

Dopo il Computer la Robotica?

Implicazioni da un punto di vista educativo

Stefano Nolfi* Orazio Miglino**

*Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Psicologia,

**Seconda Università di Napoli, Dipartimento di Psicologia

e-mail: nolfi@ip.rm.cnr.it orazio.miglino@unina2.it

1. Introduzione

Molti osservatori ritengono che il prossimo futuro sarà contraddistinto da una sempre maggiore diffusione di oggetti di uso comune e nuovi artefatti con all'interno capacità di calcolo. In altre parole il computer tenderà ad "incarnarsi" negli oggetti più impensati (dai vestiti, alle automobili, ai tavolini delle nostre case e in nuovi artefatti non ancora sviluppati). Solo per fare un esempio, lo Starlab (un laboratorio di ricerca Belga) ha recentemente lanciato un consorzio per lo sviluppo di vestiti "intelligenti" in grado di monitorare l'inquinamento ambientale e i parametri vitali personali.

In queste nuove applicazioni il computer tenderà a perdere la sua caratteristica di macchina universale (general-purpose) ma in cambio tenderà ad acquisire un corpo (o per meglio dire una serie di corpi a seconda dei casi) con una sua forma riconoscibile e una capacità diretta di interazione con l'ambiente esterno (mediata da sensori e da attuatori esattamente come nel caso degli organismi naturali o dei robot). Tale processo di trasformazione del computer come oggi lo conosciamo, o in altre parole lo sviluppo di applicazioni incarnate del computer, dovrebbe portare a degli artefatti tecnologici molto più efficaci e semplici da usare. Già oggi, molti degli oggetti che usiamo quotidianamente hanno cominciato a subire questa trasformazione. Il computer è entrato nei nostri telefoni, frigoriferi, televisori, ecc. Le lavatrici di nuova generazione, ad es., sono dotate di sensori e di algoritmi basati sulla fuzzy-logic che personalizzano il processo di lavaggio sulla base del tipo di carico effettuato.

Il diffondersi di queste nuove tecnologie pone problematiche e opportunità nuove da un punto di vista educativo. Il sistema educativo deve porsi il problema di come formare persone in grado di utilizzare questi nuovi strumenti in modo proficuo e in grado di contribuire allo sviluppo di queste nuove forme di tecnologia. Come cercheremo di dimostrare nella sezione 2, questi nuovi strumenti robotici non possono essere descritti e sviluppati in modo adeguato sulle base delle conoscenze convenzionali di informatica e ingegneria. Nella sezione 3 descriveremo i Lego Mindstorm, uno strumento pensato per il mondo dell'educazione che consente di sviluppare robot e altri oggetti dotati di una intelligenza incarnata. Nella sezione 4,osterremo l'importanza di utilizzare tecniche basate sull'auto-organizzazione piuttosto che sulla progettazione esplicita eosterremo che queste metodologie sono appropriate per l'approfondimento di temi legati alle scienza della vita.

2. Sistemi che esibiscono un comportamento

Nella visione "classica" dell'informatica il computer riceve in ingresso una serie di dati o informazioni (spesso codificate con dei simboli cioè con delle etichette di tipo linguistico), elabora tali dati sulla base di una serie di dati e procedure immesse da un programmatore e produce un risultato in uscita. I sistemi robotici invece funzionano seguendo una logica

sostanzialmente diversa. Il sistema riceve continuamente delle informazioni in ingresso dai sensori e continuamente produce delle risposte motorie in uscita. Ad es., i veicoli intelligenti che vengono utilizzati per trasportare i motori durante la fase di assemblaggio nei nuovi stabilimenti della Volvo in Svezia, ricevono informazioni sensoriali da una serie di sensori in grado di segnalare la presenza di eventuali ostacoli ogni pochi millisecondi e aggiornano la velocità delle ruote di conseguenza. Una differenza consiste dunque nel fatto che il ciclo di ingresso-elaborazione-risposta è assai più rapido e implica una interazione diretta con l'ambiente esterno. Ma la differenza più sostanziale consiste nel fatto che la ripetizione di tale ciclo di ingresso-elaborazione-risposta costituisce un comportamento e che tale comportamento è il risultato di una continua interazione tra il sistema e l'ambiente esterno.

A differenza del computer nell'accezione classica dunque, in cui l'output del computer può essere ricondotto interamente al programma che lo ha generato, nel caso dei sistemi incarnati il comportamento è il risultato dell'interazione tra il sistema e l'ambiente esterno. Si noti come ciò implichi che il comportamento non è semplicemente il risultato del sistema e dell'ambiente esterno ma è il risultato della continua interazione tra i due. Questo fatto ha delle implicazioni profonde perché implica che ci troviamo di fronte a dei sistemi dinamici complessi il comportamento è un fenomeno emergente non completamente riconducibile agli elementi (sistema incarnato e ambiente) che interagendo tra di loro ne sono la causa naturale. Detto in altre parole il comportamento di un sistema incarnato non è completamente predicibile sulla base delle regole che determinano come tale sistema reagisce in ciascuna possibile circostanza e alla struttura dell'ambiente in cui agisce così come l'andamento futuro di una perturbazione atmosferica non è completamente predicibile sulla base delle condizioni atmosferiche misurabili in un certo momento.

La tecnologia sta cominciando a costruire oggetti che hanno tutte le caratteristiche dei sistemi "incarnati". Si pensi al settore delle telecomunicazioni, abitazioni "intelligenti" per non parlare delle tristi applicazioni in ambito bellico. In sostanza l'informatica sta lasciando l'ambiente ben delimitato e abbastanza asettico del computer e sta entrando nel nostro mondo fisico fatto di imprecisione e caducità. I tecnologi del futuro, quindi, dovranno essere preparati a progettare macchine in grado di fronteggiare l'imprevedibilità e l'imprecisione del realtà fisica. Proprio per dare risposta a questa esigenza molte politecnici stanno attivando corsi di robotica nei loro curricula universitari. Un esempio per tutti: Fred Martin, con l'obiettivo di stimolare le capacità progettuali e realizzative dei giovani studenti in ingegneria ha organizzato presso il MIT, in questi ultimi anni, un corso universitario di "Progettazione e Realizzazione di Robot Mobili" (Martin, 1994). Gli studenti afferenti all'iniziativa didattica vengono suddivisi in piccoli gruppi di lavoro aventi il compito di progettare e realizzare un robot mobile adatto ad un compito proposto dal docente (per esempio partire da un punto ed arrivare ad un altro evitando ostacoli di varia forma e dimensione oppure le ormai famose squadre di calcio robotico). Al termine del corso i prototipi realizzati dagli studenti partecipano ad una vera e propria competizione che si conclude con una classifica ed un premio per il gruppo che ha prodotto il robot più efficiente. La manifestazione sta diventando un evento annuale molto seguito ed apprezzato dalla eterogenea comunità scientifica del MIT. Il successo di questa esperienza didattica, secondo Fred Martin, si basa sul fatto che oggi è abbastanza semplice ed economico costruire o acquistare dei piccoli robot mobili. In tal modo gli studenti possono entrare in contatto con problemi reali in modo tutto sommato semplice ed economico. Gli allievi toccano con mano la discrepanza tra i risultati previsti dai loro progetti e quelli effettivamente realizzati dalle loro macchine nel mondo fisico e riducono tale discrepanza intervenendo sia a livello della fase progettuale che in quella realizzativa. Si attua in sperimentalmente il processo circolare tra teoria e pratica che è alla base dell'innovazione tecnologica.

3. I Lego Mindstorm

Interessatamente, una delle prime ricadute commerciali delle ricerche svolte nel campo della Vita Artificiale e della Robotica ha investito proprio il mondo dell'educazione. Si tratta dei Lego Mindstorm, un prodotto nato dalla cooperazione tra il Massachusetts Institute of Technology (MIT) e la Lego (l'industria danese famosa per i mattoncini da costruzione) recentemente commercializzato anche in Italia.

A prima vista questo nuovo prodotto si presenta come una normale scatola di costruzioni contenente pezzi di tipo diverso: mattoncini, ruote, ingranaggi ecc. ecc. Insieme a questi pezzi viene fornito un mattoncino un po' più grande che consiste in un piccolo microcomputer che può essere connesso attraverso dei cavi elettrici a dei sensori (vale a dire speciali mattoncini in grado di rilevare la presenza di un ostacolo, misurare la luce o la temperatura esterna, ecc.) e a dei motori (ad es., dei mattoncini che possono far ruotare degli ingranaggi). Questo piccolo computer può fare le funzioni del 'cervello' di un organismo artificiale (che ad es. va in giro evitando gli ostacoli e cercando la luce) oppure il sistema di controllo di un sistema diverso (ad es. una fabbrica automatizzata). L'insieme dei mattoncini, dei sensori e dei motori e del microcomputer costituisce tutto il necessario per costruire sistemi intelligenti incarnati in grado di esibire un comportamento. Il "programma" che controlla come il robot reagisce ai diversi stimoli sensoriali viene elaborato al computer utilizzando un linguaggio di programmazione in stile Lego/Logo e viene poi trasferito nel microcomputer attraverso una torretta a raggi infrarossi.

Utilizzando una metafora biologica possiamo dire che il microcomputer è il cervello, i mattoncini sensori e motori corrispondono ai sensori (vista, tatto, udito ecc) e ai muscoli, e i mattoncini semplici e gli ingranaggi il resto del corpo.

L'idea di fondo è che i bambini o i ragazzi sviluppino delle applicazioni concrete procedendo per prove ed errori attraverso la ripetizione delle fasi seguenti:

- Costruzione del corpo del robot e dell'ambiente utilizzando i pezzi base, i sensori, i motori, e il microcomputer.
- Sviluppo o modifica del programma di controllo su un personal computer tenendo conto del corpo del robot, del suo ambiente, e del comportamento che si vuole ottenere. Alla fine di questa fase il programma viene trasferito all'interno del microcomputer.
- Osservazione del comportamento esibito dal sistema.

A questo punto, qualora il comportamento sia diverso da quello desiderato si può decidere di intervenire modificando il corpo, e/o il sistema sensoriale e motorio, e/o il programma di controllo (ed eventualmente l'ambiente esterno) e ripetere le tre fasi un numero indeterminato di volte. Ogni ripetizione di questo processo è un nuovo esperimento attraverso il quale i bambini o i ragazzi si pongono un obiettivo, traducono l'obiettivo in una serie di decisioni operative ipotizzando gli effetti conseguenti di una serie diversa di possibili azioni, verificano la correttezza delle predizioni fatte ed eventualmente osservano effetti imprevisti che poi utilizzano per modificare il proprio modello del sistema.

Attraverso questi piccoli esperimenti gli utilizzatori (bambini e non) possono scoprire e approfondire alcuni concetti difficili da descrivere attraverso il linguaggio o la matematica come ad es. il ruolo fondamentale del corpo (della sua forma e dimensione, della posizione dei sensori) o l'importanza dell'ambiente. Ciò non deve sorprendere visto che è attraverso giocattoli simili (solo un po' più sofisticati) che la ricerca nell'ambito della cosiddetta Nuova Robotica (Sharkey, 1997) sta approfondendo questi temi.

4. Sistemi in grado di auto-organizzarsi

L'utilizzo di ambienti di apprendimento come i Lego Mindstorm che consentono di sviluppare semplici applicazioni incarnate è certamente un elemento decisivo da un punto di vista formativo ma potrebbe essere non sufficiente. Nello sviluppare applicazioni di questo tipo spesso ci si trova in situazioni di stallo in cui non è chiaro quale tipo di modifica del sistema potrebbe ridurre la discrepanza tra il comportamento prodotto dal sistema e il comportamento desiderato. Ciò può essere dovuto alla difficoltà intrinseca di progettare esplicitamente sistemi che esibiscono comportamenti emergenti.

Una possibile soluzione a questo tipo di problema è quella di rinunciare al tentativo di progettare esplicitamente questi sistemi nel dettaglio, sia pure attraverso una procedura per approssimazioni progressive, e di utilizzare delle tecniche di auto-organizzazione.

E' questa la direzione che viene perseguita attualmente da un progetto di ricerca svolto in collaborazione tra l'Istituto di Psicologia del C.N.R. di Roma e il LEGO-Lab dell'Università di Aarhus (Danimarca) all'interno del quale sono state sviluppate una serie di software didattici basati su tecniche di evoluzione artificiale. Un primo prototipo denominato Toybot (Lund e al., 1997) consente di "allevare" robot selezionando quelli che producono il comportamento più vicino a quello desiderato oppure semplicemente quelli che l'utente ritiene più interessanti (si veda la Figura 1). In altre parole Toybot consente all'utente di sviluppare il sistema di controllo (il "programma") per un robot LEGO senza doverlo programmare.

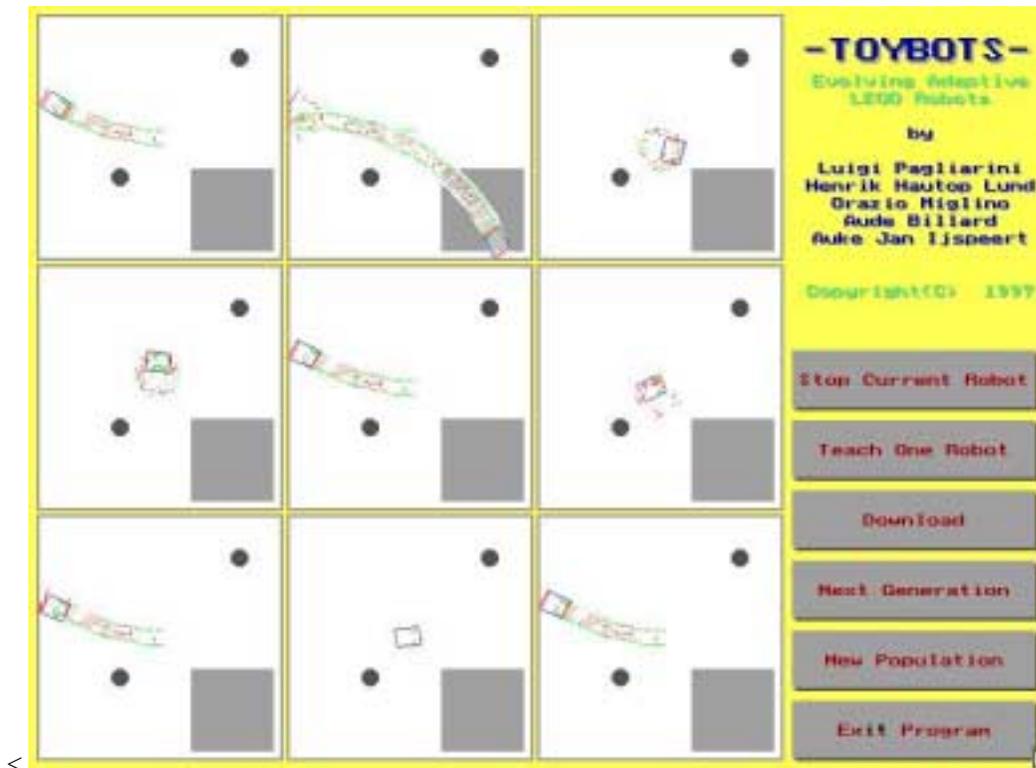


Figura 1

L'idea sottostante è semplice. Una volta definita la struttura del corpo e dell'ambiente del robot, il software crea automaticamente una popolazione iniziale di sistemi di controllo casualmente diversi e mostra sullo schermo del computer il comportamento prodotto da ciascuno di essi utilizzando dei robot e degli ambienti simulati. I robot e gli ambienti sono identici, ciò che varia nei diversi individui presenti sullo schermo è solo il sistema di

controllo. A questo punto si innesca il processo di selezione guidata che consiste nelle fasi seguenti:

- l'utente sceglie quel o quei robot che, a suo giudizio, hanno prodotto il comportamento migliore.
- il computer genera una nuova popolazione di sistemi di controllo creando delle copie dei sistemi di controllo dei robot selezionati e aggiungendo un certo numero di cambiamenti casuali. I comportamenti prodotti dalla nuova popolazione di sistemi di controllo vengono mostrati sullo schermo.

Queste due fasi vengono ripetute un certo numero di volte finché l'utente non ottiene almeno un robot che produca un comportamento soddisfacente. A questo punto il sistema di controllo ottenuto può infine essere trasferito sul robot fisico e osservato nell'ambiente reale.

In altre ricerche condotte nell'ambito della cosiddetta Robotica Evolutiva (Nolfi & Floreano, 2000) sia il processo di generazione delle varianti che il processo di selezione vengono automatizzati. In questo caso l'utente si limita ad indicare un criterio formale che possa essere utilizzato per quantificare quanto la prestazione di ciascun possibile sistema approssimi quella desiderata e quali parametri del sistema sono sottoposti a variazione e il computer si incarica di svolgere l'intero processo di "evoluzione simulata" producendo varianti del sistema e selezionando le varianti migliori in base al criterio indicato.

Grazie all'uso di robot adattivi è stato possibile affrontare contesti didattici non confinati alle discipline informatiche/ingegneristiche. Uno degli esempi più chiari di queste applicazioni ha riguardato l'uso dei Toybot, appena descritti, come sussidi didattici all'apprendimento della teoria darwiniana dell'evoluzione biologica (Miglino et al., 1999). In questo ambito i robot sono stati usati alla stregua di organismi artificiali che potevano essere allevati direttamente dagli studenti. In sostanza l'allevamento di popolazioni di robot ha consentito agli studenti di osservare (e manipolare) un processo evolutivo in azione cosa pressoché impossibile in condizioni naturali. In questo senso la robotica, integrata con le altre discipline dell'artificiale (vita artificiale, algoritmi genetici, reti neurali, ecc.), consente di progettare delle repliche sperimentali di fenomeni e processi impossibili da condurre in natura. Forse questo sarà il campo di maggior impatto della robotica evolutiva in ambito didattico. Le scienze della vita (biologia, psicologia, scienze sociali ecc.) spiegano dei processi storici che si esplicano su scale temporali impossibili da riprodurre in un laboratorio didattico (si pensi per l'appunto all'evoluzione biologica). Le macchine che tentano di imitare gli organismi reali cominciano ad essere degli ottimi soggetti sperimentali per tentare di catturare le leggi di fondo di questi fenomeni.

5. Conclusioni

In ambito didattico il robot può essere considerato come un oggetto-ponte tra software e hardware e questa sua caratteristica consente di sfruttarlo per l'insegnamento di discipline e metodologie estremamente diversificate. Sopra abbiamo sommariamente descritto come i robot vengono usati per formare i futuri tecnologici e anche per insegnare l'evoluzione biologica. Queste prime applicazioni sono state rese possibili sia da una facilità nel costruire o acquistare dei robot che da un enorme progresso scientifico in alcune discipline quali la vita artificiale e le reti neurali. I metodi di sviluppo di queste discipline, infatti, stanno consentendo di costruire macchine che si auto-organizzano e si adattano al mondo fisico. In sostanza si sta assistendo ad una progressiva trasformazione dei tecnici del settore da progettisti ad allevatori/addestratori di robot. In futuro sarà sempre più difficile distinguere il "bios" dal "technè". Paradossalmente per comprendere (e insegnare) le leggi della natura si tenterà a riprodurle in artefatti tecnologici in modo che le macchine assomiglino sempre più ad organismi naturali (sperando che non capiti mai l'inverso).

Bibliografia

- Lund, H. H., Miglino, O., Pagliarini, L., Billard, A., Ijspeert A. (1997). Evolutionary Robotics - A Children Games. *Proceedings of International Conference on Evolutionary Computation 1997*, pp. 100-104. IEEE Computer Society Press.
- Martin, F. G. (1994). *Circuits to Control: Learning Engeneering by Designing LEGO Robots*. Ph. D. Thesis. Massachusetts Institute of Techonology.
- Miglino, O., Lund, H. H., Cardaci, M. (1999). Robotics as an Educational tool. *Journal of Interactive Learning Research*, 3(4), 200-230
- Nolfi S., and Floreano D. (2000). *Evolutionary Robotics: The Biology, Intelligence, and Technology of Self-Organizing Machines*. Cambridge, MA: MIT Press/Bradford Books
- Sharkey, N.E. (1997) The new wave in robot learning. *Robotics and Autonomous Systems*. 22, 179-186.