esterno e la rete lo usa come input di insegnamento. Confronta l'input previsto con quello effettivo e modifica i suoi pesi in modo tale che, con l'accumularsi dell'esperienza, i pesi un po' alla volta diventano quelli giusti.

Cosa succede se si mettono insieme la capacità di valutare i risultati delle proprie azioni e la capacità di prevedere questi risultati? Una cosa è saper valutare il risultato di una propria azione quando l'azione è già stata compiuta, una cosa è saperlo valutare quando l'azione ancora non è stata compiuta e il risultato è soltanto previsto. Nel primo caso la valutazione può servire a imparare come comportarsi in futuro. Nel secondo caso serve a decidere se agire oppure no. Se il risultato previsto di un'azione contemplata ma non ancora compiuta è valutato buono, l'azione viene compiuta. Se è valutato cattivo, l'azione non viene compiuta. (Ivi, 133)

Questo è così certamente un modo, credo, di introdurre in maniera “scientifica” il concetto di intenzionalità. Voglio ricordare che il precursore di certi studi e “tecniche” fu senza dubbio il matematico Norbert Wiener, che iniziò la sua carriera scientifica intorno al 1920. Come fa notare Cini nel libro citato, la sua concezione olistica della realtà (ogni cosa è connessa a tutto il resto) gli fa sviluppare idee che furono in anticipo sui tempi. Uno dei fondamentali contributi di Wiener alla scienza del ventesimo secolo fu infatti la cibernetica. Nel suo famoso libro di introduzione alla cibernetica (Wiener, 1953) Wiener spiega come *il controllo e la comunicazione* implicino un comportamento finalizzato.

In questo modo Wiener riporta all'interno del pensiero scientifico un concetto screditato: l'aristotelica causa finale, lo scopo. Ma esso acquista rilevanza scientifica in quanto si identifica con il meccanismo di autoregolazione di un sistema mediante retroazione (*feedback*). (Cini, 1994, 112)

Al centro della rivoluzione concettuale introdotta dalla cibernetica c'è proprio, per Wiener, il meccanismo del feedback. Esso permette appunto a una macchina "finalizzata" al raggiungimento di un determinato obiettivo di autoregolarsi nel corso del proprio funzionamento, correggendo gli scarti dal programma previsto in fase di progetto. Tale regolamento, Wiener per primo immaginò, si può ottenere con un sensore che rileva le prestazioni effettive in uscita dalla macchina e le confronta con quelle prestabilite in entrata, e facendo comandare i meccanismi di regolazione delle prestazioni dalla differenza fra i segnali in uscita ed entrata in modo da tendere ad annullarla. E' dunque un anello di causalità circolare quello che si istaura fra entrata e uscita, e che tende a produrre differenze sempre più piccole fra scarti e correzioni.

Wiener prevede, sin dalla fine degli anni quaranta, che i nuovi concetti di messaggio, controllo e feedback possano fornire gli strumenti per una comprensione scientifica dei fenomeni della vita e della mente. E reti neurali e gli algoritmi genetici, riprendendo questa fiducia e questo atteggiamento scientifico, sono parte di una impresa più ampia che, come già anticipato, ora si chiama Vita Artificiale.

La Vita Artificiale è lo studio dei sistemi viventi fatto non dissezionando e analizzando i sistemi viventi che esistono nella realtà, come fa la biologia, ma costruendo sistemi viventi artificiali [...]Questo in genere significa simulare con il computer i fenomeni del mondo vivente, ma può anche significare costruire robot fisici che abbiano alcune delle caratteristiche degli organismi biologici. La Vita Artificiale si occupa di tutte le entità del mondo vivente, dalle molecole alle cellule, dagli organi agli organismi, alle comunità e popolazioni di organismi.(Parisi, 1999, 152)

Tre sono le modalità fondamentali attraverso le quali negli organismi possono emergere comportamenti e capacità prima non esistenti. Due di queste modalità le abbiamo già viste. Sono l'evoluzione biologica e l'apprendimento individuale. Nell'evoluzione biologica il nuovo comportamento emerge nel succedersi delle generazioni ed è il risultato della trasmissione selettiva del DNA e dell'aggiunta continua di nuove varianti al pool genetico della popolazione. Nell'apprendimento il comportamento emerge nel corso della vita dell'individuo e risulta dalle interazioni del particolare individuo con il particolare ambiente in cui si trova a vivere. La terza modalità è l'evoluzione culturale.

Le simulazioni che abbiamo visto finora affrontano l'evoluzione biologica e l'evoluzione culturale come se fossero due fenomeni separati e in alternativa tra loro. Invece evoluzione biologica ed evoluzione culturale sono processi che avvengono insieme (anche se l'evoluzione biologica è molto più lenta di quella culturale) e che soprattutto si possono influenzare a vicenda. Anche questo tipo di interazioni possono essere simulate. Di nuovo, non credo sia questo il luogo per simili approfondimenti che, sottolineo ancora, sono comunque in fase di sviluppo.

7. Conclusioni

Le simulazioni cui ho accennato sono ancora, come appena sottolineato, molto semplici. Ma resta il fatto importante che i modelli su cui sono basate costituiscono un apparato di concetti e di idee applicabili ugualmente ai fenomeni biologici, al comportamento, alla vita mentale, e ai fenomeni che caratterizzano le società umane. Si tratta di modelli, che vengono tradotti in programmi di computer e che girano nel computer.

Ma per questi modelli la mente non è un computer. È soltanto uno strumento pratico per formulare con precisione e mettere alla prova i modelli teorici. (Parisi, 1999, 179)

Per quanto riguarda la mente, sta diventando chiaro da questi studi (e almeno per una parte importante degli studiosi della mente) che l'idea di interpretare la mente come il software di un

computer, cioè come un sistema che vive di simboli e di trasformazioni di simboli, non porta lontano. La ragione è molto semplice: la mente degli esseri umani non funziona in quel modo. Si fa avanti allora l'idea che per capire la mente bisogna capire il cervello e il corpo e che tutto il programma di comprensione scientifica degli esseri umani deve poggiare i suoi piedi sulle scienze della natura. Come afferma Edelman nell'Epilogo di *Sulla materia della mente*

io spero che il viaggio compiuto attraverso i vari livelli e cicli - dalle molecole alla mente e di nuovo indietro, addirittura fino alle particelle fondamentali - vi abbia persuaso di un [...]aspetto [...]che dà importanza alla neurobiologia: se non si comprende come la mente si basi sulla materia, la conoscenza scientifica e la conoscenza di noi stessi rimangono separate da un abisso. Gettare un ponte su tale abisso non è impossibile. La biologia e la psicologia ci insegnano, però, che esso è fatto di molte parti. Come conosciamo, come sentiamo, come abbiamo consapevolezza? Un'affermazione filosofica, per quanto profonda, non contiene la risposta, che deve invece scaturire dalla comprensione di come si sono evoluti, nel mondo fisico, i sistemi biologici e le relazioni biologiche. Quando da tale evoluzione nacque il linguaggio il mondo concepibile divenne infinito. La realizzazione di questo regno immaginativo senza chiusure è ricca di bellezza e di speranza. Occorre, però, riportarsi incessantemente da tale mondo al mondo della materia, se si vuole capire qual è la nostra locazione di osservatori coscienti all'interno descrizioni che noi stessi abbiamo formulato. Tra gli obiettivi principali della scienza del futuro sarà proprio l'analisi di questa collocazione. (Edelman, 1993, 325)

Anche Parisi, nelle Conclusioni del suo libro, sottolinea.

Se il comportamentismo trattava la mente come una «scatola nera» i cui contenuti potevano essere ignorati, la scienza cognitiva di ispirazione computazionale tratta come «scatola nera» il cervello e in genere il corpo, cioè ancora una volta come qualcosa i cui contenuti possono essere ignorati. Invece, per capire la mente bisogna aprire e guardare dentro alla «scatola nera» del cervello e del corpo. Se quella che è avvenuta alcuni decenni fa è stata una «rivoluzione cognitiva», oggi si sta realizzando una «rivoluzione neurale». (Parisi, 1999, 180)

Come sarà la scienza della mente nel XXI secolo? Ci sono molti segnali che indicano che la ricerca sul comportamento e sulla vita mentale nel prossimo secolo sarà abbastanza diversa da quello che è stata fino a oggi. Per Parisi, in particolare (riassumo ancora dal suo libro), le novità saranno essenzialmente tre:

- 1) il metodo della simulazione affiancherà la teoria e l'esperimento. La simulazione consentirà di studiare fenomeni complessi che in laboratorio non si studiano bene, e di studiare con una metodologia unica, fenomeni appartenenti a livelli diversi, studiati oggi da discipline diverse, dalla cui interazione emergono il comportamento e la vita mentale;
- 2) i sistemi complessi costituiranno il quadro teorico che farà da sfondo alla ricerca sulla mente e sul comportamento. Questo quadro teorico permetterà di uscire dal dilemma «dualismo o riduzionismo», mostrando che è possibile collegare tra loro strettamente, cioè usando gli stessi identici modelli (le reti neurali), lo studio del sistema nervoso e lo studio della mente, senza per questo «ridurre» la mente a neuroni e sinapsi;
- 3) le reti neurali saranno viste come un capitolo della Vita Artificiale, inserendole in corpi che contengono altre cose oltre alla rete neurale, facendole interagire con ambienti fisici e, nel caso dell'uomo, anche culturali e tecnologici, e facendole appartenere a popolazioni che evolvono biologicamente e culturalmente in tali ambienti e, anzi, coevolvono con essi.

BIBLIOGRAFIA

Arecchi F.T., *Introduzione*, in AA.VV., *Determinismo e complessità*, a cura di F.T. Arecchi, Roma, Armando Editore, 2000, pp. 9-11

Chomsky N., *Language and Problems of Knowledge*, Cambridge, MIT Press, 1988

Cini M., *Un paradiso perduto, Dall'universo delle leggi naturali al mondo dei processi evolutivi*, Milano, Feltrinelli, 1994

Devescovi A., Bates E., *Il linguaggio*, in AA.VV., *Psicologia*, a cura di Dozzi N., Vetrone G., Roma, Carocci, 2000, pp. 239-276

Edelman G. M., *Sulla materia della mente*, Milano, Adelphi, 1993

Gould S.J., *Il sorriso del fenicottero*, Milano, Feltrinelli, 1987

Parisi D., *Mente, I nuovi modelli della Vita Artificiale*, Bologna, Il Mulino, 1999

Searle J., *Minds, Brains, and Programs*, in *Behavioral and Brain Sciences*, n.3, 1980, pp. 47-59

Tamburrini G., *I matematici e le macchine intelligenti*, Milano, Bruno Mondatori, 2002

Wiener N., *Introduzione alla cibernetica*, Torino, Bollati Boringhieri, 1953