

ToyBots. Allevare robot per apprendere a governare un processo evolutivo

Un ambiente di robotica evolutiva che permette ai ragazzi di osservare e governare un processo storico-evolutivo

- **Orazio Miglino**
Laboratorio di Tecnologie Cognitive, Dipartimento di Psicologia, Seconda Università di Napoli;
Istituto di Scienze e Tecnologie della Cognizione, CNR, Roma
orazio.miglino@unina2.it
- **Henrik H. Lund**
Maersk Institute for Production Technology, University of Southern Denmark
hhl@mip.sdu.dk
- **Luigi Pagliarini**
Laboratorio di Tecnologie Cognitive, Dipartimento di Psicologia, Seconda Università di Napoli;
Maersk Institute for Production Technology, University of Southern Denmark
luigi@daimi.au.dk

PROGETTARE ORGANISMI, ALLEVARE MACCHINE

Coltivare, allevare, addestrare e insegnare sono attività che hanno consentito all'uomo di governare e plasmare la natura. Lungo l'arco temporale di migliaia di anni, agricoltori, allevatori, educatori o, semplicemente, genitori hanno affinato e continuano ad affinare la capacità di osservare, seguire e modificare il percorso evolutivo del vivente. Certo, il botanico ha tecniche differenti dall'educatore ma entrambi devono avere la capacità di cavalcare il divenire ingaggiando un dialogo tra due entità autonome: loro stessi e il pezzo di natura che vogliono aiutare a crescere. Da un punto di vista molto generale, potare la siepe del nostro giardino per fargli assumere una forma rettangolare, seguire l'educazione ventennale di un figlio, selezionare generazione dopo generazione una razza canina per produrre degli individui con un pedigree perfetto, sono dei processi simili. In tutte e tre queste attività seguiamo la storia di uno o più organismi (pianta, essere umano, animale) e interveniamo, a seconda del caso, per correggere, inibire, facilitare comportamenti e morfologia di alcuni esseri viventi. In questo processo, l'uomo non ha il perfetto controllo sulla natura. Ogni organismo ha una quota di autonomia che difficilmente si presta ad essere

imbrigliata una volta per tutte. Tutto al più, ciò che è in nostro potere è "prenderci cura" di un pezzo di natura e aiutare l'emergere, nel corso del tempo, di forme vantaggiose per la nostra sopravvivenza.

All'opposto, il mondo della tecnologia ha sviluppato tecniche e pratiche del tutto diverse da quelle adottate dagli uomini per governare la natura. Le macchine sono il prodotto finale di un dettagliato lavoro di analisi/progettazione/programmazione. L'autonomia di un artefatto deve essere prossima allo zero. Abbiamo l'esigenza di sapere esattamente cosa succede alle ruote di un'automobile quando sterziamo a sinistra! Nella tecnologia l'imprevisto deve essere ridotto al minimo. Il potere è nelle mani dell'uomo che deve tendere al pieno controllo della macchina e dell'interazione con essa.

Secondo il quadro appena descritto, costruire macchine e coltivare piante sono due attività radicalmente diverse. L'ingegnere e il botanico sembrano avere pochi argomenti in comune. Ciò è stato sicuramente vero fino a qualche decennio fa. In realtà, lo sviluppo scientifico e tecnologico ha prodotto una contaminazione tra i due mondi. Oggi cominciano a comparire organismi che sono progettati e macchine che vengono allevate. La biologia sta cominciando a conoscere i dettagli del processo generativo di un esse-

re vivente e ciò sta consentendo un certo grado di progettazione genetica di un essere vivente (si veda, per esempio, il caso degli organismi geneticamente modificati). Dal versante tecnologico, si tenta di dare risposte a problematiche molto complesse della nostra vita quotidiana e si è dovuto imboccare la strada della costruzione di macchine che hanno una qualche forma di autonomia. Ciò è inevitabile! Delegando ad una macchina funzioni molto complesse ne perdiamo parzialmente il controllo. Per esempio, un supercalcolatore costruito per calcolare previsioni economiche relative ad un determinato mercato analizza miliardi di informazioni. La macchina emette il “verdetto” dopo un lungo processo di elaborazione. Per qualsiasi essere umano è impossibile controllare i singoli passaggi adottati dalla macchina e quindi egli deve necessariamente fidarsi di essa (su questo punto si veda la documentata riflessione di Baley (1996)). La situazione si complica ulteriormente quando si vogliono realizzare macchine che agiscono in ambienti naturali, pericolosi o distanti come nel caso delle esplorazioni spaziali. In queste condizioni le macchine devono adattarsi alle mutevoli condizioni ambientali che possono risultare imprevedibili nella fase di progettazione /realizzazione. L'unico modo per affrontare dei problemi del genere consiste nel costruire delle macchine che abbiano una qualche forma di autonomia o più precisamente possiedano, analogamente a qualsiasi essere vivente, dei meccanismi di adattamento.

Siamo quindi ad un apparente paradosso disciplinare: in biologia si sta affermando la Biotecnologia e in computer science è nata la Vita Artificiale. La prima fa proprio l'apparato concettuale tradizionale della tecnologia: analizzare nel dettaglio una struttura o un processo per poi successivamente ricostruirlo passo dopo passo. La seconda, ispirandosi alle conoscenze biologiche circa i processi di adattamento (sia a livello filogenetico che ontogenetico), tende a costruire delle macchine adattive e in qualche misura “viventi”. La contaminazione tra bios e tecnè è reciproca ed è appena iniziata. Sarà di enorme importanza seguirne gli sviluppi ed essere coscienti del fortissimo impatto che, inevitabilmente, avranno sulla nostra vita quotidiana. Sarebbe un gravissimo errore pensare che una modalità di controllo/governo del reale abbia la prevalenza sull'altra. A fronte di questo tumultuoso processo di trasformazione sia in ambito tecnologico che scientifico, il senso comune

resta ancorato a vecchi schemi di pensiero. Risulta dominante la visione di una ricerca scientifica tendente ad analizzare e sezionare la natura e le cose per averne il pieno controllo. Non a caso si sente molto parlare di Biotecnologie e pochissimo di Vita Artificiale. In realtà, come abbiamo cercato di descrivere precedentemente, il quadro è sicuramente più composito. Proprio in ambito tecnologico, si cerca di recuperare tutta una serie di competenze e conoscenze circa la capacità di governare e indirizzare il divenire delle forme. Riteniamo che sia giunto il momento di recuperare e sottolineare l'importanza di quest'ultima fonte di intervento dell'uomo sulla materia (vivente e non) e proponiamo di farlo tramite uno strumento che consenta di sperimentare la possibilità di allevare macchine e in particolare di addestrare robot.

In genere i robot sono utilizzati in ambito educativo per insegnare delle discipline tecnico-scientifiche e vengono per l'appunto progettati, programmati e realizzati. Tale metodologia ha dato dei risultati sicuramente interessanti (si veda [Martin, 2001] e [Miglino et al, 1999]). Tant'è che, grazie alla facile reperibilità di kit robotici educativi, la costruzione/progettazione di robot in ambito didattico è diventata una pratica ampiamente usata sia in ambito scolastico che universitario. C'è da dire che in tutti i casi di maggior successo si parte dalla considerazione implicita che un robot mobile è fondamentalmente una macchina e in quanto tale trattabile con un approccio ingegneristico classico. In realtà un robot mobile è qualcosa di diverso rispetto ad una macchina tradizionale. Il robot agisce in un ambiente in continuo cambiamento, spesso imprevedibile. Per esempio, la luce, la temperatura e l'umidità possono variare da momento a momento e da luogo a luogo. Il corpo stesso del robot è sottoposto all'azione di trasformazioni: la fonte di alimentazione energetica (le batterie) decade rapidamente, processi di invecchiamento e di usura modificano l'assetto elettro-meccanico della macchina, ecc. Il robot, a differenza delle macchine tradizionali, deve far fronte a tutte queste imprevedibili variazioni in modo autonomo. Non esiste un guidatore umano che ne controlli direttamente il comportamento. In sostanza, un robot mobile può essere visto come un vero e proprio organismo artificiale che deve adattarsi continuamente e autonomamente alla variabilità dell'ambiente in cui è immerso.

Questa è proprio la visione di recenti ap-

procci alla robotica quali la Robotica Biomorfa [Webb e Consi, 2001] e la Robotica Evolutiva [Nolfi e Floreano, 2000] che, nel corso dell'ultimo decennio, hanno prodotto un notevole bagaglio di tecniche, metodologie e soluzioni mirate alla realizzazione di macchine adattive. Tutti questi metodi di adattamento/addestramento dell'artificiale traggono ispirazione da ben sedimentate teorie scientifiche riguardanti i processi adattivi biologici. In particolare, la Teoria Darwiniana dell'Evoluzione Biologica e alcune Teorie di Psicologia dell'Apprendimento sono state trasformate in precisi algoritmi. Per Darwin ogni forma vivente è il prodotto di un lungo e costante processo di adattamento che coinvolge, nel corso di migliaia di anni, una enorme massa di individui. Un essere vivente deve procurarsi le risorse energetiche che gli garantiscono la sopravvivenza individuale e, parallelamente, tende a riprodursi per garantire la sopravvivenza della propria specie. In questa doppia dinamica ontogenetica (che avviene a livello individuale) e filogenetica (che si esplica a livello di specie) risiede il motore della vita. Inoltre, la Teoria Darwiniana, contrariamente a quanto ipotizzato da Lamarck, afferma che gli organismi trasmettono alla loro prole solo ed esclusivamente il proprio patrimonio genetico (genotipo). Quindi, tutto ciò che viene appreso durante la vita di un individuo non viene trasmesso ai propri figli. Le differenze che pur esistono tra genitori e figli sono da imputarsi a delle mutazioni casuali del patrimonio genetico della prole. Tali mutazioni avvengono nella fase della riproduzione. In tal modo si garantisce la variabilità della popolazione. Sarà l'interazione con l'ambiente a selezionare gli individui aventi un patrimonio genetico adatto alla sopravvivenza (e quindi alla riproduzione) in specifiche condizioni ambientali. Tutti questi processi, ben documentati dalla ricerca biologica e dettagliatamente descritti dalla Teoria Evoluzionistica Darwiniana sono stati applicati all'allevamento di macchine e di oggetti e hanno preso il nome di Algoritmi Genetici. Esistono algoritmi genetici molto complessi. A scopo esemplificativo descriviamo una delle forme più semplici. Si costruisce una popolazione iniziale di oggetti aventi delle caratteristiche molto differenti uno dall'altro. Da questo primo insieme di individui ne selezioniamo alcuni, ovvero quelli che soddisfano maggiormente le nostre esigenze. Per ogni selezionato produciamo un certo numero di copie (cloni) e nel proces-

so di ricopiatura introduciamo delle piccole modifiche casuali (mutazioni). In tal modo abbiamo una nuova popolazione di oggetti che possono a loro volta essere selezionati, ricopiati e mutati. Teoricamente, il processo potrebbe non avere mai fine.

Sfruttando proprio questa tecnica abbiamo sviluppato un primo prototipo per l'allevamento/addestramento di robot da utilizzare in ambito ludico/educativo. Il sistema si basa sull'uso combinato di un software di allevamento/addestramento e di un kit robotico del genere LEGO® MINDSTORMS™. Riteniamo (e speriamo) che l'uso di ToyBots, questo è il nome dato al prototipo, possa consentire di iniziare quella necessaria opera di divulgazione scientifica su due importantissimi temi: addestrare le nuove generazioni a saper osservare e intervenire in un processo evolutivo; conoscere le relazioni e le contaminazioni in atto tra biologia e tecnologia.

TOYBOTS

ToyBots è stato costruito implementando una serie di tecniche e soluzioni ingegneristiche sviluppate nell'ambito della Robotica Evolutiva [Nolfi e Floreano, 2000], degli Algoritmi di Apprendimento per Rinforzo [Sutton e Barto, 1998] e delle tecniche di Interaction Evolutionary Design [Bentley, 1999].

La Robotica Evolutiva si propone di sviluppare dei robot ispirandosi direttamente alle teorie dell'evoluzione biologica. In tal senso, piccole popolazioni di robot vengono sottoposte ad un processo di evoluzione artificiale al fine di adattarsi a qualche particolare ambiente di vita.

Gli Algoritmi di Apprendimento per Rinforzo si ispirano direttamente alle teorie di apprendimento sviluppate nell'ambito della psicologia animale. Vengono usati per addestrare macchine (in genere si tratta di reti neurali artificiali) a risolvere problemi particolarmente complessi.

Infine, le tecniche di Interaction Evolutionary Design consentono ad un utente di realizzare degli oggetti (software e hardware) attraverso l'interazione continua con un programma per computer che propone una serie di varianti degli oggetti medesimi. L'utente sceglie alcune di queste varianti e il sistema informatico, a partire dagli oggetti selezionati, produce una nuova serie di varianti. Il processo di selezione/produzione di varianti procede fino a quando l'utente non ritiene di aver allevato un oggetto di suo particolare gradimento.

1 La versione di ToyBots, distribuita gratuitamente, fu realizzata nel biennio 1996-1997. Purtroppo, per la rapida obsolescenza delle soluzioni informatiche a suo tempo adottate, il sistema attualmente può essere usato solo in modalità software. In questi mesi è in produzione una versione aggiornata che sarà in distribuzione nel corso del 2004. Una documentazione sul progetto di ricerca corredata dell'eseguibile del programma si può reperire su <http://ctlab.unina2.it/>

figura 1

L'allevamento di una popolazione di robot simulati con ToyBots.

ToyBots integra queste tre tecniche allo scopo di allevare/addestrare una piccola popolazione di robot a muoversi in ambienti contenenti muri, ostacoli e aree con differenti livelli di illuminazione. Il processo di allevamento/addestramento avviene in un ambiente software e i risultati ottenuti in questo ambiente possono essere scaricati nel computer di bordo di un robot fisico¹.

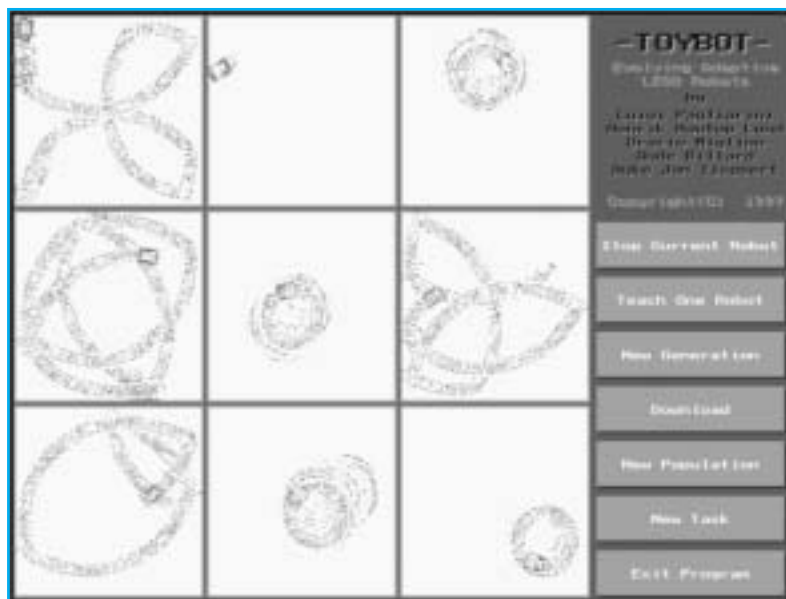
L'ambiente di allevamento

Inizialmente, sullo schermo del computer appaiono nove riquadri [vedi figura 1]. Ogni riquadro rappresenta un'arena bidimensionale dove agisce un robot simulato (graficamente rappresentato come un piccolo rettangolo). L'allevatore può selezionare ambienti con caratteristiche fisiche differenti: l'arena può essere completamente sgombrata (lo spazio è totalmente bianco), può contenere delle aree di diverso colore (in tal caso il pavimento è rappresentato con diverse tonalità di grigio), oppure possono essere presenti degli ostacoli (graficamente rappresentati come piccoli cerchi). Ogni robot viene posizionato in un punto casuale dell'arena e produce dei movimenti in funzione di regole del tipo "se vedi bianco allora fai un passo in avanti", "se tocchi un ostacolo allora vai a sinistra", ecc. Questo iniziale insieme di regole, che costituisce il sistema di controllo della macchina, è attribuito casualmente da ToyBots ad ogni robot. L'allevatore non ha diretto accesso al programma di governo della macchina, ne vede solo gli effetti comportamentali (il movimento del robot all'interno dell'arena). Le traiettorie dei nove robot vengono

mostrate nei relativi riquadri. A questo punto, l'allevatore può selezionare tre robot che a suo giudizio presentano il comportamento più interessante. Per ogni individuo selezionato, ToyBots produce tre copie dei sistemi di controllo. Nel processo di copia alcune regole comportamentali vengono casualmente modificate. Per esempio, una regola del tipo "se vedi bianco allora gira a destra" potrebbe essere casualmente modificata nella regola "se vedi bianco allora gira a sinistra". Al termine del processo di copia/mutazione si ottengono nove sistemi di controllo che, impiantati in altrettanti robot, produrranno dei comportamenti leggermente differenti da quelli selezionati dall'addestratore. Una nuova schermata consentirà all'allevatore di operare la selezione di altri tre individui da cui ToyBots produrrà altri sistemi di controllo leggermente modificati e così via. In qualsiasi momento l'allevatore può decidere di trasferire un sistema di controllo dal robot simulato al computer di bordo del robot fisico.

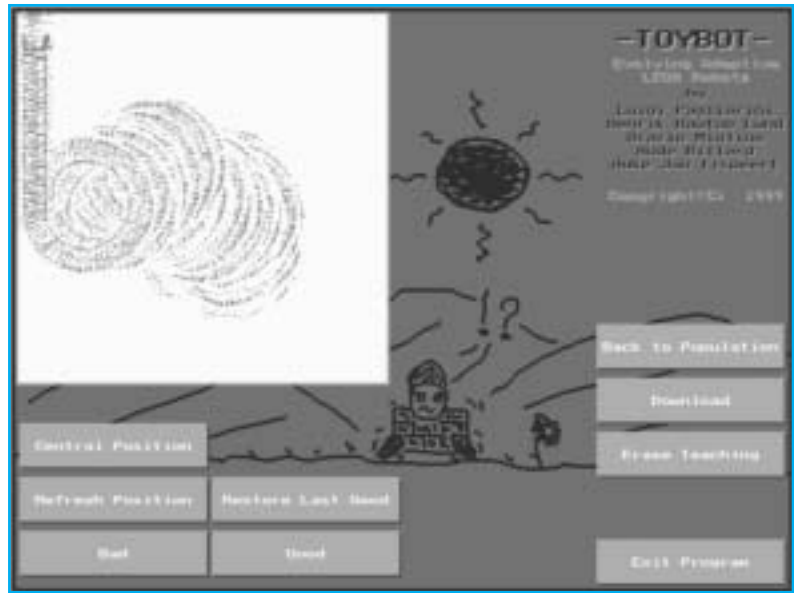
L'ambiente di addestramento

ToyBots consente di passare dall'ambiente di allevamento di una popolazione di robot ad un ambiente dedicato all'addestramento di un singolo individuo. Grazie a questa funzionalità, l'addestratore ha la possibilità di scegliere un individuo tra i nove robot mostrati nell'ambiente di allevamento e trasportarlo in un ambiente di addestramento individuale [vedi figura 2]. In quest'ultimo ambiente, l'addestratore osserva il comportamento del robot e può decidere di premiarlo oppure punirlo. In funzione del tipo di rinforzo imposto dall'addestratore, ToyBots modificherà le regole comportamentali del robot (ovvero del sistema di controllo). È da sottolineare il fatto che, analogamente a quanto accade nell'ambiente di allevamento, l'addestratore può solo osservare il comportamento del robot ma non accedere al sistema di controllo della macchina. Quando l'addestratore è soddisfatto del comportamento esibito dal robot può decidere di ritornare nell'ambiente di allevamento [ovvero quello mostrato in figura 1]. Il robot che ha ricevuto l'addestramento individuale conserva il nuovo set di regole comportamentali ma, se selezionato, non le trasmetterà alla sua copia. In altre parole, ToyBots funziona secondo i criteri della Teoria Darwiniana dell'Evoluzione Biologica: i discendenti di un individuo non ereditano le abilità apprese durante la vita dai loro genitori.



L'USO DI TOYBOTS IN CONTESTI EDUCATIVI

Il nostro gruppo di ricerca parte dallo studio delle caratteristiche biologiche e comportamentali degli esseri viventi per poi costruirne dei sistemi artificiali che li simulano. Tali artefatti possono trovare varie applicazioni (ricerca di base, educazione, divertimento, ecc.). Quindi, la nostra "expertise" si ferma nel momento in cui l'oggetto viene usato/valutato/manipolato da qualcuno. Nel caso di ToyBots abbiamo sentito l'esigenza di cominciare ad indagare in prima persona circa l'efficienza psico-pedagogica del prototipo. Abbiamo, quindi, condotto un primo studio pilota sull'uso di Toybots come supporto didattico all'insegnamento dell'Evoluzione Biologica (per una più approfondita descrizione dell'esperienza si veda [Migliano et al, 2002]). L'esperienza didattica fu condotta da due classi di un liceo scientifico napoletano. I ragazzi avevano un'età compresa tra i 14 e i 15 anni. Ambedue i gruppi prendevano parte ad una lezione di biologia evolutivista tenuta dai loro insegnanti. Al termine della lezione una classe aveva l'opportunità di approfondire gli argomenti trattati dal docente usando dei tradizionali prodotti multimediali, mentre l'altro gruppo di studenti era introdotto all'uso di ToyBots. Al fine di avere una misura quantitativa dei progressi raggiunti dai ragazzi, somministrammo prima della lezione, dopo la lezione e al termine delle sessioni informatiche dei questionari di verifica dell'apprendimento. La classe che utilizzò ToyBots mostrò dei punteggi significativamente superiori a quelli ottenuti dai ragazzi che usarono i tradizionali ipertesti multimediali. C'è da dire che questi primi risultati quantitativi rappresentano solo un piccolo indizio sull'efficacia educativa di strumenti tipo ToyBots e non possono essere assolutamente considerati come prova definitiva e fondante su cui costruire argomentate riflessioni psico-pedagogiche. È indubbio però l'apprezzamento



espresso dai ragazzi e dagli insegnanti nell'introduzione di questo nuovo supporto alla didattica tradizionale. ToyBots ha consentito loro di sperimentare in prima persona delle vere e proprie evoluzioni artificiali. In sostanza, allievi ed insegnanti sono entrati in un processo e hanno contribuito a governarlo. Hanno realizzato macchine senza programmarle, ma allevandole e addestrandole. Dopo le sessioni di laboratorio gli insegnanti hanno potuto indirizzare le discussioni condotte in classe intorno ai concetti di "controllo" versus "governo", di "programmazione" versus "allevamento". In sostanza, hanno fatto leva sulla dissonanza cognitiva inevitabilmente prodotta dal processo di allevamento di macchine per avviare una riflessione critica sui rapporti tra biologia e tecnologia. Da un punto di vista strettamente tecnologico, gli insegnanti di scienze hanno potuto introdurre i ragazzi verso le nuove forme di tecniche ingegneristiche (algoritmi genetici, robot mobili, algoritmi di apprendimento, ecc.) che cominciano ad avere ricadute applicative anche nella nostra vita quotidiana.

figura 2
L'addestramento individuale di un robot con ToyBots.

riferimenti bibliografici

Baley J. (1996), *Il Postpensiero*, Garzanti, Milano.

Bentley P. (1999), *Evolutionary Design by Computers*, Morgan Kaufman Academic Press, San Francisco.

Martin F. (2001), *Robotic Explorations: An Introduction to Engineering Through Design*, Prentice-Hall Inc., Upper Saddle River, NJ.

Migliano O., Lund H. H., Cardaci M. (1999), Robotics as an educational tool, *Journal of Interactive Learning Research*, vol. 10, n. 1, pp. 25-48.

Migliano O., Lund H. H., Pagliarini L. (2002), *Teaching Evolutionary Biology Using Artificial Life*, Rapporto Tecnico n. 01-2002, Laboratorio di Tecnologie Cognitive, Dipartimento di Psicologia, Seconda Università di Napoli.

Nolfi S., Floreano D. (2000), *Evolutionary Robotics*, The MIT Press, Cambridge, MA.

Sutton S., Barto A. G. (1998), *Reinforcement Learning: An Introduction*, The MIT Press, Cambridge, MA.

Webb B., Consi T. R. (2001), *Bio-robotics*, The MIT Press, Cambridge, MA.