

A. Peruzzi (cur), Atti del Convegno Pianeta Galileo 2005, pp. 267-274

## Robot come psicologia

Domenico Parisi

Istituto di Scienze e Tecnologie della Cognizione

Consiglio Nazionale delle Ricerche

Che cosa è un robot? Un robot è qualcosa che abbiamo costruito noi e che somiglia fisicamente a un organismo vivente e, soprattutto, si comporta come un organismo vivente, un animale o un essere umano. Aibo, il robot della Sony, somiglia a un cane. Asimo, della Honda, e il nuovo robot della Sony, Qrio, somigliano a esseri umani.

Perché costruiamo robot? Costruiamo robot prima di tutto perché i robot sono divertenti e piacciono alla gente. I robot che somigliano agli esseri umani colpiscono la nostra immaginazione, essendo come degli specchi in cui ci piace guardarci. L'altra ragione per cui costruiamo robot, naturalmente, è che i robot possono avere vari tipi di applicazioni pratiche, e perciò hanno potenzialmente un notevole valore economico. I robot vengono costruiti per esplorare Marte o per cercare i sopravvissuti nei disastri naturali o nei crolli dei palazzi, come è successo per le Torri Gemelle a New York, vengono costruiti per le applicazioni in agricoltura, ad esempio per monitorare i parassiti delle piante o per raccogliere la frutta, vengono costruiti per le applicazioni militari, con compiti di sorveglianza e di raccolta delle informazioni, e vengono costruiti per assistere le persone anziane o malate e per altre applicazioni mediche.

Ma i robot qui non mi interessano per queste ragioni, perché colpiscono la nostra immaginazione o perché hanno le applicazioni pratiche. Mi interessano da un altro

punto di vista. Io vorrei parlare dei robot come un nuovo modo di fare psicologia, come una nuova psicologia o una nuova scienza della mente. Come tutte le scienze, la psicologia cerca di conoscere e di capire i fenomeni in due modi: la raccolta sistematica di dati empirici e la formulazione di teorie. I fenomeni che interessano gli psicologi sono il comportamento degli organismi, le loro capacità, e nel caso degli esseri umani, ovviamente anche la loro vita mentale, pensieri, ricordi, emozioni, sogni. Gli psicologi raccolgono dati empirici sul comportamento degli organismi usando tutta una serie di metodi: l'osservazione diretta del comportamento spontaneo, ad esempio nel caso dei bambini o degli animali, gli esperimenti di laboratorio, l'uso dei test e dei questionari, i colloqui clinici. E propongono teorie e modelli che cercano di rendere comprensibili questi dati, ipotizzando entità, meccanismi e processi che stanno dietro i fenomeni e li spiegano. Questo è quello che la psicologia fa da quasi centocinquanta anni.

I robot sono un nuovo modo di fare psicologia. Se io sono uno psicologo e mi interessa un certo comportamento, una certa capacità, un certo aspetto della vita mentale, quello che debbo fare è costruire un robot che si comporta in quel modo, che ha quella capacità, che dimostra di possedere quell'aspetto della vita mentale. Il mio successo si misura dalla mia capacità di costruire un robot fatto così. Se riesco a costruire un robot che si comporta come l'organismo che mi interessa studiare e capire, allora posso supporre che i principi che ho seguito nel costruire il robot siano gli stessi che governano il comportamento di quell'organismo, e quindi posso dire di aver capito l'organismo.

Che cosa significa fare psicologia costruendo robot? I robot sono un nuovo modo di esprimere le teorie e i modelli della psicologia. Ho già detto che la psicologia, come ogni scienza, lavora usando due strumenti: l'osservazione empirica dei fenomeni e la formulazione di teorie. Una buona scienza usa tutti e due questi strumenti, e anzi cerca di stabilire un dialogo costante e serrato tra le osservazioni empiriche e le

teorie. Le osservazioni empiriche suggeriscono teorie e spiegazioni; le teorie generano predizioni che debbono trovare un riscontro nelle osservazioni empiriche. La psicologia che lavora costruendo robot ha bisogno delle osservazioni empiriche come la psicologia tradizionale. Una volta costruito il robot, debbo verificare che si comporti come l'organismo reale, e se vedo che ci sono delle differenze, debbo modificare il robot fino a farle scomparire. Quindi l'osservazione empirica degli organismi reali rimane una necessità imprescindibile anche per lo psicologo che costruisce robot: altrimenti, con che cosa confronta il robot?

La novità riguarda l'altro aspetto della scienza, le teorie e i modelli. Qui non faccio una distinzione netta tra teorie e modelli - anche se le teorie tendono ad essere formulazioni più generali e i modelli applicazioni delle teorie a fenomeni specifici - e parlo per brevità di teorie intendendo sia le teorie che i modelli. Tradizionalmente in psicologia le teorie vengono espresse a parole e, solo in qualche caso raro, con i simboli e le formule della matematica. Le parole che compaiono nelle teorie degli psicologi sono sensazione, percezione, attenzione, memoria, rappresentazione, scopo, intenzione, decisione, comunicazione, cooperazione, competizione, ecc. Invece se si fa psicologia costruendo robot, le teorie sono espresse con i robot, sono incorporate nei robot, sono i principi in base ai quali i robot vengono costruiti e funzionano. Si tratta di una traduzione operativa delle teorie, di una loro espressione, per così dire, meccanica. Un robot è fatto di un corpo e di quello che si chiama il "sistema di controllo" del suo comportamento, qualcosa di analogo a quello che negli organismi reali è il sistema nervoso. La teoria con la quale voglio spiegare un certo comportamento o una certa capacità o un certo aspetto della vita mentale, è espressa nel corpo del robot e nel suo sistema di controllo. Il tradizionale vocabolario teorico della psicologia, le tradizionali teorie formulate verbalmente dalla psicologia, scompaiono. Le teorie sono i robot. Questa è la novità dei robot come psicologia.

Io credo che questo sia un fondamentale passo avanti per la psicologia. Perché? Per almeno tre motivi. Il primo motivo è che spesso in psicologia ci sono dati empirici, osservazioni e risultati di esperimenti, ma non ci sono teorie o modelli che spieghino questi dati empirici. Molti psicologi fanno esperimenti e basta, senza preoccuparsi di dire quale teoria o quale modello fa delle previsioni empiriche che potrebbero essere confermate o potrebbero essere smentite dai risultati dei loro esperimenti. Se si fa psicologia costruendo robot, questo modo di procedere puramente empirico non è più possibile. Costruire un robot obbliga a formulare una teoria o un modello dato che i principi in base al quale il robot è costruito sono una teoria o un modello. Questo è un importante passo avanti per la psicologia perché, come abbiamo detto, la buone scienze sono le scienze che hanno sia dati empirici che teorie, e non soltanto dati empirici.

Poi c'è un secondo motivo per cui fare psicologia costruendo robot fa fare un passo avanti alla psicologia. In psicologia ovviamente ci sono anche le teorie ma, come ho già detto, sono teorie espresse a parole, senza la precisione e la univocità delle formule matematiche. Perciò le teorie psicologiche tendono ad essere vaghe, ambigue, poco dettagliate, mancanti di parti. E soprattutto non è chiaro quali sono le previsioni empiriche che si possono derivare da esse. Per cui spesso quello di cui si discute, in modo inconcludente e senza mai arrivare a conclusioni certe e definitive, è quale è il significato dei termini usati, se una previsione che qualcuno vuol far derivare da una teoria ne deriva effettivamente, se una teoria è convincente o no in base a delle pure e semplici argomentazioni.

Esprimere una teoria costruendo un robot cambia tutto questo. Se una teoria deve essere espressa sotto forma di un robot che intendiamo effettivamente costruire, la teoria non può essere vaga, ambigua, con insufficienti dettagli, mancante di parti, perché, se fosse così, il robot non si potrebbe costruirlo e, anche se riuscissimo a costruirlo, non funzionerebbe come ci aspettiamo che funzioni.

Questo perciò è il secondo vantaggio dei robot per la psicologia: non solo costruire robot obbliga a formulare teorie e modelli ma obbliga a formulare teorie e modelli precisi, chiari, meccanici, nel senso in cui sono meccanici le teorie e i modelli della fisica, della chimica e della biologia. E poi una volta che ho costruito un robot, i comportamenti del robot non sono che le predizioni empiriche derivate dalla teoria incorporata nel robot. Perciò formulare una teoria costruendo un robot fa sì che la teoria generi necessariamente, incontrovertibilmente, un grande numero di previsioni empiriche: tutti i comportamenti del robot. Questo è un altro importante vantaggio per la scienza. Le teorie matematiche, quelle che si presentano sotto forma di equazioni, sono così efficaci nella scienza (vedi la fisica) perché i loro concetti sono necessariamente precisi e non ambigui in quanto sono espressi mediante numeri e altri simboli matematici, e poi perché da un equazione si possono derivare un grande numero di previsioni empiriche in modo puramente meccanico, e quindi incontrovertibile. Ad esempio, dalla equazione che descrive come si muovono i corpi, si possono derivare un numero praticamente infinito di specifiche previsioni empiriche su come si muoverà un certo specifico corpo in certe specifiche condizioni. Il problema è che in psicologia raramente le teorie possono avere forma matematica. I robot sono una soluzione per questo problema. I robot sono un modo per formulare le teorie psicologiche con lo stesso rigore e la stessa capacità di generare previsioni delle teorie matematiche, ma con il vantaggio che ogni comportamento, ogni abilità, ogni aspetto della vita psichica può essere riprodotto in un robot. I robot sono strumenti per pensare. Qualcuno ha detto “Cerca le parole e troverai i pensieri”. Oggi si può dire “Costruisci un robot e troverai i pensieri”. Costruire un robot, o anche soltanto cercare di costruirlo, obbliga a rendere esplicita, precisa, quantificabile, ogni idea e ogni ipotesi o modello di spiegazione. Il robot è un giudice severo. Se l’idea o il modello sono intrinsecamente vaghi o non funzionano, il robot non può essere costruito o, anche se viene costruito, non funziona come dovrebbe. La sfida rivolta

allo psicologo è: sai costruire un robot che funzioni sulla base della tua teoria o sulla base del tuo modello?

E poi c'è un terzo vantaggio di formulare le teorie psicologiche costruendo robot. La psicologia è una disciplina molto frammentata, con settori di ricerca molto diversi tra loro e a diversi stadi di avanzamento. La psicologia sperimentale è quella più avanzata ma solo una parte dei fenomeni che interessano lo psicologo possono essere oggetto di esperimenti. Gli altri settori della psicologia usano metodi empirici molto più problematici e hanno teorie e modelli solo vagamente collegati con i fatti empirici. Ma la psicologia è frammentata anche dal punto di vista teorico, con teorie diverse per i diversi aspetti del comportamento e modelli particolari per ogni particolare fenomeno.

I robot invece sono un'unica metodologia per tutta la psicologia. Ogni aspetto del comportamento e della mente può e deve essere affrontato costruendo robot: la capacità cognitive, le motivazioni e le emozioni, le immagini mentali, i ricordi, i pensieri, i sogni, i comportamenti sociali e comunicativi, i disturbi del comportamento sia del tipo neurologico che psichiatrico e psicologico. Una volta costruito un robot, al robot si può chiedere di farci vedere quali sono le sue capacità, quali sono le sue motivazioni e le sue emozioni, se ha e in che cosa consistono le sue immagini mentali, i suoi ricordi, i suoi pensieri e i suoi sogni, come si comporta con gli altri robot, in quali diverse forme e per quali diverse cause il suo comportamento e la sua vita psichica possono risultare disturbati. Perciò i robot costituiscono un potente fattore di unificazione della psicologia: obbligano a studiare ogni aspetto del comportamento e della vita psichica usando una stessa piattaforma metodologica.

Fino a qui ho detto che cosa sono i robot per la psicologia dal punto di vista strettamente metodologico. Ma i robot non sono soltanto una innovazione metodologica per la psicologia. I robot spingono la psicologia in una specifica

direzione, e cioè la spingono verso un maggiore integrazione con la biologia. Tutti gli psicologi sono d'accordo che gli esseri umani sono entità biologiche, sono il risultato di una lunga storia di evoluzione biologica, e che il comportamento è un prodotto del sistema nervoso. Ma poi in pratica le divisioni disciplinari - ma anche le riserve ideologiche e culturali - tengono la psicologia separata dalla biologia, dalla biologia evuzionistica e dalla genetica, dalle neuroscienze, dalla anatomia e dalla fisiologia, dalla biologia cellulare e molecolare. I robot come metodologia per fare psicologia cambiano questo stato di cose. Un robot è qualcosa di fisico, ed è qualcosa di soltanto fisico. Il robot ha un corpo con una data forma, date dimensioni, un dato corredo e una data disposizione degli organi sensoriali e di quelli motori. E la morfologia del corpo del robot condiziona il suo comportamento. Ma la fisicità del robot non riguarda soltanto la sua forma esterna. Il comportamento del robot è controllato da un sistema che, nei robot che qui ci interessano, riproduce la struttura fisica e il modo di funzionare fisico del sistema nervoso: una rete neurale (artificiale). Una rete neurale è un insieme di unità (neuroni) collegate tra loro da connessioni (sinapsi tra neuroni). Le connessioni possono essere eccitatorie o inibitorie (tipi diversi di molecole chiamate neurotrasmettitori prodotte dal neurone pre-sinaptico e che vanno ad influenzare il livello di attivazione del neurone post-sinaptico) e possono avere "pesi" quantitativi diversi (numero di recettori molecolari posti sulla membrana esterna del neurone post-sinaptico) che si modificano con l'esperienza (apprendimento). In ogni determinato momento ogni unità della rete ha un certo livello di attivazione (ritmo di sparo di impulsi nervosi da parte del neurone) che, nel caso delle unità di input (neuroni sensoriali), dipende da eventi esterni al sistema nervoso, e nel caso delle unità di output (neuroni motori) e delle unità interne che collegano le unità di input a quelle di output (neuroni interni), dipende dalla somma delle eccitazioni e inibizioni che giungono a ciascuna unità dalle altre unità con cui è collegata. La rete neurale, basicamente, funziona nel seguente modo: per cause fisiche o chimiche esterne al sistema nervoso si determina un pattern di attivazione nelle unità di input della rete, questo pattern di attivazione viene trasformato dalle connessioni sinaptiche in una

serie di altri pattern di attivazione nei diversi strati di unità interne, fino a che si determina un pattern di attivazione nelle unità di output. Il pattern di attivazione delle unità di output causa un determinato movimento di una qualche parte del corpo del robot.

Quali sono le implicazioni del fatto che il sistema di controllo dei robot è una rete neurale? Le implicazioni sono che le teorie della psicologia, tutte le teorie della psicologia, debbono essere formulate in termini strettamente neurali, cioè in termini che fanno riferimento unicamente a come è fatto e come funziona il sistema nervoso. Il vocabolario teorico della psicologia cessa di essere il tradizionale vocabolario fatto di parole come sensazione, percezione, attenzione, memoria, inconscio, ecc. Possiamo costruire una teoria o un modello di quello che chiamiamo sensazione, percezione, attenzione, memoria, inconscio, ecc., ma la nostra teoria o il nostro modello debbono fare riferimento soltanto a quello che c'è nel sistema nervoso: neuroni, sinapsi tra neuroni, forza delle sinapsi, natura eccitatoria o inibitoria delle sinapsi, ritmo di sparo di impulsi nervosi da parte dei neuroni, cambiamenti nei pesi sinaptici tra neuroni, ecc. Una teoria psicologica non può più fare riferimento a entità o a processi psicologici ma deve fare riferimento soltanto a entità e processi neurali.

Ma il collegamento che i robot stabiliscono tra la psicologia e la biologia non si limita alla morfologia esterna del corpo e al sistema nervoso. Il corpo di un organismo non ha soltanto una morfologia esterna. Il corpo di un organismo contiene al suo interno una serie di organi e di sistemi al di là del sistema nervoso, e in particolare i muscoli che inviano input sensoriali al sistema nervoso e i sistemi endocrino e quello immunitario con il quale il sistema nervoso è in costante interazione. Le interazioni tra il sistema nervoso e questo ambiente interno sono critiche per spiegare soprattutto gli aspetti motivazionali e emotivi del comportamento. La robotica fino ad oggi è stata soprattutto una robotica esterna, cioè una robotica della morfologia esterna del corpo e delle interazioni del sistema di controllo del robot con l'ambiente esterno al

robot. La robotica come psicologia invece deve essere anche una robotica interna, che doti il corpo del robot di specifici organi e sistemi interni e che faccia interagire il sistema di controllo del robot con questi organi e sistemi interni. Questo richiede una più ampia integrazione della psicologia con la biologia in quanto, mentre le reti neurali fanno riferimento fondamentalmente alla biologia cellulare, dato che le unità di una rete neurale corrispondono alle cellule nervose, le interazioni del sistema nervoso con il resto del corpo sono interazioni soprattutto di carattere molecolare, e quindi chiedono alla robotica di fare i conti con la biologia molecolare.

I robot non solo hanno un corpo ma il loro corpo interagisce fisicamente con l'ambiente esterno, ricevendo input sensoriali causati da eventi e processi fisici e chimici presenti nell'ambiente esterno e producendo movimenti che causano modifiche nell'ambiente esterno (ad esempio manipolazioni dell'ambiente esterno o produzione di suoni) o modifiche nelle relazioni tra il corpo del robot e l'ambiente esterno (quando il robot si sposta nello spazio o muove la testa o gli occhi). Perciò una psicologia robotica è necessariamente una psicologia ecologica, cioè una psicologia che spiega il comportamento non solo in termini di quello che sta dentro al corpo dell'organismo, e in particolare il suo sistema nervoso, ma anche in funzione del particolare ambiente in cui l'organismo si trova a vivere e con cui si trova a interagire. L'ambiente in cui vivono e con cui interagiscono i robot deve corrispondere all'ambiente in cui vive una particolare specie di organismi, quella che ci interessa studiare. Ad esempio, nel caso degli esseri umani l'ambiente contiene oggetti fisici, altri animali, altri esseri umani, gli artefatti tecnologici prodotti dagli esseri umani.

Il punto di vista ecologico intrinseco all'uso dei robot come metodo di ricerca in psicologia rappresenta un altro vantaggio per la psicologia. Il metodo di ricerca più potente che la psicologia ha a disposizione sono gli esperimenti di laboratorio, ma gli esperimenti di laboratorio hanno il difetto che isolano il comportamento dalle normali

condizioni in cui il comportamento viene manifestato. Questo, quando si fanno esperimenti, è una necessità perché solo in questo modo lo sperimentatore può avere il completo controllo del fenomeno e può decidere come variare le condizioni per poter osservare gli effetti delle variazioni create da lui o da lei. Il carattere non ecologico del metodo sperimentale non ha conseguenze negative nelle scienze della natura, cioè in fisica, in chimica e in buona parte della biologia, perché nelle scienze della natura i fenomeni possono essere isolati dal contesto in cui avvengono senza cambiarne le caratteristiche essenziali. In psicologia le cose non stanno così. In psicologia i fenomeni dipendono dal contesto in cui avvengono, i comportamenti sono una risposta a specifiche condizioni ambientali, e eliminando l'ambiente si rischia di eliminare i fenomeni. Un "soggetto" sperimentale, quando entra in laboratorio deve smettere di agire in modo autonomo, deciso da lui, come agiscono normalmente gli esseri umani, e deve semplicemente rispondere alle istruzioni dello sperimentatore. Con i robot le cose sono diverse perché un robot può e deve agire in modo autonomo nel suo ambiente.

Un ultimo vantaggio della robotica per la psicologia è che la robotica ha un approccio intrinsecamente "genetico" alla spiegazione dei fenomeni, dove genetico qui vuol dire ritenere di aver capito un fenomeno quando si è ricostruita la sua genesi, cioè la sua origine e il modo in cui è diventato quello che è. Il comportamento dei robot non può essere programmato. Come abbiamo visto, il comportamento dei robot è controllato da una rete neurale e una rete neurale non può essere programmata. Una rete neurale si comporta in un certo modo, producendo un certo output in risposta a un certo input, come conseguenza dei "pesi" quantitativi delle sue connessioni sinaptiche. Ma è impossibile per il ricercatore sapere quale specifico insieme di "pesi" sinaptici produrrà un certo comportamento in una rete neurale. La sola strada per il ricercatore è fare come fa la natura. In natura nessuno progetta e costruisce gli organismi o il loro sistema nervoso. Gli organismi e il loro sistema nervoso si sviluppano da soli nel tempo, con l'evoluzione biologica una generazione dopo

l'altra, e con l'apprendimento nel corso della vita del singolo individuo. Per questo la robotica che serve alla psicologia è una robotica evolucionistica, dove popolazioni di robot, uno diverso dall'altro, si riproducono selettivamente e con l'aggiunta costante di nuove varianti individuali, e una robotica basata sullo sviluppo e sull'apprendimento del singolo robot nel corso della sua vita. Nel caso degli esseri umani la robotica evolucionistica crea le pre-condizioni, codificate nel genotipo della specie, che permettono alla robotica dell'apprendimento di sfruttare l'esperienza per sviluppare i comportamenti e le capacità cognitive, comunicative, tecnologiche e sociali, tipiche della specie umana.

La psicologia fatta costruendo robot è ancora, largamente, una prospettiva per il futuro, anche se la ricerca comincia a muovere i primi passi. Ci sono molti ostacoli da superare, e concluderò questo scritto dicendo quali sono questi ostacoli.

I robot oggi vengono costruiti soprattutto per scopi pratici e per fini economici, ed è solo per questo che chi costruisce robot riesce ad avere le risorse economiche necessarie per costruirli. Fino a che non si riconoscerà chiaramente che i robot possono essere un importante strumento di semplice conoscenza del comportamento degli organismi reali, non ci sarà una psicologia robotica.

Anche coloro che costruiscono robot avendo interessi puramente conoscitivi, troppo presi dalla complessa attività di costruzione dei robot, finiscono per non dedicare abbastanza tempo a confrontare i comportamenti e le capacità dei robot con quello che la psicologia sa e continua a scoprire sui comportamenti e le capacità degli organismi reali - mentre, come abbiamo visto, questo confronto è essenziale se i robot debbono essere strumenti di una scienza.

Vi sono poi molti aspetti del comportamento e delle capacità, specialmente degli esseri umani, che non avendo interesse sul piano pratico tendono ad essere ignorati

dalla robotica. Un esempio è la robotica interna di cui abbiamo già parlato. La robotica interna consiste nel dotare il corpo del robot di organi e sistemi interni simili a quelli degli organismi reali, e questo è essenziale se si vogliono capire le motivazioni e le emozioni degli organismi. Dai robot aventi scopi pratici ci aspettiamo soprattutto capacità e prestazioni, non motivazioni e emozioni, e anzi le motivazioni e le emozioni ci sembrano degli ostacoli ai nostri obiettivi pratici.

Un altro esempio è la robotica mentale, cioè la costruzione di robot che non si limitano a rispondere agli stimoli esterni con comportamenti rivolti verso l'esterno ma hanno immagini mentali, ricordi, pensieri, sogni, capacità di attenzione e di consapevolezza, e hanno una vita mentale e non solo una vita esterna. Se i nostri scopi sono pratici, perché dovremmo costruire robot dotati di una vita mentale? Invece la robotica mentale è uno degli sviluppi più importanti della robotica come psicologia. La robotica mentale spiega perché gli eventi mentali sono privati mentre l'ambiente esterno e i comportamenti sono pubblici: gli eventi mentali sono effetti di cause interne al corpo che, per ragioni puramente fisiche, possono produrre effetti nel sistema nervoso di un singolo individuo, mentre i comportamenti e gli oggetti esterni producono effetti nei sistemi nervosi di più individui. La robotica mentale mira a costruire robot capaci di auto-generare le loro esperienze e di rispondere a queste esperienze auto-generate, invece di aspettare che l'ambiente esterno crei in loro delle esperienze.

Un altro esempio ancora è la robotica patologica. Esiste tutta una casistica di disturbi del comportamento, delle capacità, della vita psichica, classificati da un lato come neurologici e dall'altro come psichiatrici e psicologici. Mentre la psicologia, in quanto scienza biologica, sa che la conoscenza degli stati non funzionali dei sistemi biologici è essenziale per capire i loro stati funzionali e normali, la robotica con obiettivi puramente ingegneristici e pratici tende ad ignorare i disturbi del

comportamento dato che in essi non vede altro che ostacoli alle prestazioni dei robot e riduzioni della loro efficienza.

E infine c'è la robotica sociale. Oggi comincia ad esserci una robotica collettiva, cioè la costruzione di insiemi di robot che si coordinano e collaborano tra loro per svolgere compiti che nessun singolo robot sarebbe in grado di svolgere da solo. Ma la robotica collettiva ha ancora fondamentalmente scopi pratici e per questo studia e riproduce nei robot la socialità molto semplice degli insetti, non quella più complicata degli esseri umani. Gli esseri umani hanno una socialità in cui non esiste soltanto cooperazione, come accade fondamentalmente nelle formiche e nelle api, ma esistono anche contrasti e competizione, e se lo scopo pratico è la collaborazione tra robot che mi interessa, non gli innumerevoli problemi che notoriamente emergono dai contrasti e dalla competizione tra gli esseri umani.

Un ultimo ostacolo è che gli psicologi, cioè coloro che per mestiere cercano di conoscere e di capire il comportamento degli organismi, non solo si debbono convincere che i robot sono per loro una interessante metodologia di ricerca ma debbono impadronirsi degli strumenti tecnici necessari per costruire robot - tutte e due cose non facili.

Come si vede i problemi non mancano a sviluppare una nuova scienza del comportamento basata sulla metodologia della costruzione di robot. Eppure i vantaggi di adottare una tale metodologia che abbiamo discusso in questo lavoro fanno ritenere che questa sarà la direzione che prenderà la scienza del comportamento del futuro.