

Costruire e programmare robot

Un'esperienza pilota di valutazione delle abilità cognitive coinvolte nel processo di costruzione e programmazione comportamentale di robot

■ **Barbara Caci, Antonella D'Amico, Maurizio Cardaci**

Dipartimento di Psicologia, Università degli Studi di Palermo
{bcaci, adamico, cardaci}@unipa.it

INTRODUZIONE

Negli scenari riguardanti le nuove tecnologie didattiche sta progressivamente acquistando un posto di rilievo la *robotica educativa*. Tale termine designa una varietà di esperienze formative, ispirate ai principi teorico-metodologici del costruttivismo [Piaget e Inhelder, 1966; Papert, 1980, 1986; Resnick et al, 1988] e della *embodied cognition* [Clark, 1997], e basate sull'impiego di Robotic Construction Kit come strumenti di apprendimento. I Robotic Construction Kit sono scatole commerciali (Fischertechnik® Mobile Robots, LEGO® RoboLab™, LEGO® MINDSTORMS™, ecc.) che consentono di costruire e programmare organismi artificiali, caratterizzati da un apparato *senso-motorio* e da un *cervello* capaci di eseguire svariati repertori comportamentali nell'ambiente [Miglino et al, 1999]. Gli elementi *hardware* e *software* di tali kit trasferiscono la cognizione in artefatti concreti, offrendo ai soggetti, nella fase di progettazione ed implementazione del robot, la possibilità di generare veri e propri "modelli mentali incorporati" o di usare "oggetti-con-cui-pensare" (*object-to-think-with*) [Papert, 1980, 1986]. In altre parole, i Robotic Construction Kit favoriscono la messa in atto di una sorta di costruttivismo "pratico", nel quale la risoluzione di problemi, legata all'obiettivo di assicurare l'adattamento all'ambiente da parte del robot, si intreccia con l'apprendimento di concetti scientifici, sostenuto da "impalcature" reali (*scaffolding*) [Vygotsky, 1962]. L'efficacia dei Robotic Construction Kit nella didattica è stata dimostrata attraverso esperienze di robotica

educativa condotte in istituti universitari [Martin, 1992, 1994; Lund, 1999] e scolastici [Järvinen, 1998]. Tali esperienze hanno utilizzato situazioni del tipo *hands-on* [Resnick, 1988, 1989, 1994; Kafai e Resnick, 1996] nelle quali il soggetto, lavorando in assoluta autonomia, si trova ad affrontare un preciso compito di *problem-solving*. Una delle prime esperienze *hands-on* di robotica educativa con kit LEGO si deve a Martin (1992, 1994). Piccoli gruppi di studenti universitari di ingegneria ed informatica dovevano costruire e programmare un agente intelligente, capace di compiere un percorso e di evitare alcuni ostacoli. L'interesse per l'uso didattico dei Robotic Construction Kit nel processo d'acquisizione di concetti legati all'intelligenza e alla vita artificiale è confermato dalle ricerche di Lund (1999) basate sui robot Khepera¹. Per ciò che concerne l'ambito scolastico, Järvinen (1998) ha utilizzato con successo l'ambiente di apprendimento LEGO/Logo come strumento didattico e cooperativo con gruppi di bambini di 11-12 anni. In particolare, la sua esperienza si avvaleva di robot per favorire l'apprendimento di nozioni tecnico-matematiche (frizione, rapporti di trasmissione, sistema decimale, e così via).

OBIETTIVI DELLA RICERCA

I contributi menzionati sopra dimostrano, a vario titolo, l'efficacia della robotica in situazioni didattiche, ma non forniscono indicazioni specifiche sulle abilità cognitive che entrano in gioco quando si programma e costruisce un robot. Tenuto conto che si tratta di *dare forma* a un corpo e, al con-

¹ I Khepera sono piccoli robot mobili, programmabili in linguaggio C, con otto sensori sensibili agli infrarossi e alla luce e due motori indipendenti.

tempo, di *pensarne* le possibili azioni, è probabile che siano coinvolte diverse abilità cognitive: da quelle senso-motorie e visuo-costruttive (riferibili al manipolare, aggiustare, connettere fisicamente gli elementi secondo precise configurazioni spaziali) fino ai processi di ragionamento (deduttivo/induttivo), di *problem-solving* e di *decision-making*, legati all'assegnazione di adeguati repertori comportamentali agli agenti. Da simili considerazioni scaturisce la presente ricerca, finalizzata ad una prima esplorazione delle abilità cognitive richieste nella realizzazione di robot.

METODO

Hanno partecipato alla ricerca dieci allievi (età media 11 anni), selezionati mediante sorteggio dalle classi seconde della Scuola Media maschile "Altavilla" di Palermo. L'intero gruppo è stato quindi suddiviso casualmente in due sottogruppi, composti ognuno da cinque soggetti. In realtà, solo nove ragazzi hanno preso parte all'esperienza (uno ha preferito non partecipare dichiarando la propria difficoltà a "lavorare in gruppo"). L'esperienza si è svolta nel corso di 12 incontri (ciascuno di un'ora e mezzo), realizzati con cadenza bisettimanale (tra Aprile e Maggio 2002) e articolati in tre fasi principali: 1) valutazione del profilo cognitivo di ciascun soggetto; 2) costruzione del robot; 3) programmazione comportamentale del robot.

Valutazione del profilo cognitivo

Sono state esaminate individualmente le seguenti abilità cognitive:

- Intelligenza logico-percettiva (Matrici Progressive Colorate);
- Abilità visuo-costruttive (Reattivo della Figura Complessa su Copia);

- Intelligenza logico-operatoria (S.A.V.I.O., Sistema Automatizzato di Valutazione dell'Intelligenza Operatoria).

La prova delle *Matrici Progressive Colorate (PM47)* di Raven (1947) è un test "culture free", diffusamente utilizzato, che consente di valutare il funzionamento intellettuale mediante una serie di compiti non verbali. Il soggetto deve completare un disegno scegliendo la tessera giusta tra sei alternative proposte. Alcune prove prevedono che l'identificazione della tessera mancante avvenga attraverso l'utilizzo di competenze percettive (ad esempio, forma e colore), altri invece richiedono di individuare la tessera corretta secondo criteri logici. Al bambino vengono proposte 36 schede; il punteggio grezzo massimo è uguale a 36 ed il minimo è uguale a 0. Ai nostri fini, per ogni soggetto abbiamo calcolato la percentuale di risposte corrette.

Il noto *Reattivo della Figura Complessa su Copia* di Rey (1968) consiste nella presentazione di una figura geometrica complessa, con la consegna di riprodurla su un foglio bianco non rigato. La prova viene valutata assegnando un punteggio da 1 a 36 a seconda che la figura riprodotta contenga tutti gli elementi della figura originaria e che questi siano collocati nell'adeguata posizione spaziale. Anche in questo caso, è stata calcolata la percentuale di risposte corrette di ogni soggetto.

S.A.V.I.O. [D'Amico et al, 2001] è un sistema implementato su supporto informatico per la valutazione delle abilità logico-operatorie in pre-adolescenti e adolescenti. Il sistema esamina le seguenti abilità: calcolo combinatorio (il soggetto deve eseguire varie procedure di ordinamento sistematico di n elementi); ragionamento probabilistico (il soggetto deve operare confronti numerici fra vari tipi di frazioni); ragionamento de-

		PM 47 %	REY %	SAVIO CC %	SAVIO RP %	SAVIO RD %	MEDIA %	Media G1 77%
GRUPPO 1	A. C.	92	92	62	100	50	79	
	F. G.	94	87	50	62	62	71	
	G. T.	94	79	37	100	87	79	
	M. C.	83	89	75	62	62	74	
	S. M.	89	75	62	100	75	80	
GRUPPO 2	C. A.	81	89	37	75	50	66	Media G2 66%
	A. E.	94	86	87	75	75	83	
	A. M.	83	74	25	50	37	54	
	F. S.	92	93	37	62	25	62	

tabella 1

Percentuali di risposte corrette ai test cognitivi.

duttivo (il soggetto deve trarre inferenze deduttive a partire da enunciati sillogistici e/o condizionali). L'intera prova include 24 problemi (8 per ogni subtest, 1 punto per ogni problema risolto correttamente). Il punteggio dei soggetti è stato calcolato in termini di percentuale di risposte corrette. I risultati ottenuti dimostrano che tutti i soggetti coinvolti nella ricerca presentano un livello cognitivo nella norma, benché si osservino [tabella 1] differenze, intra-individuali e inter-individuali, nelle percentuali di risposte corrette. Molti soggetti presentano profili disomogenei, con punteggi particolarmente bassi ad alcune prove e prestazioni elevate in altre; A.M. ottiene invece punteggi bassi in tutti i test considerati (percentuale media pari a 54), mentre il pattern opposto è mostrato da A.E. che ottiene punteggi elevati in tutti i test (percentuale media pari a 83). Considerando i risultati medi dei due gruppi, si osserva una migliore performance del Gruppo 1 (percentuale media pari a 77) rispetto al Gruppo 2 (percentuale media pari a 66).

Costruzione di Roverbot

All'assessment cognitivo è seguita la fase di familiarizzazione con i materiali hardware del Robotic Construction Kit. Ogni gruppo ha usato un kit "Robotic Invention System 2.0" della linea LEGO MindStorms, contenente mattoncini LEGO, sensori di luce, sensori di contatto, motori, ghiera, ruote, ecc., un RCX™ Microcomputer (unità di controllo centrale che supporta tre motori, tre sensori e una porta seriale di comunicazione a raggi infrarossi), un trasmettitore seriale a raggi infrarossi (che consente di effettuare il download del programma dal computer al robot), un CD-ROM con l'interfaccia di programmazione ed infine la Constructopedia™, un piccolo manuale di istruzioni che propone differenti progetti utili a costruire vari tipi di robot.

Ai partecipanti è stato inizialmente mostrato *Roverbot*, il modello finale dell'artefatto da costruire e programmare [figura 1] illustrando i vari elementi presenti nel kit (mattoncini LEGO, sensori di luce, di contatto, motori, ecc.) ed il loro funzionamento.

Il compito di costruzione dell'artefatto ha interessato i successivi tre incontri (4°-6°). I due gruppi sono stati impegnati a costruire separatamente gli elementi principali di *Roverbot*, in base alle seguenti istruzioni: "Costruisci il paraurti", "Costruisci il corpo, le ruote e il sensore di luce". La costruzione di ogni elemento prevedeva anche il collegamento elettrico tra sensori/attuatori e l'RCX. Durante l'attività di costruzione è stato utilizzato un approccio di "costruzionismo guidato" [Lund, 1999]. I ragazzi, seguendo le istruzioni contenute nella Constructopedia, hanno cooperato nell'assemblare a turno i vari elementi di *Roverbot*. Ogni soggetto è stato a turno coinvolto nella ricerca dei pezzi necessari al montaggio e nell'assemblaggio dei diversi elementi. Al fine di incrementare la comprensione degli elementi e delle funzioni del robot, in una sessione finale, ogni gruppo ha ricostruito *Roverbot*. Nella fase di ricostruzione dell'artefatto si è preferito utilizzare un approccio di "costruzionismo puro" [Lund, 1999] fornendo ai ragazzi tutti i materiali (scatola e istruzioni) e garantendo loro, nel rispetto della regola della collaborazione e della reciprocità, la libertà di scegliere le unità da cui partire, i turni di costruzione, la possibilità di usufruire del manuale, ecc. In tale fase è stata misurata, attraverso una griglia d'osservazione appositamente predisposta, la prestazione di ciascun gruppo nella ricostruzione dell'artefatto, annotando il tempo di esecuzione totale e il numero di errori nel montaggio/smontaggio dei pezzi di *Roverbot*.

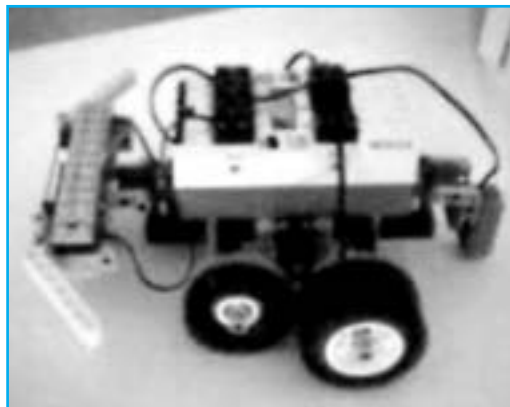
Nella ricostruzione di *Roverbot*, i ragazzi del Gruppo 1 si mostrano più abili dei ragazzi del Gruppo 2. I ragazzi del Gruppo 1 impiegano, infatti, 75 minuti a ricostruire *Roverbot*, commettendo solo 17 errori nel montaggio/smontaggio dei pezzi (7 errori nella costruzione del paraurti; 3 errori nel corpo; 1 errore nelle ruote e 6 errori nel sensore di luce). I ragazzi del Gruppo 2 impiegano, invece, 90 minuti commettendo 25 errori in totale (11 errori nella costruzione del paraurti, 7 errori nel corpo, 6 errori nelle ruote, and 1 errore nel sensore di luce).

Programmazione comportamentale di Roverbot

In tale fase, i ragazzi si dedicavano individualmente alla programmazione comportamentale

figura 1

Roverbot si compone di un corpo centrale composto dal RCX al quale sono collegate quattro ruote di differente grandezza (due anteriori più piccole e due posteriori più grandi); due motori; un paraurti anteriore doppio con due sensori di contatto (sensore destro; sensore sinistro); un sensore di luce collocato posteriormente verso il basso.



le del robot. Al fine di acquisire i fondamenti dell'interfaccia di programmazione "Robotic Invention System 2.0." essi sperimentavano alcune "missioni di training" precostruite, effettuandone il download su Roverbot.

Nel corso degli ultimi incontri è stato richiesto ai soggetti di lavorare individualmente nella costruzione di un repertorio comportamentale utile a risolvere il compito così formulato: "Hai costruito Roverbot, un robot che presenta tali caratteristiche: 2 motori che consentono di andare avanti, andare indietro, girare a destra e girare a sinistra; 1 paraurti con 2 sensori di contatto che danno al robot informazioni su ostacoli presenti nell'ambiente; 1 sensore di luce che consente di riconoscere la differenza tra bianco e nero. Crea ora un programma che consenta a Roverbot di effettuare il percorso dalla partenza al traguardo nel minor tempo possibile". Roverbot doveva "muoversi" in un'arena di 70x150 cm, con i bordi colorati in nero ed un ostacolo fisico posto al centro [figura 2].

Ogni ragazzo era libero di compiere tre prove di programmazione, sperimentandole tramite download nel RCX. La prestazione alla terza prova di programmazione è stata valutata dividendo l'intero repertorio comportamentale di Roverbot nelle 4 sequenze necessarie a risolvere il task con una strategia adattiva²: 1) uso di motori e ruote per muoversi all'interno dell'arena; 2) uso del sensore di destra presente nel paraurti; 3) uso del sensore di sinistra presente nel paraurti; 4) uso del sensore di luce. Per realizzare un programma adattivo il soggetto dovrebbe infatti pianificare come raggiungere la meta (sequenza 1), prevedendo al contempo l'intervento dei sensori di contatto e di luce per il controllo e l'aggiustamento della traiettoria nei casi di rilevazione dell'ostacolo (sequenze 2-3) o del bordo scuro (sequenza 4). Ad ogni soggetto è stato pertanto assegnato un punteggio compreso tra 0 e 8 in base ai seguenti indicatori: mancata programmazione dell'intera sequenza (0 punti); erronea programmazione della sequenza (1 punto); corretta programmazione della sequenza (2 punti).

I risultati relativi alla programmazione comportamentale di Roverbot evidenziano una prestazione del Gruppo 1 lievemente superiore (media = 5.2) a quella del Gruppo 2 (media = 4.2). Per ciò che riguarda i punteggi individuali, quattro soggetti (F.G., G.T., M.C., A.E.) ottengono 6 punti, quattro soggetti (A.C., S.M., A.M., F.S.) 4 punti e solo un soggetto (C.A.) 3 punti. Nessuno dei soggetti è stato quindi capace di risolvere il compito nelle tre prove previste.



A tal proposito, va sottolineato che la soluzione adattiva del compito non è affatto semplice. In particolare, risulta problematica la programmazione del sensore di luce in quanto ad esso è possibile assegnare un unico repertorio comportamentale, ad esempio "torna indietro e gira a destra per 3 secondi". Una simile sequenza di comandi risulta ottimale solo quando il bordo scuro rilevato si trova in una particolare zona dell'arena, in questo caso il bordo sinistro. Inoltre, il sensore di luce LEGO non distingue bene i colori, ma solo differenze tra chiaro e scuro; questo non permette di distinguere tra il bordo destro e sinistro, ad esempio assegnando loro diversi colori. La soluzione prevista è collegata al funzionamento dei sensori di contatto, posizionati nei due paraurti. Premendo il paraurti di destra, infatti, il robot intraprende la traiettoria verso il bordo sinistro, premendo il paraurti di sinistra il robot intraprende la traiettoria verso il bordo destro. Potendo quindi prevedere su quale lato dell'arena il robot incontrerà il bordo scuro è possibile assegnare programmi diversi al sensore di luce ("gira a sinistra" quando incontrerà il bordo destro e "gira a destra" quando incontrerà il bordo sinistro) a seguito della pressione di uno o dell'altro paraurti. Un altro problema legato al funzionamento del sensore di luce riguarda l'impossibilità di distinguere i bordi dal traguardo. In altre parole non è possibile programmare il sensore di luce in modo tale che il robot muti direzione quando incontra il bordo scuro e, viceversa, si fermi quando incontra il traguardo; abbiamo pertanto ritenuto completo il compito quando il robot raggiungeva il traguardo senza tuttavia fermarsi.

Alla luce di tali riflessioni, sono state concesse ai soggetti alcune prove aggiuntive di programmazione. Ciononostante, gli unici cinque ragazzi (F.G., M.C, A.E, S.M, F.S.) che sono riusciti ad assegnare a Roverbot un repertorio comportamentale adeguato alla risoluzione del compito non sono stati ca-

figura 2

Arena.

2

Una strategia adattiva consente di risolvere un compito anche in presenza di imprevisti o quando l'ambiente di esplorazione non è del tutto noto al soggetto. Il programma deve utilizzare l'input dei sensori per adattarsi al mutare delle situazioni.

paci di realizzare un programma adattivo. Essi, infatti, hanno calcolato la lunghezza del percorso e gli angoli di curvatura in modo che il robot evitasse l'ostacolo posto al centro dell'arena e raggiungesse il traguardo, senza programmare tutti i sensori in modo corretto. Non è da escludere che la natura stessa del compito proposto elicitasse soluzioni non adattive; rileggendo con attenzione le consegne si evince, infatti, come sia virtualmente possibile risolvere il compito anche solo mediante un'esatta pianificazione della traiettoria ed escludendo di fatto l'uso di tutti i sensori (strategia di fatto seguita dai soggetti). Questi aspetti mettono in evidenza le difficoltà che è possibile incontrare qualora si voglia calare in un contesto educativo un settore complesso ed innovativo quale quello della robotica. Si impone, infatti, la necessità di riflettere in maniera approfondita sugli aspetti metodologici legati in particolare alla selezione di compiti che elicitino la scelta di soluzioni adattive. Una possibile strategia, suggerita da Martin (1987), potrebbe ad esempio consistere nel non esplicitare ai soggetti la posizione e l'orientamento iniziale del robot nell'ambiente, impedendo la pianificazione a priori di traiettorie.

DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Relativamente agli obiettivi principali della presente ricerca, i risultati ottenuti sembrano confermare il coinvolgimento delle abilità cognitive considerate sia nel processo di costruzione (ricerca e montaggio dei pezzi) che di programmazione comportamentale

di robot. Se i risultati relativi ai punteggi dei gruppi evidenziano una prestazione lievemente superiore dei soggetti del Gruppo 1 sia nei compiti cognitivi che nella sperimentazione dei robot, sono soprattutto le prestazioni *individuali* a dimostrare che a punteggi più alti ai test corrispondono maggiori abilità di programmazione comportamentale del robot. In particolare, si è evidenziata una correlazione statisticamente significativa tra la performance al subtest di ragionamento sillogistico e condizionale di S.A.V.I.O. e i punteggi ottenuti al test di programmazione ($r=.608$ $p<.05$). Non sorprende che le abilità di ragionamento logico, consentendo ai soggetti di anticipare e pianificare le azioni necessarie a risolvere un particolare compito comportamentale, rappresentino un importante correlato delle competenze di costruzione e programmazione di robot.

Il presente studio rappresenta un primo tentativo di misurare empiricamente le abilità cognitive implicate nella costruzione e programmazione comportamentale di robot. Obiettivo futuro è la conduzione di ulteriori indagini, su gruppi più ampi di soggetti, mirate a confermare i presenti risultati. Sul versante educativo e/o riabilitativo, inoltre, appositi studi potrebbero mirare ad indagare se la costruzione, ed in particolare la programmazione comportamentale di robot, possa configurarsi come un metodo efficace per l'incremento delle abilità logiche.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia Vanessa Costa per la collaborazione all'esperienza di ricerca.

riferimenti bibliografici

- Clark A. (1997), *Being There: Putting Body, Brain, and World Together Again*, The MIT Press, Cambridge, MA (trad. it. *Dare Corpo alla Mente*, Mc-Graw Hill, Milano, 1999).
- D'Amico A., Guarnera M., Cardaci M. (2001), SAVIO: Sistema Automatizzato di Valutazione dell'Intelligenza Operatoria. Descrizione e Sperimentazione pilota dello strumento, *Bollettino di Psicologia Applicata*, 235.
- Järvinen E.-M. (1998), *LEGO / Logo learning environment in technology education and in the context of mathematical end scientific subjects*, <http://edtech.oulu.fi/T3/courses/wp13/material/lego-logo.htm>
- Kafai Y., Resnick M. (eds) (1996), *Constructionism in Practice: Designing, Thinking, and Learning in a Digital World*, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ.
- Lund H. H. (1999), Robot Soccer in Education, *Advanced Robotics Journal*, 13 (8), pp. 737-752.
- Martin F. (1992), Building Robots to Learn Design and Engineering, in *Proceedings of the 1992 Frontiers in Education Conference*, Nashville, Tennessee, November 1992.
- Martin F. (1994), *Circuits to Control: Learning Engineering by Designing LEGO Robots*, Ph. D. Thesis, MIT, Cambridge, MA.
- Martin F. (1997), *An open letter to professors Jake Mendelsohn and David Ahlgren, esteemed founders of the Trinity college Fire-Fighting robot competition*, April 23th, <http://www.handyboard.com/misc/fredm423.txt>
- Migliano O., Lund H. H., Cardaci M. (1999), Robotics as an Educational Tool, *Journal of Interactive Learning Research*, 10 (1), pp. 25-48.
- Papert S. (1980), *Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas*, Basic Books, New York.
- Papert S. (1986), *Constructionism: A New Opportunity for Elementary Science Education*, Proposal to the National Science Foundation.
- Piaget J., Inhelder B. (1966), *La psychologie de l'enfant*, P.U.F., Paris.
- Raven J. C. (1947), *CPM Coloured Progressive Matrices*, Organizzazioni Speciali, Firenze.
- Rey A. (1968), *Reattivo della Figura Complessa. Manuale*, Organizzazioni Speciali, Firenze.
- Resnick M. (1988), *MultiLogo: A Study of Children and Concurrent Programming*, MS thesis, MIT, Cambridge, MA.
- Resnick M. (1989), LEGO, Logo, and Life, in Langton C. (ed) *Artificial Life*, Addison-Wesley, Redwood City, CA.
- Resnick M. (1994), *Turtles, Termites, and Traffic Jams*, The MIT Press, Cambridge, MA.
- Resnick M., Ocko S., Papert S. (1988), LEGO, Logo, and Design, *Children's Environments Quarterly*, vol. 5, n. 4.
- Vygotsky L.S. (1962), *Thought and language*, The MIT Press, Cambridge, MA.