

Dalle Tartarughe Virtuali ai Robot Giocattolo

Stefano Nolfi

Istituto di Psicologia, Consiglio Nazionale delle Ricerche (C.N.R.)

Viale Marx 15, 00137, Roma, Italy

Tel: 06-86090231, Fax: 06-824737

e-mail: nolfi@ip.rm.cnr.it

<http://gral.ip.rm.cnr.it/nolfi/>

1. Introduzione

In questo articolo cercheremo di illustrare le implicazioni dal punto di vista educativo di una serie di strumenti sviluppati negli ultimi anni basati sul concetto di agente. Gli strumenti che prenderemo in esame vanno dal linguaggio di programmazione Logo (Papert, 1980) fino ai recenti robot giocattolo commercializzati dalla LEGO. Come cercheremo di dimostrare, lo sviluppo di questi nuovi ambienti educativi ha seguito un percorso coerente che peraltro è strettamente intrecciato con l'attività di ricerca in ambiti diversi che vanno dalla Psicologia alla Robotica bioispirata.

2. Nuovi problemi e nuove opportunità nel campo dell'educazione

La società attuale pone problemi nuovi nel campo dell'educazione ma offre anche nuovi strumenti pratici (come il computer) e concettuali (come la simulazione e la teoria dei sistemi dinamici complessi). Coloro che operano in questo campo non possono non tenerne conto soprattutto se si considera l'importanza crescente che questi temi e questi nuovi strumenti stanno assumendo anche al di fuori degli ambiti educativi.

2.1 Necessità di adeguarsi ai cambiamenti socio-culturali

E' noto che la società attuale cambia con una velocità assai maggiore che in passato. Questa accelerazione del processo di cambiamento crea delle problematiche nuove per la scuola e per l'educazione in generale. Per fare un esempio, la maggior parte delle persone che hanno circa 30 anni svolgono un lavoro che non esisteva neppure quando sono nate.

Tale accelerazione mette in crisi un modello di istruzione che prevede che le conoscenze da acquisire possano essere predefinite in modo dettagliato in anticipo. Non possiamo prevedere, se non in modo piuttosto sommario, che tipo di conoscenze saranno richieste tra dieci o venti anni. Quindi non possiamo immaginare di formare degli studenti fornendogli tutte le conoscenze che gli saranno necessarie successivamente. In altre parole, non possiamo concepire il sapere come qualcosa da mettere in banca per il futuro (Papert, 1994).

Un caso paradigmatico è quello dell'informatica che è una realtà in fortissimo cambiamento. L'idea che si possa insegnare a degli studenti della scuola media inferiore o superiore ad usare il computer (vale a dire ad usare i computer attuali ed i programmi attuali) in modo da facilitarli poi l'ingresso nel mondo del lavoro è piuttosto assurda, se presa alla lettera, in quanto è assai probabile che tra 10 o 20 anni i computer e i programmi per computer saranno completamente diversi da quelli attuali. Uno studente di ingegneria che si

sia laureato dieci o quindici anni fa e che abbia imparato a programmare un computer di quei tempi usando le schede perforate è altrettanto incapace di usare un computer attuale di quanto lo sia una persona completamente a digiuno di informatica. Se si interpreta la conoscenza informatica in senso stretto, non c'è oggi assolutamente nulla che valga la pena di essere imparato e messo in cassaforte in quanto tra qualche anno le capacità informatiche richieste in un posto di lavoro saranno cambiate in modo radicale.

Un altro aspetto che va considerato è il progressivo scomparire della distinzione tra periodo formativo e periodo lavorativo in cui ciò che si è appreso viene messo a frutto. Oggi si apprende molto più che in passato e l'apprendimento dura praticamente tutta la vita. L'istruzione scolastica deve orientarsi quindi in un senso aperto. Certamente deve continuare a fornire le conoscenze basilari ma deve anche insegnare agli studenti ad apprendere. Li deve mettere in grado di continuare ad apprendere e ad aggiornarsi anche dopo il periodo scolastico.

2.2 Apprendere attraverso le parole e apprendere attraverso la manipolazione della realtà

Come abbiamo osservato all'inizio di questo paragrafo, la società attuale pone problemi nuovi per l'educazione ma offre anche nuove opportunità. In particolare offre la possibilità di sfruttare nuove modalità di apprendimento.

Ci sono essenzialmente due modi per apprendere (cioè per conoscere e capire la realtà). Si può apprendere attraverso il linguaggio (in questo caso il docente oppure il libro di testo ci racconta come è fatta la realtà e ce la spiega) oppure attraverso l'esperienza diretta (Parisi, 1997).

Fino ad oggi, i canali istituzionali di insegnamento (la scuola, le università, ecc.) si sono basati quasi esclusivamente sull'apprendimento basato sulle parole. "L'insegnante parla agli allievi, descrive loro i diversi aspetti della materia che deve essere appresa, li analizza e li interpreta. La stessa cosa, più o meno, fa l'autore di un libro usando il linguaggio scritto invece che quello orale. Lo studente ascolta la lezione o legge il libro e, attraverso quello che gli viene comunicato con le parole, apprende la materia" (Parisi, 1997).

L'apprendimento attraverso l'esperienza è confinato per lo più al di fuori dei luoghi istituzionali e avviene attraverso l'esperienza di tutti i giorni. La gente impara interagendo con la realtà, facendone esperienza diretta, manipolandola. L'interesse primario della gente è raggiungere degli scopi pratici, ma nel far questo, gli individui apprendono a conoscere la realtà e a capirne i meccanismi sottostanti.

Facciamo un es. concreto. Immaginiamo di dover adattare una ricetta di cucina che indica le dosi per sei persone ad una cena con quattro commensali. Immaginiamo inoltre che la ricetta preveda una tazza e mezza di farina. Poiché siamo solo 4 e non 6 dovremo utilizzare due terzi della farina richiesta, cioè due terzi di una tazza e mezzo (questo esempio è descritto in Kirsh, 1995).

In ambito scolastico questo tipo di problema verrebbe risolto utilizzando le frazioni. Tuttavia, probabilmente nessuno di noi utilizzerebbe un metodo di questo tipo nella sua vita di tutti i giorni. Un modo non scolastico in cui possiamo risolvere il problema è ad es. versare una tazza e mezza di farina sul tavolo, disporla a cerchio, dividere il cerchio in tre spicchi simmetrici, e rimettere una fetta nel contenitore della farina. Si noti come questo modo di risolvere il problema richiede una manipolazione della realtà. Trasformiamo la farina, che inizialmente è suddivisa in due tazze, in un'unica unità che poi possiamo dividere facilmente in tre parti.

Questo esempio mostra come nella vita di tutti i giorni o nel lavoro, spesso si utilizzano delle conoscenze completamente diverse da quelle che vengono acquisite a scuola. Sono conoscenze che si basano sull'azione, sulla manipolazione della realtà. Questo diverso tipo di

conoscenze, tuttavia, veicolano la stessa informazione. Nel caso della farina, ad es., sono sempre conoscenze che ci permettono di fare delle operazioni su delle quantità (cioè sono conoscenze di tipo matematico).

Ci sono varie differenze tra le due modalità di apprendimento. L'apprendimento attraverso il linguaggio è un apprendimento mediato dalle parole mentre l'apprendimento attraverso l'esperienza è un apprendimento diretto. Inoltre l'apprendimento attraverso l'esperienza, a differenza di quello basato sul linguaggio, permette di manipolare la realtà ed osservare le conseguenze di tali manipolazioni. L'apprendimento attraverso il linguaggio è un apprendimento passivo. Al contrario, nella vita di tutti i giorni (o nei laboratori degli scienziati), chi apprende non si limita ad osservare la realtà come gli si presenta spontaneamente ma compie azioni che la modificano e ne osserva gli effetti.

Entrambi i tipi di apprendimento hanno vantaggi e svantaggi. L'apprendimento attraverso il linguaggio non consente di manipolare la realtà ed è quindi meno efficace dell'apprendimento basato sull'esperienza. Tuttavia l'apprendimento attraverso il linguaggio è fondamentale per tutti quei casi in cui non si può avere una esperienza diretta della realtà (quando ad es. quello che vogliamo apprendere è troppo grande o troppo piccolo, lontano nel tempo o nello spazio, o in generale è qualcosa su cui non possiamo agire).

Come vedremo più avanti, le nuove tecnologie ci offrono la possibilità di utilizzare l'apprendimento basato sulla manipolazione della realtà (reale o simulata) in ambiti nuovi per i quali, precedentemente, l'unica forma di apprendimento disponibile era l'apprendimento passivo basato sul linguaggio.

2.3. Concreto e astratto. Istruzionismo e costruzionismo

La contrapposizione tra apprendimento attraverso le parole e apprendimento attraverso la manipolazione della realtà può essere vista anche come una contrapposizione tra ragionamento concreto e ragionamento astratto. Tradizionalmente, infatti, il progresso intellettuale viene visto come il passaggio dal concreto all'astratto.

Effettivamente in molti casi questo passaggio rappresenta un vantaggio. Le conoscenze di tipo astratto sono di norma più generali e possono essere applicate in un gran numero di casi diversi. Le conoscenze di tipo pratico invece tendono ad essere valide solo all'interno di un certo ambito (sono conoscenze specializzate). Torniamo di nuovo all'esempio della farina. La strategia pratica di manipolare la farina creando una torta unica per poi dividerla in spicchi va bene per la farina ma non può essere applicata in altri casi. Ad es. non può essere applicata in quei casi in cui abbiamo a che fare con delle entità discrete (come delle monete) che non possono essere fuse insieme in un'unica entità più grande.

D'altro canto occorre considerare che, qualora sia possibile utilizzare entrambe le forme di apprendimento, l'apprendimento diretto attraverso la manipolazione della realtà produce una comprensione più profonda. Infine occorre considerare che, come vedremo nel prossimo paragrafo, ci sono delle realtà che non possono essere descritte esaurientemente attraverso il linguaggio o comunque attraverso un sistema simbolico come la matematica. In questi casi l'apprendimento attraverso la manipolazione della realtà è l'unica modalità perseguibile.

Un altro modo per descrivere il problema è contrapporre istruzionismo e costruzionismo. L'approccio tradizionale all'insegnamento può essere caratterizzato come istruzionista. L'obiettivo è quello di trasferire le conoscenze astratte direttamente, attraverso il linguaggio. Il costruzionismo poggia invece sull'assunto che gli studenti faranno meglio a scoprire da se le conoscenze di cui hanno bisogno. Tali conoscenze potranno prima essere assimilate in forma concreta e poco generale, e poi eventualmente astratte e generalizzate (Papert, 1986).

Naturalmente il costruzionismo non va inteso in senso minimale seguendo l'idea che ogni atto di insegnamento priva i bambini della possibilità di scoprire qualcosa. Non è riducendo

l'insegnamento e lasciando tutto il resto inalterato che si può immaginare di ottenere un miglioramento del risultato finale. L'obiettivo è insegnare in modo tale da offrire il maggiore apprendimento con il minimo di insegnamento (Papert, 1986). Ciò può essere ottenuto solo fornendo agli studenti degli ambienti di apprendimento nuovi che gli consentano di apprendere attraverso la manipolazione della realtà (cioè degli ambienti che facilitino il processo di apprendimento attraverso la scoperta).

Prendiamo il caso della matematica. E' ben noto che gli adulti scolarizzati sono in media dei cattivi utilizzatori della matematica. Si può immaginare che ciò sia dovuto ad un insegnamento insufficiente della matematica (cioè ad un insegnamento insufficiente dei concetti astratti della matematica). Tuttavia è più ragionevole pensare che il vero problema sia costituito dal fatto che gli adulti attuali non hanno avuto modo di utilizzare i concetti matematici acquisiti durante il periodo scolastico al di fuori della scuola. Non hanno appreso a relazionare questi concetti con la realtà concreta di tutti i giorni (sull'importanza di relazionare i concetti astratti alla realtà fisica nello studio delle capacità cognitive si veda Harnad, 1990). Se questo è il vero problema, la soluzione è quella di acquisire la matematica non solo attraverso il linguaggio ma anche attraverso la manipolazione della realtà fisica. Come vedremo più avanti, un modo per ottenere questo risultato è fornire ai bambini dei micromondi interessanti in cui possano essere utilizzate regole matematiche inizialmente concrete e poco generali e poi progressivamente più astratte e generali. Riassumendo, occorre considerare che per migliorare la conoscenza di uno studente riguardo all'argomento X non necessariamente si deve procedere insegnando allo studente direttamente X.

2.4 I sistemi dinamici complessi

Il caso della ricetta con la farina e' un caso in cui lo stesso problema può essere risolto in due modi diversi: uno basato sul ragionamento astratto e uno basato sull'esperienza diretta e sulla manipolazione della realtà. I due modi di procedere sono entrambi validi. Semplicemente il secondo, quello basato sulla manipolazione della realtà, risulta di solito più semplice da ricordare, più facile. Ci sono altri casi tuttavia, il cui l'unico modo di procedere è l'interazione diretta con la realtà. Ciò occorre quando abbiamo a che fare con delle realtà che, anche se possono essere descritte attraverso il linguaggio, non possono essere comprese a fondo attraverso una loro descrizione linguistica. Il linguaggio e il ragionamento in questi casi non bastano. Uno di questi casi sono le previsioni del tempo.

Fino a non molto tempo fa per la meteorologia la previsione del tempo non poteva considerarsi una scienza. Era un lavoro per tecnici che dovevano avere una certa abilità intuitiva nel prevedere il tempo del giorno dopo basandosi sull'osservazione diretta e sui valori rilevati da qualche strumento. Agli inizi degli anni 60, tuttavia, Lorenz creò un piccolo programma, un modello giocattolo della meteorologia che in poco tempo rivoluzionò in modo radicale la meteorologia e molti altri campi del sapere (Lorenz, 1963; si veda Cleig, 1987). Ogni minuto il computer stampava una serie di numeri che rappresentavano le direzioni del vento e la posizione di cicloni e anti-cicloni rispetto ad un mondo virtuale creato ad immagine di quello reale. Lorenz era il creatore di questo universo virtuale in quanto aveva scelto le leggi che lo governavano (dodici semplici regole che esprimevano i rapporti tra temperatura e pressione, tra pressione e velocità del vento ecc. e che venivano applicate contemporaneamente in tutte le aree di questo universo simulato). Tale modello era naturalmente una semplificazione brutale della realtà esterna. Eppure venti e temperature sembravano comportarsi in un modo riconoscibilmente terrestre.

Osservando l'andamento meteorologico sul suo modello artificiale Lorenz notava che nel suo modello c'erano delle regolarità ma anche che gli andamenti non si ripetevano mai allo stesso modo. Il suo modello, così come la realtà, produceva una specie di disordine ordinato.

Il motivo per cui l'effetto farfalla non ha impedito alla meteorologia di fare progressi è il fatto che nonostante nella realtà del nostro mondo (così come nella realtà del modello simulato di Lorenz) le condizioni metereologiche non si ripetano mai esattamente allo stesso modo, delle regolarità sono comunque presenti. Possiamo illustrare questo punto con un altro esperimento condotto da Lorenz. Consideriamo questa ruota idraulica con appesi una serie di secchi. Ogni secchio ha il fondo forato e di conseguenza perde costantemente un filo d'acqua. Consideriamo inoltre che dall'alto cade un flusso d'acqua regolabile attraverso un rubinetto. La ruota può ruotare in entrambe le direzioni (Figura 2).

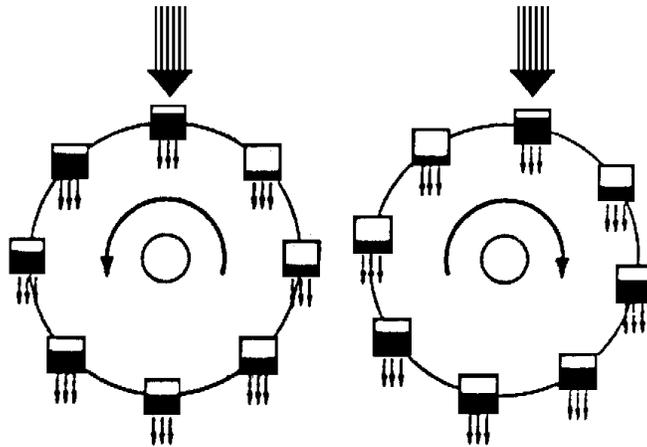


Figura 2. La ruota di Lorenz.

Se si osserva il comportamento di questo semplice sistema aprendo e chiudendo il rubinetto in modo da variare la quantità di acqua in ingresso (in altre parole se si osserva il comportamento di questo sistema manipolandone alcune componenti) si può osservare quanto segue. Se il rubinetto eroga poca acqua il secchio che si trova in alto non si riempirà mai in quantità sufficiente a far ruotare la ruota superando la resistenza dell'attrito. Se invece il rubinetto viene aperto maggiormente il peso dell'acqua che finisce sul primo secchio comincia a far girare la ruota e la rotazione può continuare a velocità costante. Se infine il flusso dell'acqua dall'alto è così veloce che i secchi possono percorrere un giro intero e cominciare a risalire con ancora dell'acqua al loro interno, la ruota può rallentare, fermarsi e invertire la sua rotazione girando quindi prima in una direzione e poi nell'altra.

Se osserviamo i movimenti della ruota nell'ultima condizione ci rendiamo conto che la velocità della ruota varia sempre in modo diverso ma al tempo stesso ci accorgiamo che varia seguendo delle regolarità. Se descriviamo questo sistema nel tempo con tre variabili otteniamo un grafico di questo tipo (Figura 3). In ogni istante nel tempo, le tre variabili fissano la posizione di un punto nello spazio tridimensionale. Le linee curve mostrano come il valore delle tre variabili varia in modo continuo.

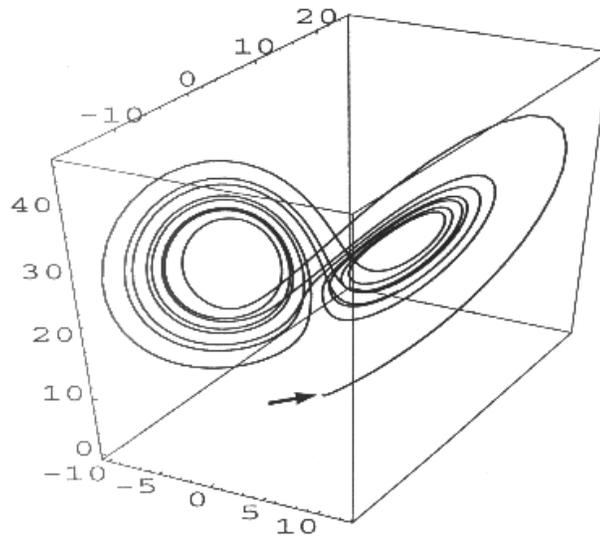


Figura 3. L'attrattore di Lorenz. Il stato della ruota nel tempo può essere descritto con un attrattore strano come quello rappresentato in questa figura.

Come si può vedere lo stato della ruota cambia continuamente e il suo comportamento non si ripete mai in modo esatto (il passaggio da un'ala all'altra della figura corrisponde ad una inversione della rotazione). Tuttavia stati simili portano a conseguenze simili. In altre parole è possibile prevedere il comportamento della ruota dato il suo stato corrente, anche se con una certa approssimazione.

Questi due esempi sono particolarmente interessanti dal nostro punto di vista perché illustrano dei casi in cui l'unico modo di capire la realtà è quello di manipolarne alcuni aspetti e di osservare le conseguenze (nella caso della meteorologia non possiamo manipolare direttamente la realtà e di conseguenza dobbiamo utilizzare la realtà simulata cioè un modello della realtà meteorologica implementato su un computer). Il fatto che questi fenomeni non possono essere descritti e compresi completamente attraverso il linguaggio o il ragionamento risulta evidente se consideriamo la loro dipendenza dalle condizioni iniziali. Anche se conosciamo in modo completo le funzioni che regolano il sistema (le dodici funzioni introdotte da Lorenz nel suo programma o la meccanica della ruota descritta sopra) non possiamo prevedere, usando solo il ragionamento o la matematica, quale sarà l'andamento del sistema nel tempo. L'unico modo per capire quello che succede (per avere una conoscenza profonda di sistemi di questo tipo) è far girare il programma (o la ruota) e osservarne il comportamento modificando ogni volta le condizioni iniziali. L'unico modo cioè è quello di manipolare la realtà.

A questo punto ci possiamo chiedere quali sistemi rientrano in questa categoria. Quali fenomeni cioè possono essere studiati e compresi solo attraverso una loro manipolazione diretta. La risposta è che rientrano in questa categoria tutti quei sistemi che possono essere definiti come *sistemi dinamici complessi*.

Recentemente è stato dimostrato come moltissimi fenomeni rientrano in questa categoria: un rubinetto gocciolante che passa da un ritmo regolare ad uno irregolare, il corpo umano, il traffico, l'economia ecc. ecc. Quello che contraddistingue i sistemi dinamici complessi è il fatto di essere formati da un insieme di elementi (molecole di acqua, cellule, automobili, investitori di borsa ecc.) che interagiscono tra di loro in modo non lineare (una interazione è non lineare quando piccole variazioni in ingresso possono provocare grandi differenze e, in altri casi, grandi variazioni in ingresso provocano solo piccole differenze).

Consideriamo ancora la ruota di Lorenz. Il comportamento complessivo della ruota (ad es. la sua velocità di rotazione) dipende dallo stato dei secchi (in particolare dalla quantità d'acqua contenuta in ciascun secchio). Ciascun secchio, a seconda della sua posizione in un dato momento, può influenzare di molto o di molto poco la velocità della ruota. Se il secchio si trova sul lato destro o sinistro a metà altezza influenzerà di molto la velocità della ruota e tenderà a decelerarla o ad accelerarla significativamente a seconda della direzione di rotazione. In questi casi quindi, piccole variazioni nella quantità di acqua contenuta nel secchio provocheranno grandi variazioni nella velocità della ruota. Se invece un secchio si trova in basso tenderà ad influenzare molto meno la velocità della ruota. In questo caso dunque grandi variazioni della quantità di acqua contenuta provocheranno solo piccoli effetti.

Il secondo aspetto che caratterizza i sistemi dinamici complessi sono le interazioni tra le diverse caratteristiche del sistema. La velocità della ruota dipende dallo stato di tanti secchi, e lo stato di ciascun secchio come abbiamo visto può avere effetti consistenti. Inoltre la velocità della ruota influenza lo stato dei secchi (visto che determina quanta acqua ciascun secchio riesce a ricevere) e i secchi, a loro volta, influenzano la velocità della ruota. Questo tipo di influenze reciproche sono una caratteristica distintiva dei sistemi dinamici complessi. Nella circolazione automobilistica ad es., il traffico influenza le scelte dei guidatori (che possono decidere di cambiare strada quando restano bloccati). A loro volta i guidatori influenzano il traffico con le loro scelte. L'ambiente dove viviamo, per fare un altro esempio, influenza i comportamenti degli abitanti che a loro volta modificano l'ambiente (ad es. preservandolo e migliorandolo oppure peggiorandolo ulteriormente).

2.5 Il ruolo delle nuove tecnologie

Se questi sono i problemi che l'educazione deve fronteggiare che tipo di strumenti nuovi ci occorrono?

Innanzitutto ci occorrono nuovi strumenti, nuove tecnologie che ci permettano di integrare l'apprendimento basato sul linguaggio con forme di apprendimento basate sulla manipolazione della realtà (reale o simulata)

Ci occorrono degli strumenti potenti ed aperti che possano essere utilizzati in un gran numero di campi e situazioni diverse.

Infine, ci occorrono degli strumenti adatti a gestire quelle realtà (i sistemi dinamici complessi) che non possono essere trattate e comprese esclusivamente con il linguaggio ed il ragionamento.

3.0 Dal Logo ai Lego-Mindstorms

Il Logo (Papert, 1980) è probabilmente l'ambiente di apprendimento su computer oggi maggiormente diffuso benché sia stato sviluppato già da molti anni. Questo enorme successo può essere spiegato considerando le sue caratteristiche fondamentali. Si tratta di un sistema aperto che può essere utilizzato per l'apprendimento di argomenti diversi. Inoltre è un ambiente che incoraggia una forma di apprendimento attivo basata su prove ed errori.

Il Logo stesso è, nelle intenzioni dell'autore, un sistema aperto. Ciò ha facilitato il processo di progressiva trasformazione e estensione che lo ha investito negli anni successivi alla sua creazione. In questa sezione, descriveremo una serie di nuovi strumenti che possono essere descritti come delle estensioni dell'idea originale e dei tentativi di superarne le limitazioni.

L'obiettivo originario che portò allo sviluppo del BASIC e del Logo fu il tentativo di portare le conoscenze e le potenzialità sviluppatesi nell'ambito dell'Informatica e

dell'Intelligenza Artificiale alla portata di tutti inclusi i bambini (Papert, 1994). A questo scopo John Kemeny (che creò il BASIC) e Seymour Papert (il creatore del Logo) cercarono rendere il linguaggio dei computer più simile al linguaggio naturale (al linguaggio che usiamo per comunicare nella vita di tutti i giorni). Nel caso del Logo tuttavia, nel tentativo di rendere il sistema il più possibile vicino alle conoscenze già acquisite dai suoi utilizzatori, venne introdotto anche un elemento nuovo: la tartaruga. L'utente del Logo, infatti, non cerca di programmare un computer ma un piccolo animale artificiale (la tartaruga appunto) che è in grado di recepire una serie di semplici istruzioni (ad es. gira a destra di X o vai avanti di Y). Nelle intenzioni originarie la tartaruga doveva essere solo una metafora e aveva semplicemente lo scopo di semplificare la familiarizzazione dell'utente con il linguaggio. Ma l'idea, come vedremo, nascondeva qualcosa di più profondo. Per questa ragione, nelle estensioni del Logo sviluppate successivamente, la tartaruga virtuale è diventata sempre più simile ad una tartaruga vera.

3.1 Dalla metafora alla realtà

Descrivere la tartaruga del Logo come un animale artificiale offre una serie di vantaggi. Ci fa intuire immediatamente che la tartaruga può muoversi (girando o andando dritta) ha una faccia e quindi una direzione di movimento preferenziale, può ripetere una stessa sequenza di movimenti un certo numero di volte (proprio come fanno gli animali veri). In altre parole l'oggetto che vediamo sullo schermo ci risulta subito familiare perché ha delle analogie con le tartarughe reali che già conosciamo.

L'analogia tuttavia si ferma qui. La tartaruga virtuale del Logo non ha un vero corpo, non si può toccare, non si può accarezzare. Inoltre, la tartaruga virtuale non si accorge di quello che le sta intorno. Non ha occhi né orecchie. Anche il suo modo di muoversi è piuttosto insolito visto che può spostarsi istantaneamente da un punto all'altro anche molto distante, può compiere un angolo di 90 gradi esatti o spostarsi in avanti di 123 millimetri. Pur nascendo in alternativa alla matematica dunque, in realtà la tartaruga del Logo è uno strumento di precisione. In qualche modo è un agente astratto, una matematica resa più attraente attraverso un travestimento. Infine, la tartaruga del Logo non ha un padre e una madre e neppure incontra mai altre tartarughe. Ha una vita solitaria e svolge i propri lavori sempre da sola.

Il passo successivo ovvio è quello di rendere questa tartaruga ancora più concreta e reale, ancora più simile al mondo reale dei bambini. Ciò può essere fatto: (1) dotando questa tartaruga di occhi (cioè di sensori) e di zampe più realistiche; (2) facendo vivere la tartaruga in mondo popolato da altre tartarughe (facendone cioè un animale sociale); (3) dotando la tartaruga di un corpo vero (che si possa toccare e eventualmente smontare e rimontare per vedere cosa c'è dentro).

Questi tre passi sono stati compiuti nel mondo della didattica e nel mondo della ricerca quasi contemporaneamente. Nel campo della didattica hanno portato alle nuove versioni del Logo (il Lego/Logo e lo *Logo) sviluppate presso il Massachusetts Institute of Technology di Boston (MIT) da Papert e Resnick e poi allo sviluppo di LEGO Mindstorms, la nuova linea di robot giocattolo sviluppata sempre all'MIT in collaborazione con la Lego. Nel campo della ricerca di base questi passi hanno portato allo sviluppo di nuove filoni di ricerca come la Vita Artificiale e la robotica bio-ispirata (se veda Parisi, in stampa)

3.2 Il Lego/Logo

Come abbiamo detto sopra, nella versione standard del Logo la tartaruga non si accorge di quello che gli sta intorno. Nel Lego/Logo (Martin e Resnick, 1993) invece, la tartaruga è dotata di sensori mediante i quali può registrare lo stato del mondo intorno a se. I sensori

possono essere di diverso tipo. I sensori di contatto ad esempio sono in grado di segnalare se la tartaruga sta toccando qualche altro oggetto. I sensori luminosi invece segnalano l'intensità della luce nell'ambiente circostante.

Nel caso del Logo la tartaruga si muove eseguendo delle istruzioni di tipo geometrico (avanza di X, poi girati di Y, poi di nuovo avanza di Z ecc. ecc.). Di conseguenza possiamo definire la tartaruga del Logo una *tartaruga geometrica* anche se essa segue le regole di una geometria 'computazionale' diversa sia dalla geometria euclidea che da quella algebrica (Papert, 1980). La tartaruga geometrica si sposta eseguendo una istruzione o una sequenza di istruzioni (un programma) che producono sempre lo stesso risultato.

La tartaruga del Logo/Logo è invece una *tartaruga cibernetica*. Il punto di partenza in questo caso sono lo stato dei sensori (vale a dire una informazione che viene dall'ambiente esterno). Il programma ad es. può consistere nell'istruzione gira a destra se il sensore luminoso di destra è meno attivato di quello di sinistra. Il comportamento della tartaruga cibernetica non segue quindi uno schema predefinito. Così come negli organismi naturali, il comportamento emerge dall'interazione tra il 'programma' e l'informazione proveniente dal mondo esterno.

Consideriamo ad es. di voler programmare una tartaruga a fare il perimetro di una scatola quadrata. Se seguiamo il metodo geometrico quello che possiamo fare è misurare la larghezza della scatola e poi scrivere il programma seguente:

```
REPEAT 4
  FORWARD X
  RIGHT 90
END
```

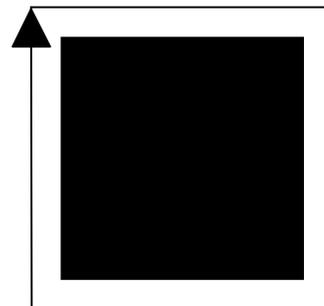


Figura 4. Tartaruga geometrica. Le istruzioni sulla sinistra consistono nella ripetizione (per quattro volte) dei comandi avanza di X (dove X dipende dalla larghezza della scatola) e gira a destra di 90 gradi. Il comportamento risultante della tartaruga è visualizzato sulla destra. Il quadrato nero rappresenta la scatola, il triangolo rappresenta la posizione finale della tartaruga e le linee rappresentano la traiettoria effettuata.

Nella vita di tutti i giorni tuttavia non useremmo una strategia di questo tipo. Se il nostro obiettivo è girare intorno ad una scatola non eseguiamo certo una sequenza di azioni analoga a quella descritta sopra dopo aver misurato la larghezza della scatola. Quello che faremmo è regolare i nostri movimenti in modo tale da avere il perimetro della scatola sempre ad una certa distanza sulla nostra destra (o sinistra) girando a sinistra quando il perimetro si avvicina e a destra quando si allontana. Questo è esattamente il modo in cui possiamo risolvere il problema utilizzando la tartaruga cibernetica del Logo/Logo:

TEST LEFT SENSOR RIGHT SENSOR
IFYES[LEFT 10]
IFNO[RIGHT 10]
FOWARD 5

Figura 6. Questa sequenza di istruzioni può essere usata per programmare una tartaruga dotata di due sensori di luminosità (uno posto sul lato destro e uno posto sul lato sinistro) a raggiungere una fonte luminosa. La prima istruzione verifica se il sensore luminoso di sinistra è più attivo di quello di destra. Nel caso ciò si verifichi viene eseguita l'istruzione indicata nella seconda riga (gira a sinistra di 10 gradi) altrimenti viene eseguita l'istruzione contenuta nella terza riga (gira a destra di 10 gradi). In entrambi i casi viene poi eseguita l'istruzione contenuta nella quarta riga (vai avanti di 5).

Seguendo questo semplice programma la tartaruga correggerà ogni volta la rotta deviando a destra se la luce viene da destra o sinistra se la luce viene da sinistra (se la luce si trova esattamente al centro la tartaruga devierà a destra ma la volta successiva correggerà di nuovo la rotta).

Si noti come il programma non contenga una rappresentazione esplicita della posizione della luce (così come il programma descritto nella Figura 5 non contiene una rappresentazione esplicita della forma e della dimensione della scatola). Il programma 'sa' solo se la luce si trova a destra o sinistra e non di quanto. Nonostante questo, il modo cibernetico di risolvere il problema è più generale del modo geometrico descritto prima. La tartaruga cibernetica, ad es., non avrà nessuna difficoltà a raggiungere una fonte luminosa in movimento al contrario della tartaruga geometrica.

Uno degli aspetti più interessanti dal nostro punto di vista è che il Lego/Logo è un sistema aperto nel senso che consente all'utente sia di procedere utilizzando un approccio geometrico sia utilizzando un approccio cibernetico. L'utente è libero di scegliere l'approccio che gli è più congeniale oppure l'approccio che è più adatto al problema da trattare. Sarà compito dell'insegnante quello di mostrare che due approcci alternativi sono possibili. La comparazione tra i due diversi approcci può infatti contribuire sia ad una comprensione più profonda del problema trattato sia allo scoperta di un nuovo modo di procedere che potrà essere utilizzato per risolvere altri tipi di problemi.

A questo proposito è interessante osservare che la maggior parte delle persone, posta di fronte a questo tipo di problema, tende a risolverlo utilizzando l'approccio geometrico sebbene, come abbiamo visto, l'approccio cibernetico si dimostri più semplice ed efficace. Ci sono varie ragioni che spiegano questo tipo di preferenza.

Un primo fattore è la mancanza di familiarità con strategie di tipo cibernetico. La gente non è abituata a pensare in modo cibernetico. La scuola, la cultura e la società attuale ci mostrano quasi esclusivamente strategie di tipo geometrico. Un secondo fattore è la tendenza a considerare le soluzioni di tipo astratto o geometrico superiori rispetto alle soluzioni di tipo pratico-cibernetico. In realtà invece, come abbiamo visto, ci sono vantaggi e svantaggi. Le soluzioni di tipo geometrico- astratto non sono in grado di adattarsi a situazioni nuove (quando qualcosa va storto gli effetti sono di solito catastrofici). Le soluzioni di tipo cibernetico sono invece in grado di adattarsi a situazioni nuove (sono cioè più robuste). Tuttavia le soluzioni di tipo cibernetico sono anche meno predicibili e controllabili (in alcuni casi, quando per es. si deve commercializzare un prodotto garantendone il funzionamento corretto, questo può essere un problema serio). Una terza ragione è che le soluzioni di tipo geometrico astratto possono essere elaborate a tavolino (basta un foglio e una penna) e solo alla fine vengono tradotte in qualcosa di concreto. Un ponte o un palazzo, ad es., vengono prima progettati utilizzando metodi formali (mappe, formule matematiche e altro) e solo alla fine di tale processo l'opera viene costruita. Il comportamento dei sistemi cibernetici, invece, non può essere previsto a tavolino (se non in casi estremamente semplici come quello descritto sopra). I sistemi

cibernetici sono sistemi dinamici complessi il cui comportamento è una proprietà emergente dell'interazione tra il sistema e l'ambiente esterno. Di conseguenza essi devono essere costruiti in modo incrementale verificando di volta in volta il loro comportamento. Fino ad ora sono mancati gli strumenti per costruire sistemi di questo tipo. Ora, questi strumenti stanno diventando disponibili su larga scala, sia nel mondo della ricerca che in quello della didattica.

3.3 Lo *Logo

In questi esempi sviluppati in Lego/Logo abbiamo visto come la soluzione di un problema può venire dall'interazione tra un agente (la tartaruga) e il suo ambiente esterno. Come abbiamo visto le soluzioni di questo tipo (che abbiamo chiamato di tipo cibernetico) sono qualitativamente diverse da quelle di tipo geometrico. In generale sono soluzioni semplici che sfruttano la ricchezza dell'ambiente esterno.

Qualcosa di analogo succede quando un problema viene risolto da un gruppo di agenti (diciamo un gruppo di tartarughe) che interagiscono tra di loro. Anche in questo caso quello che succede è il risultato di una serie di interazioni (in questo caso l'interazione tra le diverse tartarughe e tra le tartarughe e l'ambiente esterno). Di conseguenza: (1) un problema apparentemente complesso può venire risolto utilizzando una strategia semplice sfruttando l'interazione di ogni singola tartaruga con le altre tartarughe e con l'ambiente esterno; (2) poiché il comportamento complessivo della popolazione di tartarughe è il risultato dell'interazione tra un gran numero di tartarughe tra di loro e tra ogni tartaruga e l'ambiente esterno non è facile immaginare il comportamento risultante osservando il comportamento di ciascun agente.

Per studiare le implicazioni di questo tipo di problemi dal punto di vista dell'educazione Resnick ha sviluppato una estensione del Logo detta *Logo (Star Logo) in cui è possibile gestire un grande numero di tartarughe contemporaneamente (Resnick, 1994, 1996). Oltre a questo, lo *Logo consente l'uso di una maggiore varietà di sensori rispetto al Logo e lo sviluppo di ambienti dinamici (l'ambiente viene modellato come una griglia di oggetti che pur essendo immobili possono cambiare il loro stato in base allo stato corrente e allo stato delle celle vicine).

Le potenzialità dello *Logo si evincono bene da un esempio riportato dallo stesso Resnick. Un gruppo di studenti di un Liceo degli Stati Uniti sono stati invitati a realizzare degli esperimenti di loro interesse con lo *Logo. Due di questi, particolarmente interessati alla guida in quanto prossimi alla patente, hanno deciso di simulare il traffico (il movimento di un certo numero di automobili in un ambiente di tipo stradale).

Per cominciare i due studenti hanno preso in considerazione il caso di una singola strada in cui un certo numero di tartarughe-automobili si spostano da sinistra verso destra. Lungo la strada è posto un rilevatore di velocità che le automobili sono in grado di rilevare ad una certa distanza. L'obiettivo degli studenti era quello di andare a verificare se tale rilevatore di velocità (provocando una diminuzione della velocità delle automobili) provocasse un aumento conseguente del traffico.

Le tartarughe-automobili vennero programmate utilizzando due semplici regole: (1) aumenta la velocità fino ad una velocità massima se non ci sono auto di fronte a te e riduci la velocità in caso contrario; (2) riduci la velocità quando ti accorgi della presenza di un rilevatore di velocità. Una volta stabilite le regole del gioco gli studenti osservarono il comportamento risultante delle macchine e, come prevedevano, osservarono la formazione di un ingorgo in prossimità del rilevatore di velocità. Questo primo esperimento quindi non fu di per se particolarmente interessante. Tuttavia, avendo costruito un modello del traffico, gli studenti disponevano ora di uno strumento flessibile attraverso il quale potevano immaginare

situazioni diverse, fare nuove previsioni, e poi verificarne la correttezza attraverso nuovi esperimenti.

Gli studenti, infatti, condussero altri esperimenti. Decisero, ad esempio, che solo una certa percentuale delle automobili (il 25%) fosse in grado di accorgersi della presenza del rilevatore di velocità. Modificarono le regole delle tartarughe-automobili e osservarono il risultato. Il livello del traffico rimase costante. Questo secondo esperimento fu più interessante perché il risultato non era poi così scontato. Poi decisero di fare ancora un'altra prova. Cosa sarebbe successo se il rilevatore di velocità fosse stato rimosso? Gli studenti, sollecitati a fare una previsione, risposero tutti che il traffico sarebbe scomparso e le auto si sarebbero mosse a velocità costante. Ma il nuovo esperimento mostrò esattamente il contrario. Osservando il comportamento delle auto sullo schermo del computer si osservava che, dopo un po' di tempo, si formavano degli ingorghi di automobili anche in questo caso.

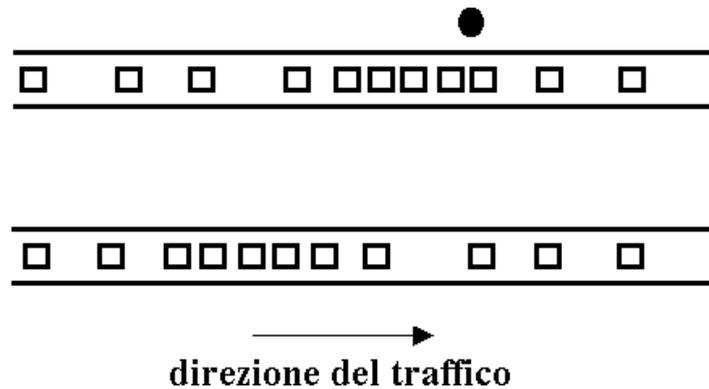


Figura 7. La figura in alto mostra un ingorgo in prossimità di un rilevatore di velocità. La figura in basso mostra un ingorgo originatosi su una strada sprovvista di rilevatore di velocità. Le linee orizzontali rappresentano le due strade, i quadratini rappresentano le tartarughe-automobili, il cerchio pieno rappresenta il rilevatore di velocità.

Anche dopo aver osservato il formarsi dell'ingorgo sullo schermo molti studenti avevano difficoltà ad accettare il risultato. Il fatto che il traffico si producesse senza una causa esterna sembrava inspiegabile. In realtà la circolazione automobilistica è un sistema dinamico complesso e il traffico è una proprietà che emerge dalle interazione tra le diverse macchine. Non c'è quindi nessuna causa esterna. Dopo una serie di ulteriori esperimenti gli studenti hanno osservato che l'unico modo per evitare il formarsi di ingorghi consiste nel posizionare inizialmente le automobili tutte alla stessa distanza una dall'altra. Solo in questo modo gli ingorghi non si formano, ma si tratta di una situazione impensabile nel mondo reale. Come nel caso del modello di Lorenz che abbiamo descritto nella sezione 2, piccole irregolarità nella distribuzione delle auto all'inizio della strada possono provocare effetti consistenti (ingorghi).

Le sorprese non finirono qui. Osservando il comportamento delle macchine sullo schermo gli studenti osservarono che l'ingorgo si muoveva a ritroso. Questo comportamento emergente non poteva essere predetto e anzi può apparire piuttosto sorprendente visto che le macchine si muovono in avanti.

E' opportuno notare, come osserva Papert (1994), che l'apprezzamento del comportamento emergente da parte di questi studenti è dovuto, in buona misura, al fatto che loro stessi hanno programmato il comportamento delle macchine in questo modello. Se gli studenti fossero stati posti di fronte a un modello già fatto, non avrebbero apprezzato a pieno il fenomeno visto che non avrebbero avuto un quadro ugualmente chiaro della struttura del modello. Inoltre, avrebbero probabilmente sospettato che il modello fosse stato costruito sapientemente proprio per produrre quel tipo di comportamento. In realtà, invece, qualsiasi

sistema che sia assimilabile a un sistema dinamico complesso produce comportamenti emergenti sorprendenti.

3.4 Lego-Mindstorms

La tartaruga del Logo, dopo aver acquisito un corpo virtuale (dotato di sensori e di motori), ha recentemente acquisito un corpo vero e proprio fatto di mattoncini di plastica, ruote meccaniche e di componenti elettronici. Questo passo ulteriore nella trasformazione della metafora di Papert in realtà è stato compiuto attraverso una collaborazione tra l'MIT e la Lego (l'industria danese famosa per i mattoncini da costruzione). Le ricerche svolte da Seymour Papert, Mitchel Resnick e altri presso l'MIT hanno portato allo sviluppo di un prototipo che poi è stato trasformato in un prodotto commerciale denominato Lego-Mindstorms che è già disponibile negli Stati Uniti e in Canada e che presto sarà commercializzato anche in Italia.

L'idea di fondo è sempre quella di fornire degli strumenti aperti. Con questi nuovi strumenti i bambini possono costruire una tartaruga vera dotata di ruote e di sensori e scrivere un programma in stile Lego/Logo per farla muovere. Ma se lo desiderano possono anche costruire una casa animata, una fabbrica automatizzata o qualsiasi altra cosa.

Ad una prima occhiata questi nuovi prodotti si presentano come una normale scatola di costruzioni contenente pezzi di tipo diverso: mattoncini, ruote, ingranaggi ecc. ecc. Insieme a questi pezzi però viene fornito un pezzo più grande che consiste in un piccolo microcomputer autonomo. 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). Questo microcomputer 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 microcomputer è dunque analogo al sistema nervoso di un organismo naturale in quanto riceve informazioni dall'ambiente esterno attraverso i sensori, elabora queste informazioni, e produce delle risposte motorie. 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 poi viene 'scaricato' nel microcomputer attraverso una torretta a raggi infrarossi.

L'idea di fondo è che i bambini o i ragazzi procedano per prove ed errori attraverso la ripetizione continua di una serie di fasi: (1) essi costruiscano il corpo del loro robot e il suo ambiente utilizzando i pezzi base, i sensori, i motori, e il microcomputer; (2) sviluppino il programma di controllo al computer tenendo conto del corpo del robot, del suo ambiente, e del comportamento che vogliono ottenere; (3) una volta trasferito il 'programma' sul microcomputer osservano il comportamento risultante del robot. A questo punto i bambini possono decidere di fare dei cambiamenti sul corpo del robot, nell'ambiente, o sul programma di controllo ripetendo il ciclo più volte. Ogni ripetizione di questo processo è un nuovo esperimento attraverso il quale i bambini possono verificare le loro previsioni osservando il comportamento risultante.

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 che apprendono

Nella sezione precedente abbiamo visto come attraverso la costruzione di agenti (virtuali o reali) gli utenti possono acquisire una vasta gamma di conoscenze e possono familiarizzarsi con quei sistemi che rientrano nella categoria dei cosiddetti sistemi dinamici complessi. L'approccio seguito negli esempi che abbiamo descritto è un approccio costruzionista. In altre parole l'utente cerca di sviluppare un sistema (un organismo con un corpo dotato di sensori e motori, un programma di controllo e un ambiente) che produca un comportamento desiderato. Tale sistema produrrà di norma un comportamento diverso da quello desiderato e di conseguenza l'utente procede per approssimazioni progressive modificando i vari elementi del sistema. In ogni caso, per raggiungere l'obiettivo richiesto l'utente deve essere in grado, prima o dopo, di definire tutti gli elementi del sistema in modo corretto.

Questo approccio totalmente costruzionista può entrare in crisi in quei casi in cui l'utente entra in una situazione di stallo (vale a dire osserva una discrepanza tra il comportamento ottenuto e quello desiderato ma non ha idea di come modificare il sistema in modo tale da ridurre tale discrepanza). Naturalmente si può immaginare che l'insegnante, se presente, può aiutare lo studente ad superare queste situazioni di blocco. Tuttavia occorre considerare che tale modo di procedere di fatto limita le potenzialità di questi ambienti di apprendimento che, come abbiamo visto, cercano di limitare al massimo il trasferimento di conoscenze astratte dal docente al discente. Oltre a questo occorre considerare che, in alcuni casi, anche l'utente esperto (l'insegnante) potrebbe non essere in grado di risolvere un problema specifico.

Consideriamo di nuovo il caso dei sistemi dinamici complessi. In questi sistemi, come abbiamo visto, il comportamento complessivo del sistema è il risultato dell'interazione tra un certo numero di elementi. Nei sistemi di questo tipo è difficile immaginare quale è l'effetto di una modifica di un elemento del sistema sul comportamento complessivo risultante. Ciò implica che, allo stesso modo, è difficile immaginare quale cambiamento deve essere effettuato allo scopo di ottenere un certo comportamento complessivo desiderato.

Facciamo un paio di esempi concreti. Immaginiamo di voler 'costruire' dei bravi giocatori di borsa. L'andamento dei titoli in un sistema borsistico è il risultato delle decisioni prese da un gran numero di investitori che a loro volta sono influenzate dalle scelte degli altri investitori e dall'andamento di altre condizioni ambientali (politiche, economiche ecc.). In questo tipo di sistema è difficile immaginare quale è l'effetto sull'andamento dei titoli di un cambiamento di strategia da parte di un singolo investitore o di un gruppo di investitori. Ciò implica che, allo stesso modo, è difficile immaginare come cambiare la strategia del giocatore di borsa che stiamo costruendo allo scopo di fargli guadagnare più soldi. Una cosa analoga può accadere se cerchiamo di costruire un robot in grado di svolgere un certo compito. Il comportamento del robot dipende dall'interazione di una serie di fattori (il corpo del robot, la posizione dei sensori e dei motori, il 'programma' di controllo, l'ambiente esterno). In un sistema di questo tipo è difficile immaginare quale è l'effetto di un singolo cambiamento in una di queste componenti. Di conseguenza è anche difficile immaginare quale cambiamento effettuare allo scopo di produrre un comportamento risultante più simile a quello desiderato. In altre parole, quei sistemi che rientrano nella categoria dei sistemi dinamici complessi, possono essere difficili da 'costruire' anche attraverso un processo di approssimazione progressiva.

Per ovviare a questo tipo di problema si possono sviluppare dei sistemi in grado apprendere o, in altre parole, di autorganizzarsi (per un approfondimento di questo aspetto dal punto di vista della ricerca in robotica si veda Nolfi, 1998; Nolfi e Floreano, in stampa).

4.1 Allevare robot

L'Istituto di Psicologia del C.N.R. di Roma e il LEGO-Lab dell'Università di Aarhus (Danimarca) stanno cercando di realizzare ambienti di apprendimento con i Robot LEGO-Mindstorms descritti precedentemente in cui siano integrate forme di autorganizzazione. Un primo prototipo denominato Toybot (Lund e al., 1998) consente di 'allevare' robot selezionando quelli che producono il comportamento più vicino a quello desiderato oppure semplicemente quelli che l'utente ritiene più interessanti. In altre parole Toybot consente all'utente di sviluppare il sistema di controllo (il 'programma') per un robot LEGO senza doverlo programmare.

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 ciascun 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:

(1) l'utente sceglie quel o quei robot che, a suo giudizio, hanno prodotto il comportamento migliore.

(2) 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 vero e proprio e osservato nell'ambiente reale.

Si noti come questo modo di procedere basato sull'autorganizzazione presenti sia delle somiglianze sia delle differenze rispetto al metodo costruzionista descritto precedentemente. In entrambi i casi lo sviluppo di un sistema avviene attraverso un processo per prove ed errori. Nel caso dell'approccio costruzionista l'utente costruisce un sistema prevedendo un certo comportamento risultante, osserva il comportamento effettivo, effettua delle modifiche per cercare di ridurre la discrepanza tra il comportamento desiderato e quello osservato e procede con ulteriori osservazioni e ulteriori modifiche. Analogamente, nel caso dell'approccio basato sulla selezione guidata, l'utente modifica progressivamente il sistema selezionando quegli individui che hanno ricevuto modifiche 'buone', cioè modifiche che hanno prodotto il comportamento risultante migliore. Questo processo per approssimazioni successive ha una importanza fondamentale dal punto di vista educativo in quanto, attraverso la manipolazione della realtà e l'osservazione delle conseguenze, l'utente ha la possibilità di acquisire una conoscenza profonda del sistema che sta manipolando.

La differenza tra i due modi di procedere sta fondamentalmente nel numero di cambiamenti introdotti e nel modo in cui tali cambiamenti vengono introdotti. Nel caso dell'approccio costruzionista i cambiamenti vengono introdotti dall'utente sulla base di sue aspettative. L'utente fa una previsione riguardo al sistema che sta studiando, sulla base di questa previsione effettua un cambiamento sul sistema e infine osserva le conseguenze di tale cambiamento che possono confermare o meno la sua previsione. Nel caso dell'approccio basato sull'autorganizzazione l'utente perde il controllo sui cambiamenti (che vengono introdotti dal computer). D'altra parte, in questo secondo caso l'utente è in grado di valutare l'effetto di un numero maggiore di cambiamenti (considerato che viene liberato dal costo di doverli effettuare lui stesso e che può sfruttare la potenza di calcolo del computer).

Un'altra differenza da considerare riguarda il tipo di cambiamenti introdotti. Nell'approccio costruzionista l'utente tenderà ad introdurre modifiche che, in base alle sue conoscenze precedenti, hanno una certa probabilità di produrre un effetto desiderato. L'approccio basato sull'autorganizzazione invece introduce modifiche indipendenti dalle conoscenze dell'utente. Da questo punto di vista questo secondo approccio è più aperto verso la scoperta di nuove conoscenze.

Appendice

Il software Logo può essere scaricato via Internet dal sito: <http://www.softronix.com>

Il software *Logo può essere scaricato dal sito: <http://el.www.media.mit.edu/groups/el/Projects/starlogo/> dove si possono ottenere anche ulteriori informazioni.

Per maggiori informazioni riguardo robot LEGO-Mindstorms si veda il sito: <http://www.legomindstorms.com>

Maggiori informazioni riguardo ai Robot in grado di apprendere possono essere ottenute dai seguenti siti:

<http://kant.irmkant.rm.cnr.it/gral.html> e <http://www.daimi.au.dk/~hhl/>

Bibliografia

Cleik J. (1987). *Caos*. Milano: Rizzoli.

Harnad, S. (1990). Symbol grounding problem, *Physica D*, 42: 335-464.

Kirsh D. (1995). The intelligent use of space. *Artificial Intelligence*, 72:1-52.

Lorenz, M.S. (1963). Deterministic nonperiodic flow. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 20:130-141.

Lund H.H., Miglino O., Pagliarini L., Billard A., Ijspeert A. (1998). Evolutionary Robotics - A children's game, In *Proceedings of IEEE 5th International Conference on Evolutionary Computation*. IEEE Press.

Martin F., Resnick M. (1993). LEGO/Logo and electronic bricks: Creating a scienceland for children, in D.L. Ferguson (Ed.) *Advanced Educational Technologies for Mathematics and Science*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg

Miglino O., Lund H.H., Cardaci M. (in stampa) Robotics as an educational tool., *Journal of Interactive Learning Research*

Nolfi S. (1998). Evolutionary Robotics: Exploiting the full power of self-organization. *Connection Science*, (10) 3-4, 167-183

Nolfi S., and Floreano D. (in stampa). *Evolutionary Robotics: Exploiting the power of self-organization*. Cambridge, MA: MIT Press

Papert S. (1980). *Children, Computers, and Powerful Ideas*. New York: Basic Books.

Papert S. (1994). *I Bambini e il Computer*. Milano: Rizzoli.

Papert S. (1986). Constructionism: A new opportunity for elementary science education. A *Proposal to the National Science Foundation*.

Parisi D. (1997). Imparare dalle parole o imparare dalla realtà (simulata)? *Rapporto Tecnico*, Roma: Istituto di Psicologia del C.N.R.

Parisi D. (in stampa). *La Mente*. Bologna: Il mulino.

Resnick, M. (1994). *Turtles, Termites, and Traffic Jams: Explorations in Massively Parallel Microworlds*. Cambridge, MA: MIT Press.

Resnick, M. (1996). Beyond the Centralized Mindset. *Journal of the Learning Sciences*. (5) 1:1-22.

Sharkey, N.E. (1997) The new wave in robot learning. *Robotics and Autonomous Systems*. 22, 179-186.