

Playware e robotica modulare per il gioco

Mattoncini da costruzione robotici per campi di gioco interattivi e adattivi

■ **Henrik Hautop Lund**

Technical University of Denmark, Center for Playware
hhl@elektro.dtu.dk

In questo contributo presentiamo e usiamo il concetto di *building block robotico* per la creazione di *playware*¹. Il concetto tecnologico di *building block* programmabili e dotati di input e output (ivi inclusa la comunicazione), deriva dal settore dell'intelligenza artificiale *embodied*, che enfatizza la relazione fra morfologia e controllo.

Per dare un esempio concreto del concetto di *building block robotico*, proponiamo le mattonelle che abbiamo creato, come elementi che compongono un nuovo tipo di campo giochi sul quale i bambini possono sperimentare un feedback immediato ai loro movimenti. Questo tipo di terreno permette di ideare e mettere in atto giochi e attività che richiedono impegno fisico da parte dei partecipanti e che si possono configurare, di conseguenza, anche come un nuovo strumento contro l'obesità. Le mattonelle che presentiamo sono per lo più *building block* omogenei che offrono vantaggi a livello di produzione, montaggio e sostituzione; ma è possibile anche creare un sistema di *building block* eterogenei, per esempio, aggiungendo mattonelle speciali (quali le mattonelle-altoparlante). Infine mostriamo che è possibile creare giochi adattivi, dove la risposta del terreno di gioco varia a seconda del comportamento dei giocatori.

INTRODUZIONE

Mentre nel passato la tecnologia robotica era usata principalmente nell'industria pesante, l'ultima decade ha visto la sua espansione verso il settore dei servizi e del divertimento. Per esempio, sulla base dei primi

sistemi di Rodney Brooks basati sul comportamento (Brooks, 1986; 1991), iRobot² ha sviluppato robot per uso domestico di aspirazione e lavaggio dei pavimenti e la WowWee³ ha sviluppato giocattoli robotici basati sull'approccio alla robotica di Mark Tilden di tipo biologico e *bottom-up* (Hasslacher e Tilden, 1995). Presso il Center for Playware abbiamo sviluppato un approccio basato sul comportamento, da utilizzarsi nei giochi robotici come: RoboCup Junior⁴, I-BLOCKS, e i campi gioco interattivi.

Sia nelle applicazioni robotiche legate all'erogazione di servizi, sia in quelle ludiche citate sopra, la tecnologia robotica si fonde con altri sviluppi dell'Intelligenza Artificiale (IA), come per esempio l'intelligenza ambientale e l'informatica pervasiva e ubiqua. In molti casi, tuttavia, osserviamo che gli sviluppi in queste sotto-aree sembrano basarsi sulla definizione generale di robotica (o su alcune sue parti). La nostra definizione di robotica è la seguente: *un robot è una macchina programmabile che attraverso la sua interazione con il mondo circostante esegue autonomamente una serie di compiti, ed il suo comportamento si differenzia da quello di un programma in quanto interagisce con l'ambiente attraverso sensori e attuatori*⁵.

Secondo questa definizione possiamo sviluppare strumenti robotici che - in virtù della loro programmabilità e della loro possibilità di interazione con l'ambiente circostante attraverso i sensori e gli attuatori - possono essere usati per il gioco in una serie di modi.

1

Il *playware* è un termine coniato dall'autore per indicare l'insieme di quei componenti computazionali, hardware e software, che sono usati per realizzare ambienti di gioco tecnologici. [N.d.C.]

2

<http://www.irobot.it/>

3

<http://www.wowwee.com/>

4

<http://rcj.sci.brooklyn.cuny.edu/>

5

Gli *attuatori* sono dispositivi attraverso cui un agente (artificiale o naturale) agisce su un ambiente. [N.d.C.]



figura 1

A sinistra: il classico approccio dell'IA al controllo robotico con un ciclo Sense - Model - Plan - Act (senti - pensa - pianifica - agisci) opposto al moderno approccio, con i comportamenti primitivi che agiscono in parallelo. A destra: una rappresentazione.

Come vedremo, abbiamo sviluppato una tecnologia innovativa di building block robotici per i campi gioco le cui basi teoriche derivano da principi della robotica e dell'intelligenza artificiale. Abbiamo utilizzato il concetto di building block per una facile riconfigurazione fisica del campo gioco. Infatti, in accordo con l'intelligenza artificiale embodied, facciamo l'ipotesi che l'aspetto fisico di un'entità (per es., di un organismo) abbia un ruolo cruciale nella definizione dell'intelligenza di quell'entità. Crediamo che nei sistemi intelligenti ci sia un'interazione fra il corpo e il cervello (cioè, fra la morfologia e il controllo) come dimostrato da molte ricerche in campo biologico e biorobotico (Lund, Webb e Hallam, 1998; Pfeifer e Scheier, 1999; Peremans e Reijnen, 2005). Quindi, nello sviluppare nuova tecnologia per nuovi settori di applicazione (come per esempio i campi gioco) è importante adottare un principio di progettazione che rispetti questa interazione corpo-cervello; soprattutto se si ha l'ambizione di progettare sistemi flessibili, adattivi ed intelligenti, che è l'aspirazione di molti nuovi ambiti di uso.

In secondo luogo, l'approccio basato sull'IA *embodied* sottolinea il fatto che il robot/sistema è posizionato nell'ambiente fisico reale e utilizza le caratteristiche del mondo reale nello sviluppo del suo sistema intelligente. L'uso di comportamenti primi-

tivi eseguiti in parallelo e coordinati in modo da fornire il comportamento globale del sistema, tipico dell'IA *embodied*, instaura un ciclo di controllo tra gli stimoli dell'ambiente e l'attuazione nell'ambiente stesso. Così il comportamento globale del sistema diventa l'effetto emergente dell'interazione con l'ambiente ed il coordinamento dei comportamenti primitivi. Il compito di chi progetta un sistema è duplice: progettare i comportamenti primitivi corretti e instaurare i comportamenti primitivi in modo tale che permettano al comportamento globale auspicato di emergere come interazione fra i comportamenti primitivi.

Per ottenere questa flessibilità da parte di sistemi che agiscono in applicazioni nel mondo reale abbiamo sviluppato il concetto di *building block robotico*. Come approccio innovativo suggeriamo di espandere la visione classica sui sistemi basati sul comportamento (Brooks, 1986) per includere non solo il coordinamento dei comportamenti primitivi in termini di unità di controllo, ma anche il coordinamento dei comportamenti primitivi in termini di unità di controllo fisico. Possiamo immaginare un modulo fisico come un comportamento primario. Quindi l'organizzazione fisica dei comportamenti primitivi deciderà il comportamento globale del sistema (insieme all'interazione con l'ambiente). Definiamo questo processo come il concetto del building block compor-

figura 2

Bambini impegnati in giochi di tipo fisico con le mattonelle su una piazza della città di Odense, Danimarca. Le mattonelle sono posizionate sia a terra sia sulla parete.



tamentale. In quest'accezione, il comportamento globale di un artefatto robotico emergerà dal coordinamento di alcuni building block, ciascuno dei quali rappresenta un comportamento primitivo (figura 1, destra).

Per poter utilizzare il concetto di building block comportamentale, bisogna disporre di building block dotati di certe proprietà. Ciascun building block deve avere un'espressione fisica e deve poter processare e comunicare con l'ambiente circostante in modo diretto con i building block vicini e/o indirettamente, attraverso sensori-attuatori.

Abbiamo applicato questo concetto di building block in numerosi ambiti, specialmente nel playware, e in questo scritto, dopo una breve introduzione al settore degli ambienti di gioco, ci concentreremo sull'uso del concetto del building block per lo sviluppo di futuri campi gioco, con l'obiettivo di attivare fisicamente i giocatori (figura 2).

Definizione di playware

Suggeriamo di usare il termine *playware* per definire l'uso di tecnologie intelligenti per creare quel tipo di attività ricreative che normalmente chiamiamo gioco; ci riferiamo a hardware e software intelligenti, orientati sia alla produzione di giochi sia allo sviluppo di esperienze ludiche divertenti e delle quali i giochi digitali sono un sotto-insieme. Inoltre, proponiamo di usare l'espressione *playware ambientale* per riferirsi a un playware che presenta le caratteristiche di intelligenza ambientale⁶: possono essere personalizzati, sono adattivi e sono anticipatori.

Siamo convinti che sia il playware in senso lato che il playware ambientale abbiano un grande potenziale per lo sviluppo di prodotti e sistemi futuri nel campo del divertimento.

Il playware può essere pensato per usi all'aria aperta oppure al chiuso, sia su piccola sia su vasta scala. Ci concentreremo sul suo uso su larga scala e all'aperto e precisamente sulla creazione di campi gioco. In questo caso, il playware può essere orientato direttamente alla creazione di nuovi spazi e giochi fisici e, quindi, a promuovere la salute fisica, contribuendo alla riduzione di patologie quali l'obesità e altre malattie legate allo stile di vita che sempre più preoccupano le società industriali. Diversamente dalla maggior parte della ricerca sull'infanzia, sulla salute e sui media, noi pensiamo che, almeno una parte di questi problemi tipici delle so-

cietà industrializzate, debba essere affrontata senza opporsi ai media ed ai giochi elettronici e digitali. Il playware capace di innescare un gioco fisico non dovrebbe essere visto come l'unica soluzione praticabile né come quella ideale, ma riteniamo che possa assumere un ruolo estremamente importante nella battaglia per contrastare la crescente minaccia costituita dall'obesità nel nostro mondo (Lund, Klitbo e Jessen, 2005).

Tecnologia playware

Per poter supportare il playware e gli ambienti di gioco è vitale progettare e sviluppare unità che possono essere distribuite negli ambienti frequentati dagli utenti (per es., campi gioco, cortili di edifici scolastici, piazze di città, rampe per skateboard, centri sportivi). Le unità da sviluppare possono essere considerate building block dotati di capacità di elaborazione e di comunicazione. Queste unità sono poste negli ambienti fisici e utilizzano le caratteristiche del mondo reale per emergere quindi come sistema collettivo robotico e intelligente.

Sviluppando il concetto di building block robotico, abbiamo realizzato una serie di mattonelle che costituiscono un terreno di gioco durante le attività dei bambini. Le mattonelle sono inizialmente usate solo come terreno, su un piano 2D, ma tramite unità portatili senza fili vengono potenziate, in modo da registrare i movimenti dei bambini con elementi virtuali e/o fisici in 3D. Le potenzialità delle tecnologie senza fili nello sviluppo di nuovi prodotti nel campo dei giochi sono molto elevate, tuttavia il loro sfruttamento richiede lo sviluppo di una piattaforma tecnica che sia di facile accesso, che metta in relazione le tecnologie e che renda i prodotti utilizzabili sia dai produttori sia dagli utenti. Benché crediamo che per il futuro si debbano prevedere building block dotati di tecnologia senza fili, qui iniziamo a descrivere i building block per playware cablati, che possono in ogni caso essere facilmente montati sia a terra che a parete per poter creare attività che sfruttino le tre dimensioni (cfr. figura 2).

Le mattonelle sono elementi di gioco nuovi, che funzionano come building block in quanto hanno in sé sensori, attuatori, la potenza computazionale, e la capacità di comunicazione. Abbiamo realizzato due prototipi di mattonella. Nella prima implementazione le mattonelle tangibili della dimensione di cm. 40x40, hanno una superficie morbida. All'interno vi è un particolare sensore di forza (FSR) in grado di registrare i

6

Definiamo *l'intelligenza ambientale* come l'integrazione della tecnologia nel nostro ambiente, in modo che le persone possano utilizzarla liberamente ed in modo interattivo. Concretamente, l'intelligenza ambientale deriva da un gran numero di piccoli apparecchi intelligenti che fanno parte dell'ambiente circostante.

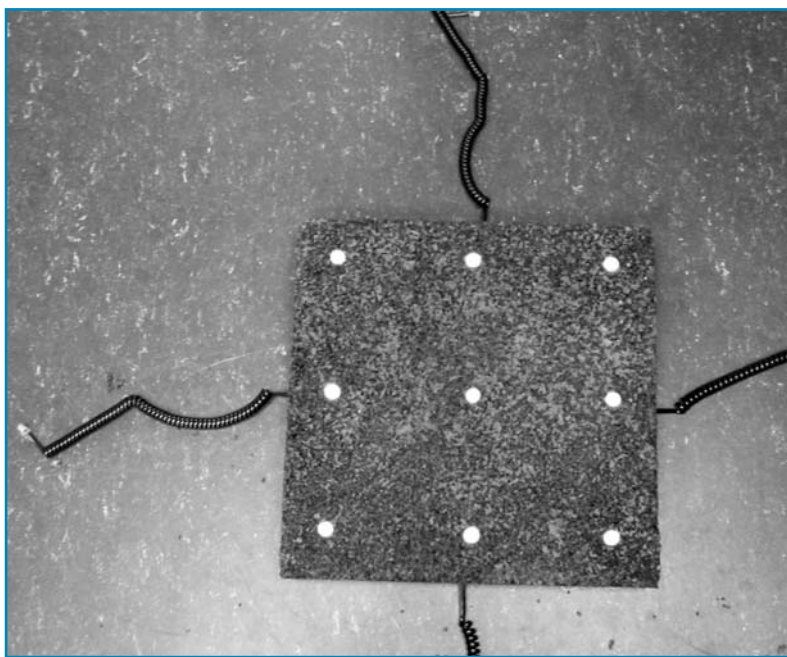


figura 3

Il primo prototipo di mattonella, ha 9 LED ed è collegata alle mattonelle vicine.

salti delle persone sulla mattonella. In questo primo prototipo gli attuatori consistevano in 9 LED rossi e 9 blu, distribuiti uniformemente sulla mattonella in una matrice 3x3 (figura 3). Sul retro di ciascuna mattonella c'è lo spazio per un micro-controllore (ATmega128) in grado di registrare l'attività dal sensore e di controllare ciascuno dei 18 LED. Con questa semplice mattonella è possibile passare dal blu al rosso o, viceversa, dal rosso al blu, ogni volta che qualcuno salta su di essa.

La seconda versione è un mattoncino più piccolo che misura cm. 21x21. L'attuatore è una singola luce ad otto colori, ottenibile attraverso il controllo e la combinazione di uscite da 4 LED a colori sistemati uno vicino all'altro. Il colore di ogni LED è controllato con tecnica *pulse-width modulation* (PWM). Inoltre, nella seconda versione anche il suono può essere controllato come output dalle mattonelle. La seconda versione della mattonella è di gomma. I connettori di una mattonella sono fatti in modo

che ciascun lato corrisponda al lato di una seconda mattonella (vedi il progetto di mattonella in figura 4). È possibile collegare le mattonelle per metà o per un quarto della lunghezza della mattonella vicina. Sopra le mattonelle di gomma vi è una piccola piattaforma in rilievo sotto la quale si trova il sensore di forza.

Dentro ciascuna mattonella di gomma vi sono due supporti di plastica che contengono la parte elettronica, i fori per i LED, per un force-sensing resistors il (FSR) e per i cavi di comunicazione (figura 5). L'alimentazione a 5V e la comunicazione passano nei cavi.

La comunicazione fra le mattonelle consente di attivare funzioni più complesse della semplice variazione di colore delle singole mattonelle. Il micro-controllore di ciascuna mattonella può, infatti, essere usato per comunicare con le quattro mattonelle confinanti e può controllare i giochi. Dato che si tratta di un sistema di mattoncini capace di elaborazione distribuita, è possibile l'uso di diverse configurazioni fisiche (per es., diverse quantità di mattonelle e di posizionamenti) senza dover cambiare il programma. Ogni mattonella può verificare il numero di mattonelle vicine.

Grazie al micro-controllore, è possibile predisporre varie configurazioni fisiche delle mattonelle, che possono essere viste come la piattaforma tecnologica che ci dà l'opportunità di creare vari tipi di gioco. Le mattonelle di quest'articolo sono un esempio di playware. Se le loro implementazioni le rendono adattabili, personalizzabili e antipatrici, quelle mattonelle sono anche un esempio di playware ambientale. La natura distribuita dei building block robotici fornisce un alto grado di flessibilità rispetto ad un approccio centralizzato, ma pone però dei vincoli all'architettura: per esempio, la necessità di prevedere protocolli per la comunicazione e mezzi per il riconoscimento della connettività fisica dei building block.

figura 4

Il secondo prototipo di mattonella.

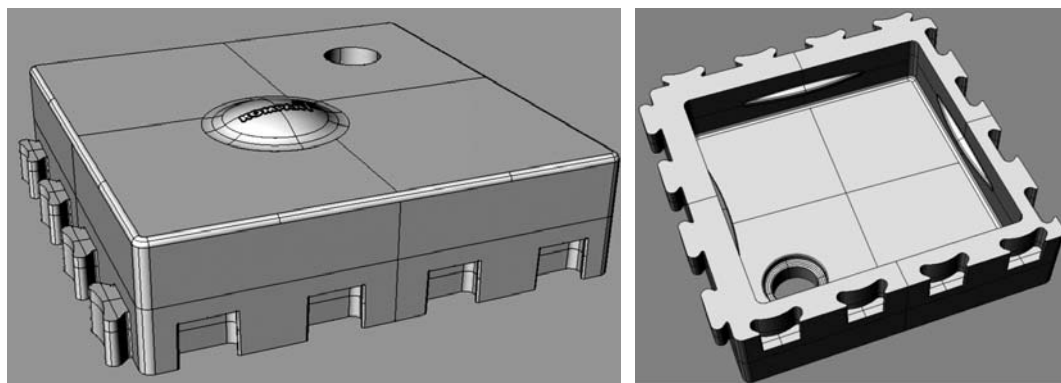




figura 5

L'hardware della mattonella con il micro-controllore ATmega128.

L'architettura playware è una divisione a strati organizzata in modo flessibile in hardware, protocolli e applicazioni (figura 6).

In generale questo sviluppo dell'architettura dovrebbe consentire a tutti gli attori in campo di lavorare su diversi strati, per esempio produttori di hardware, aziende software per lo sviluppo di sistemi operativi e produttori di giochi per il livello applicativo.

Si noti che è disponibile un *boot loader* che consente di programmare una sola mattonella e di diffondere il programma alle mattonelle vicine. Il boot loader, in altri termini, attiva un processo che coinvolge l'insieme del playware. Allo stesso tempo, il boot loader crea una mappa della struttura ad albero della configurazione fisica delle mattonelle. A questo punto il sistema è consapevole della topologia circostante, e qualsiasi mattonella può comunicare con qualsiasi altra mattonella presente nella struttura, se necessario, passando tramite la mattonella alla radice (nella figura 7 a destra, A è la mattonella-radice).

La produzione di tecnologia playware, basata sul concetto dei building block, permette la libera esplorazione del potenziale creativo dei progettisti di giochi, di coloro che installano i terreni da gioco e degli utenti finali. Il sistema può assumere diverse configurazioni fisiche e diverse configurazioni di input/output semplicemente assemblando i building block in modi diversi. Il comportamento del sistema può quindi dipendere dalla sistemazione fisica (la morfologia), dal programma installato (il controllo) e dall'interazione degli utenti (l'ambiente). Le mattonelle possono essere sistemate in diversi modi e si possono caricare diversi giochi sulla struttura attraverso una "mattonella master" (o equivalente). Negli esempi mostrati nella figura 8, l'utente può aver collocato le mattonelle e programmato il sistema per giocare a Campana, Pong, Corsa dei colori.

I due diversi prototipi di sistema delle mattonelle possono essere visti come operanti

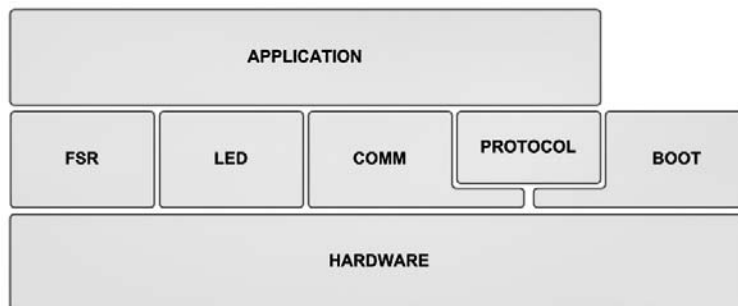


figura 6

Un punto di partenza per lo sviluppo di un'architettura playware.

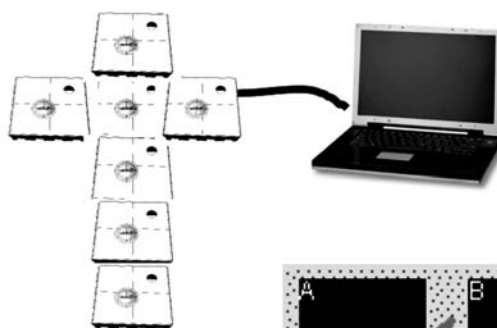
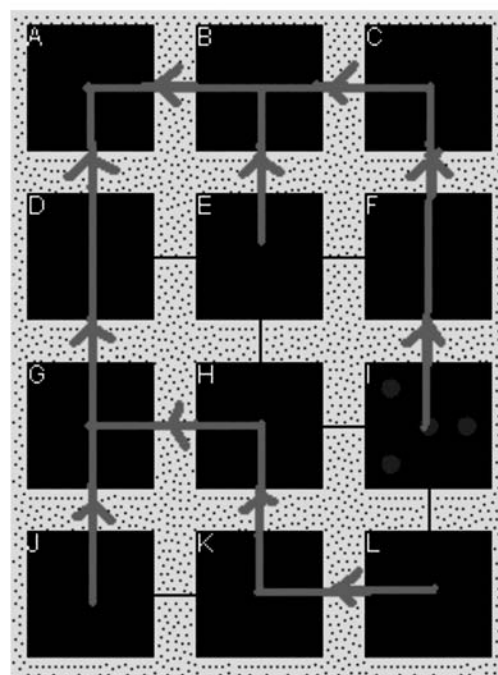


figura 7

Per generare la struttura ad albero, la radice (in questo caso, la mattonella A) comincia dicendo a tutti i suoi vicini di trasformarsi in figli, che chiedono a tutti i loro vicini se sono parte della struttura ad albero (hanno un genitore?). Se così non è, la mattonella che pone la domanda diventerà il genitore nella struttura ad albero. Si procede in questo modo finché tutte le mattonelle avranno un genitore e la struttura dipenderà dal vicino che per primo ha chiesto di diventare genitore.



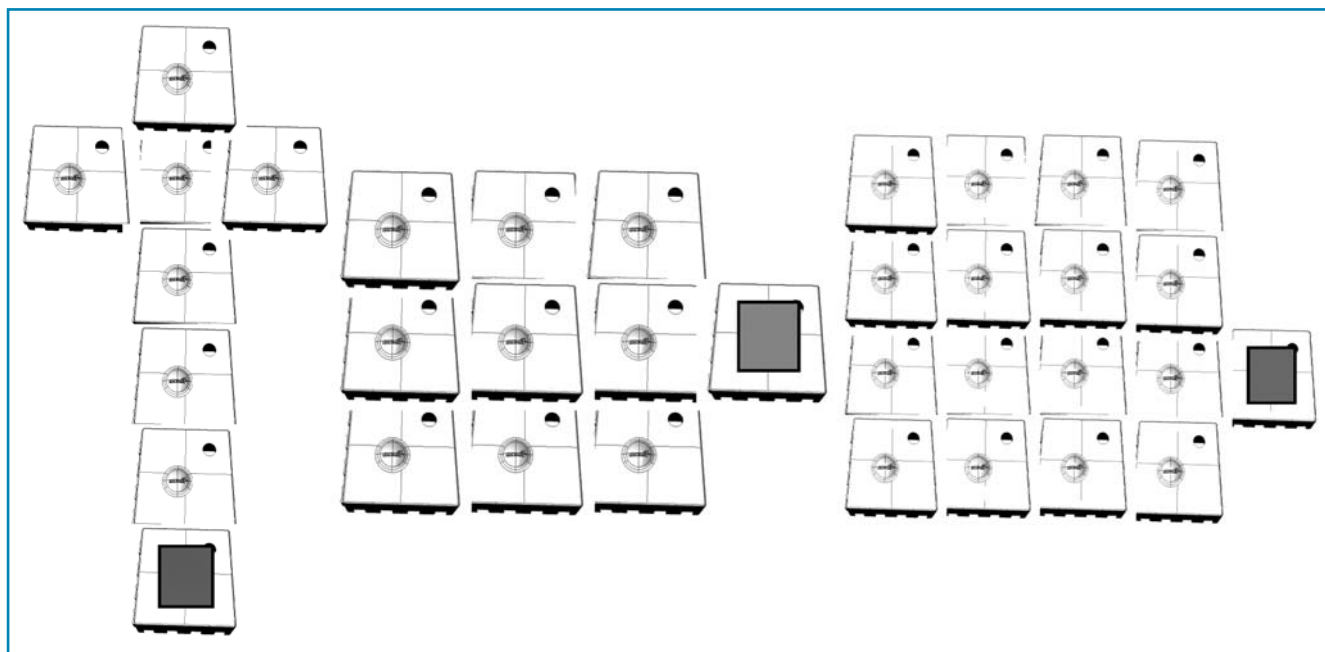


figura 8

Aggiungendo una particolare mattonella si possono produrre giochi diversi (Campana, Pong, Corsa dei colori).

tramite il concetto dei building block con diversa granularità (per un confronto tra i due diversi prototipi, si rimanda alla tabella 1).

In generale pensiamo che per creare la giusta tecnologia playware per una data applicazione sia importante progettare il gioco avendo in mente la granularità dei building block, sia in termini di granularità fisica (per es., dimensione, input, output) sia di granularità di controllo (complessità del comportamento di un singolo mattoncino). Nell'esempio delle mattonelle da costruzione tangibili abbiamo spaziato da un sistema composto da pochi mattoncini grandi ad uno a più alta granularità costituito da molti mattoncini più piccoli per consentire maggiore libertà nella configurazione fisica dell'intero sistema. Per ottenere lo stesso schema di output dell'intero sistema dobbiamo usare più mattoncini appartenenti al sistema del secondo prototipo ma, con la granularità più elevata, possiamo costruire rappresentazioni fisiche che il sistema del primo prototipo non consentirebbe.

VALUTAZIONE DELLA TECNOLOGIA PLAYWARE

Abbiamo implementato diversi giochi con le mattonelle e abbiamo analizzato il modo in cui alcuni bambini hanno giocato. La valutazione è avvenuta nell'arco di due mesi in una scuola danese, la Tingager Skolen (figura 9).

In uno dei giochi, la Corsa dei colori, i bambini hanno gareggiato l'uno contro l'altro (da soli o in gruppo): saltando in modo rapido, il loro obiettivo era di far diventare le mattonelle del colore che avevano prescelto. Un altro gioco sperimentato è la trasposizione del videogioco Pong. Qui una freccia rossa si muove a caso sul terreno di gioco e quando raggiunge un lato del campo di mattonelle il bambino deve rapidamente saltare sulla mattonella che la contiene per rispedire la freccia all'avversario. La freccia può spostarsi verso uno dei vicini adiacenti. Il secondo prototipo ci ha permesso di implementare una versione della Corsa dei colori in cui erano presenti contemporaneamente fino a sei colori diversi e, ad ogni colore, era associato un suono specifico. Suono e colore venivano attivati quando un bambino saltava sulla mattonella. In questa versione della Corsa dei colori è più facile che i bambini giochino insieme ed è anche più facile proporre loro attività competitive. Nei due mesi di uso continuo dei primi prototipi di mattonella nella scuola, ci è stato permesso di installare una Webcam per riprendere l'attività di gioco. È stato rilevato che, nonostante i maschi fossero più attivi, le femmine erano presenti nel 38% delle at-

	Primo prototipo	Secondo prototipo
Dimensioni mattonella	cm. 40x40	cm. 21x21
Input	1 bit, input digitale 0/1	8 bit 0-225 input analogico
Output	Differenziati: punti luce 3x3	Un unico punto luce

Tabella 1. Confronto dei due prototipi.



figura 9

A sinistra: allievi della scuola danese Tingager Skolen mentre usano il primo prototipo di sistema nei due mesi di test. A destra: bambini della scuola materna mentre giocano alla Corsa dei colori, usando il secondo prototipo di sistema.

tività. La differenza di genere non pesava nella scelta del gioco (per es., il Pong o la Corsa dei colori). Nella maggior parte dei casi i bambini giocavano per conto proprio (37%) o con un altro bambino (32%), nel 14% dei casi tre bambini giocavano insieme e nel 17% quattro o più bambini giocavano insieme. I bambini competevano prevalentemente l'uno con l'altro, ma si davano anche indicazioni reciproche sul come giocare/competere. Inoltre alcuni adolescenti usavano le mattonelle come passatempo mentre parlavano al cellulare.

BUILDING BLOCK OMOGENEI VS. BUILDING BLOCK ETEROGENEI

Abbiamo finora descritto il concetto di building block robotici per ambienti di gioco all'aperto su vasta scala. L'approccio generale può essere esteso e usato per creare sia altri tipi di ambienti di gioco sia altri progetti di artefatti intelligenti. Per l'ambiente di gioco abbiamo utilizzato il concetto di building block su una scala più piccola tramite il progetto I-BLOCKS (Lund e Marti, 2005; Nielsen e Lund, 2003) e I-BLOCKS Africano (Lund e Vesisenaho, 2004), e per i robot autoconfigurabili (Lund, Beck e Dalgaard, 2005) abbiamo utilizzato il concetto di building

block per progettare i moduli ATRON (figura 10).

Nella creazione di artefatti, quali gli ambienti di gioco, i giocattoli manipolativi e terapeutici e i sistemi capaci di cambiare forma, basati sul concetto dei building block robotici, il processo distribuito nei building block ci fornisce la flessibilità e la ridondanza che permettono all'utente finale o al sistema stesso aggiustamenti e nuove creazioni. Pensiamo che sia importante dare a chi progetta i sistemi e agli utenti finali la libertà di creare il loro personale sistema, fornendo loro i building block appropriati sia in termini di aspetto fisico che di comportamento, o, in altre parole, sia in termini di corpo sia di cervello.

Infatti, per poter supportare il playware e gli ambienti di gioco, è vitale progettare e sviluppare unità che possano essere distribuite nell'ambiente degli utenti (per es., sui campi gioco, nei cortili delle scuole, sulle piazze delle città, sulle rampe per skateboard, nei campi sportivi). Quindi, per il futuro, pensiamo sia importante fornire building block che comunicano in reti wireless, facili da montare e a basso consumo di energia, in modo che l'utente finale possa distribuirli nel suo spazio di vita, a proprio piacimento e in modo autonomo, per crea-

figura 10

Esempi del concetto dei building block robotici nella progettazione di sistemi diversi. A sinistra: I-BLOCKS usati dai bambini di una scuola italiana per favorire lo sviluppo della conoscenza emotiva. Al centro: I-BLOCKS Africano usato a scopo terapeutico da un bambino dell'ospedale di Ilembula, in un'area rurale della Tanzania. A destra: moduli ATRON, usati per creare robot capaci di cambiare forma.



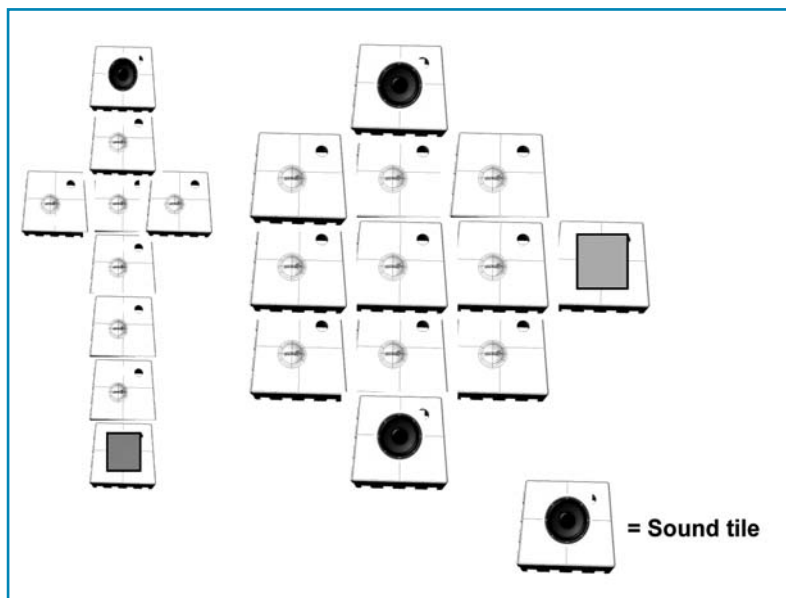


figura 11

Un sistema eterogeneo di building block. Infatti, abbiamo inserito una mattonella sonora diversa dalle altre.

re, modificare (e smontare) uno spazio di gioco in poco tempo (in alcuni casi, addirittura in pochi secondi).

Un aspetto importante da considerare quando si utilizza il concetto dei building block è la possibilità di scegliere fra mattoncini omogenei e mattoncini eterogenei a livello di progettazione e di uso. Nel nostro caso le mattonelle usate sono state di tipo omogeneo ed hanno presentato tre vantaggi: (a) l'attacco ad altre unità è uguale; (b) un'unità difettosa può essere facilmente sostituita; (c) il costo di produzione è basso. Tuttavia, questi vantaggi sono accompagnati dall'impossibilità di aggiungere facilmente ulteriori funzionalità hardware, che nel caso di building block omogenei deve essere necessariamente inclusa in tutti. L'approccio eterogeneo permette di associare ad ogni singolo mattoncino un hardware specifico. Ciò può costituire un vantaggio se si ha bisogno di diverse funzioni di input e output.

Anche in altri progetti che usano building block robotici si fanno considerazioni simili. Per esempio, il sistema ATRON si basa su building block omogenei, facili da collegare, dotati di possibilità di autoriparazione e produzione. D'altra parte gli I-BLOCKS e gli I-BLOCKS Africani sono stati progettati come sistemi eterogenei in quanto si doveva permettere agli utenti finali di costruire, avendo a disposizione molte possibilità di input e output. Per le mattonelle, infatti, abbiamo studiato la possibilità di una loro espansione verso un sistema eterogeneo, costruendo una mattonella sonora. In questo caso il meccanismo di connessione resta

uguale a quello delle altre mattonelle. Si aggiunge, cioè, un sistema di altoparlanti all'hardware delle mattonelle (figura 11).

IL CONTROLLO: CENTRALIZZATO VS. DISTRIBUITO

Il gioco del Pong esemplifica bene la natura distribuita dell'elaborazione nelle mattonelle. Però, il nostro concetto di building block robotici per playware curiosamente deriva da un lungo processo di progettazione iniziato nel 2001 in cui, inizialmente, studiavamo un approccio centralizzato alla creazione di attività fisiche di gioco per bambini. Abbiamo creato un terreno di gioco con sensori tattili e altoparlanti collocati in diverse posizioni sul terreno (figura 12). Un PLC (figura 12, a destra) controlla l'output dall'altoparlante perché entri in funzione in qualche punto del terreno di gioco e inviti il bambino a correre, saltare, strisciare il più velocemente possibile verso una postazione in cui dovrà premere un codice sul sensore tattile. Costruendo una sequenza di altoparlanti e sensori tattili potremmo creare diversi percorsi sul terreno di gioco che dovrebbero essere completati dai bambini il più velocemente possibile. Il campo gioco dell'esperienza che descriviamo è stato predisposto in Danimarca, presso la Sdr. Naera School. All'inizio della sperimentazione si era notato che il gioco era molto sequenziale e che i bambini avevano bisogno di aspettare il loro turno per correre attraverso il sentiero virtuale del terreno di gioco. Ciò, in breve tempo, ha portato all'uso del campo da parte di un numero ridotto di bambini. Da quel momento un lungo processo di analisi, valutazione e progettazione, ci ha condotto a ripensare al concetto dei building block robotici nella successiva fase di progettazione. Nella nuova versione, si è pensato ad un sistema distribuito sul quale possono succedere diverse cose in parallelo e non solo in modo sequenziale come accade con l'approccio centralizzato. In più, la natura distribuita del concetto del mattoncino da costruzione permette a coloro che installano il terreno di gioco di predisporre diverse configurazioni in modo molto semplice. Anche gli utenti finali possono dar vita a manipolazioni, a partire dalla sistemazione fisica dello spazio di gioco. Questa nuova visione del building block robotico distribuito ci è sembrata più flessibile rispetto all'approccio centralizzato.

Naturalmente un sistema PLC può essere usato per emulare un sistema distribuito



come quello delle mattonelle, anche se la facilità di sostituzione e gli aspetti creativi della morfologia andrebbero perduti. Quindi non sarà mai un vero sistema di building block distribuito come lo abbiamo finora inteso in questo articolo. Tuttavia, il Danfoss Universe, un parco giochi danese, ha usato il nostro lavoro per creare un sistema controllato da PLC con mattonelle da 8x8 presentato in occasione della sua inaugurazione nel maggio 2005 (v. figura 13).

TERRENO DI GIOCO ADATTIVO

Per la raccolta dei dati è stata usata una griglia 6x6 con un terreno di gioco composto da 36 mattonelle. È stato implementato un gioco chiamato Schiaccia l'insetto, ispirato al gioco dello Smash (Nielsen e Lund, 2003). Il gioco presenta tre insetti (indicati da LED verdi) che si muovono liberamente ad una certa distanza dal bambino. Il bambino deve provare a schiacciare gli insetti, calpestandoli. Sulla base delle azioni classificate in tabella 1 sono state implementate diverse risposte.

Per l'osservazione dei bambini in azione so-

no stati approntati due tipi di test: un test individuale, che definisce i desideri e le intenzioni di ciascun bambino e un test di gruppo, che definisce le intenzioni comuni di due bambini che giocano assieme.

Il test individuale è stato condotto su 23 bambini di età compresa fra i 5 e i 6 anni. In questo caso, si possono individuare due comportamenti dominanti. Un comportamento di "gioco", ovvero quando i bambini reagiscono agli stimoli del campo gioco. Un comportamento di "non gioco", ovvero quando i bambini non agiscono sotto l'influenza dell'ambiente, sono cioè impegnati in un loro gioco immaginario. Nel test 10 bambini appartenevano, grosso modo, al primo tipo e i restanti 13, grosso modo, al secondo.

Al test di gruppo hanno partecipato 8 bambini. Tutti avevano un comportamento generalmente riconducibile al tipo di "gioco". Tuttavia, il loro comportamento di gioco variava: da inizialmente cooperativo diventava occasionalmente competitivo (per es., alcuni bambini si spingevano nel tentativo di schiacciare un insetto, figura 14).

figura 12

Il primo terreno di gioco, con sensori tattili e altoparlanti controllati da PLC.

figura 13

Costruzione di un sistema controllato da PLC con mattonelle 8x8 che ora fa parte del parco giochi danese Danfoss Universe.



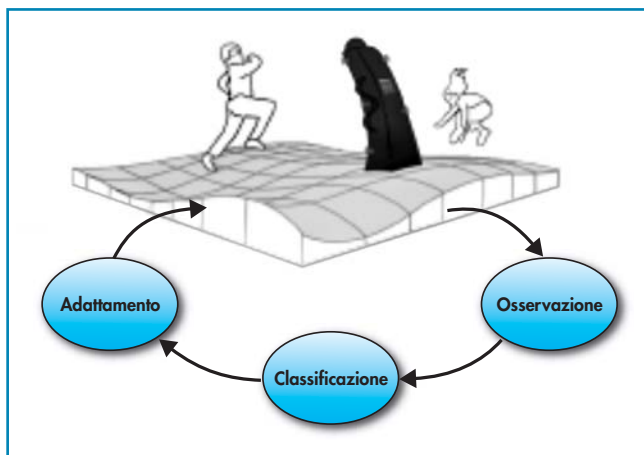


figura 14

Bambini che si spingono nel tentativo di schiacciare un insetto.

figura 15

Il ciclo di osservazione, classificazione e adattamento.



Per poter adattare il terreno di gioco è necessario cioè affrontare tre fasi: l'osservazione, la classificazione e l'adattamento (figura 15).

Un agente in grado di osservare le interazioni del bambino con l'ambiente può scoprire i suoi desideri e le sue intenzioni e usarli per aumentare/mantenere l'attività fisica del bambino stesso adattando il terreno di gioco.

Dai test sono emersi i comportamenti che soddisfano i desideri e le intenzioni dei giocatori, che sono stati definiti analiticamente (figura 16) e dai dati raccolti, è stata selezionata una sequenza di 36 azioni utile a definire nel modo meno ambiguo possibile i comportamenti per l'addestramento degli agenti delle reti neurali. Per verificare se l'agente sia stato addestrato correttamente, si è analizzato il suo comportamento nel classificare nuovi dati (v. figura 17).

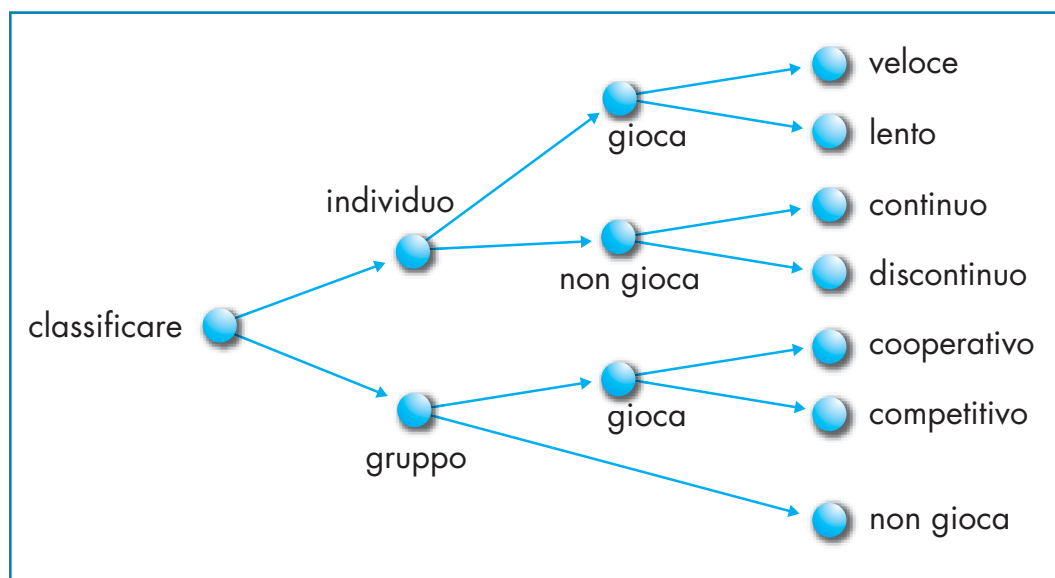
Tuttavia, come si vede in figura 17, le percentuali attribuite alle classificazioni non sono così chiare e univoche come si vorrebbe

(un esempio è Silje). Le indicazioni suggeriscono che i bambini cambiano comportamento durante il gioco. Attraverso una riproduzione grafica del modo in cui l'agente classifica spezzoni di 36 azioni, vediamo che Silje davvero passa da un comportamento all'altro come ci aspettiamo (v. figura 18). Vale la pena notare anche che l'agente può distinguere i comportamenti individuali dai comportamenti di gruppo; ciò significa che l'agente è anche in grado di riconoscere intenzioni congiunte, e cioè azioni agente-agente, attraverso l'osservazione dell'interazione agente-ambiente.

Abbiamo quindi un approccio per adattare il terreno di gioco suggerito da sistemi multi-agente; trasformando i bambini in agenti, il terreno di gioco in ambiente, permettendo relazioni bambini-ambiente (agente-ambiente) e bambini-bambini (agente-agente) e lasciando che i bambini si organizzino. Questo approccio ha permesso di vedere i bambini come agenti le cui azioni sono determinate dai loro desideri ed intenzioni.

figura 16

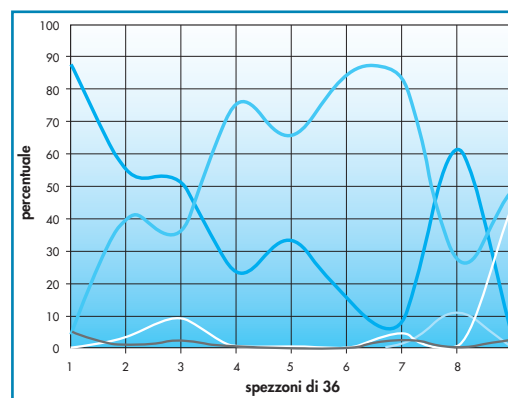
Le sette classificazioni delle Reti Neurali (ANN) che corrispondono ai diversi criteri. "In modo continuo" ed "in modo discontinuo" corrispondono, rispettivamente, a comportamenti prevedibili e non prevedibili.



		classificazione in percentuale						
		I. Gioca veloce	I. Gioca lento	I. Non gioca continuamente	I. Non gioca discontinuamente	G. Gioca in modo cooperativo	G. Gioca in modo competitivo	G. Non gioca
gruppi individuali	Nome							
	Anna	0.0	6.5	10.3	79.9	0.0	0.4	0.0
	Emilie P.	0.0	1.2	69.0	29.0	0.0	0.0	0.0
	Silje	0.0	1.3	49.0	41.3	0.3	2.8	0.0
	Soren	0.0	41.7	8.0	31.6	2.8	2.8	0.0
	Clara	0.0	2.5	78.8	7.1	10.3	0.3	0.0
	Frederik	0.0	86.3	0.7	3.3	0.4	0.0	0.0
	Clara & Silje	0.0	13.5	1.4	1.0	45.5	31.0	0.0
	Emilie & Emilie P.	0.0	15.2	1.6	0.7	34.8	33.7	0.0
	Mads & Frederik	0.0	10.0	1.3	1.9	59.7	24.8	0.0
	Oliver & Victor	0.0	5.9	3.3	2.4	40.5	37.7	0.0

figura 17

Classificazioni del set di test da parte dell'agente selezionato. In grassetto la classificazione, sottolineato il target.



Date le tre fasi di figura 15, l'ultima fase è finalizzata a usare la conoscenza ottenuta in favore dei bambini. Il gioco "Schiaccia l'insetto" è stato esteso con un meccanismo che consente di adattare le caratteristiche degli insetti sulla base delle classificazioni del comportamento dei bambini: se il bambino gioca velocemente la velocità degli insetti aumenta in modo dinamico, se il bambino gioca lentamente la velocità degli insetti si ridurrà.

Ciò permette al bambino di regolare, giocando, la velocità degli insetti. Inoltre se si tratta di un bambino grandicello la distanza fra il bambino e gli insetti aumenterà/diminuirà così come la velocità degli insetti. Se il bambino ha un comportamento di "non gioco" il movimento degli insetti si trasfor-

merà in strategia di inseguimento. In questa strategia gli insetti proveranno a mettersi il più vicino possibile al bambino cercando di conquistarlo al gioco.

Per verificare l'impatto dell'attività sono stati condotti ulteriori esperimenti, inclusa la misurazione del battito cardiaco dei bambini durante il gioco sul terreno. Ogni esperimento prevedeva che i bambini giocassero a coppie a "Schiaccia l'insetto": una prima volta senza il meccanismo di adattamento, la seconda volta con la versione adattiva. Assumendo che non vi fosse alcun effetto derivante dall'ordine in cui si giocava, sono state esaminate 24 coppie di giocatori con un tempo di gioco di 90 secondi ciascuna. È stata condotta un'analisi statistica dei dati raccolti, per capire se vi fosse una correla-

figura 18

Classificazioni del comportamento di Silje da parte dell'agente addestratore. La curva celeste rappresenta "I. non gioca continuamente" mentre la azzurra significa "I. non gioca in modo discontinuo", la bianca significa "I. gioca lentamente".

CARATTERISTICA	C	P
numero totale di interazioni	0.417	0.0320
numero totale di insetti colpiti	0.250	0.154
tempo medio di risposta (t)	-0.417	0.989
forza media (p)	0.333	0.0758
distanza media (d)	0.417	0.0320
deviazione standard del tempo di risposta (t)	-0.417	0.989
deviazione standard della forza (f/p)	0.0833	0.419
deviazione standard della distanza (d)	0.750	0.000139
entropia del bambino	0.417	0.0320
differenza massimo-minimo del battito cardiaco	0.750	0.0351

Tabella 2. Coefficienti di correlazione e valori di p delle diverse caratteristiche.

Sono presenti solo 8 campioni del battito cardiaco in quanto l'apparecchio che lo misurava non ha sempre funzionato.

zione significativa fra l'attività fisica durante il gioco in versione adattiva e non adattiva. Dall'analisi dei dati (REF) è emerso come molte delle caratteristiche poste in correlazione con il meccanismo di adattamento siano significative. In particolare, si è notato che il numero totale delle interazioni, la distanza media, la deviazione standard della distanza e l'accrescimento di entropia aumentano quando è in uso il meccanismo di adattività. Quando i bambini percorrono porzioni maggiori del terreno di gioco e compiono più passi, aumentano il numero delle interazioni e l'entropia.

Questo elemento, unito all'aumento della media e della deviazione standard della distanza, dimostra che i bambini compiono passi più lunghi per coprire l'area del terreno di gioco. Si nota anche che il tempo medio di risposta e la deviazione standard del tempo di risposta sono correlati all'adattività. Il tempo di risposta diminuisce quando si usa il meccanismo adattivo che è coerente con l'aumento della distanza coperta dal bambino. Inoltre, la differenza massimo/minimo del battito cardiaco rilevato è correlata all'adattività, e mostra un aumento nella differenza massimo/minimo del battito cardiaco (cioè dell'attività fisica), quando i bambini stanno partecipando al gioco con il meccanismo adattivo attivato. Riteniamo che le caratteristiche finora discusse siano importanti per conseguire un meccanismo di adattamento capace di promuovere l'attività fisica. Il gioco "Schiaccia l'insetto", nella versione che contiene il meccanismo di adattività, sembra essere in grado di promuovere l'attività fisica fra i giocatori.

Discussione e ulteriori sviluppi

Altri ricercatori hanno lavorato alla produzione di building block principalmente come apparecchi per input (per es., le *mattonelle z*, Richardson *et al.*, 2004). Qui ci siamo concentrati sul concetto di building block derivato dalla robotica, che ha bisogno sia di input sia di output. In ricerche affini, i ricercatori si sono concentrati su strumenti capaci di input per controllare una performance centralizzata musica/danza o per scopi di sorveglianza. Inoltre, avere building block dotati di capacità sensoriali, di elaborazione e di attuazione e comunicazione, dovrebbe consentirci di sviluppare il gioco fisico interattivo con unità in grado di adattarsi e imparare. Quindi lo sviluppo di playware ambientale mira a creare un ambiente intelligente per il gioco fisico attra-

verso lo studio di diverse problematiche derivate dall'intelligenza artificiale moderna, come l'adattività e l'apprendimento, e le applica all'interazione fisica in uno spazio interattivo. Nel lungo periodo, le soluzioni di intelligenza ambientale dovrebbero essere sviluppate su scale diverse, dagli oggetti agli ambienti, capaci quindi di sostenere diverse attività umane. Queste soluzioni sono basate su mattoncini intelligenti che permettono agli utenti non esperti di sviluppare artefatti ed ambienti interattivi intelligenti. Inoltre l'intelligenza artificiale moderna potrebbe essere usata per permettere all'ambiente di gioco di conoscere i modelli di interazione e adattare il gioco a sfide con gli utenti a diversi livelli e quindi a personalizzare l'ambiente di gioco. Il lavoro che stiamo conducendo con l'uso di tecniche basate su sistemi multi-agente e sull'addestramento basato sulle reti neurali indica che possiamo classificare i comportamenti dei bambini di diversa età con estrema precisione.

Per avere più libertà nella costruzione fisica con i building block, contiamo su un ruolo importante della comunicazione senza fili nella futura tecnologia degli ambienti di gioco. Già oggi abbiamo studiato l'uso dei palmari associato alla comunicazione WiFi con le mattonelle, ed abbiamo usato il sistema Ekahaau per localizzare il palmare che sarebbe un racconta-storie per l'utente. Tuttavia, nel futuro la tecnologia WiFi dovrebbe svolgere un ruolo ancora più importante nel campo della tecnologia playware, sostituendo la connessione tramite cavi dei mattoncini. Ciò dovrebbe permettere agli utenti finali di sistemare mattoncini del playware in qualsiasi luogo che essi vogliono trasformare in spazio di gioco (ad es., campi gioco veri e propri, cortili scolastici, piazze di città, rampe per skateboard, centri sportivi). Diventa quindi cruciale svolgere ricerca su come alimentare i vari building block di gioco indipendenti, che potrebbero non essere tutti fisicamente connessi.

CONCLUSIONI

Abbiamo presentato il concetto dei building block per creare tecnologia playware. Il concetto nasce dall'intelligenza artificiale embodied che mette in luce l'interrelazione fra morfologia e controllo nell'intelligenza. Di conseguenza, per creare artefatti intelligenti come il playware, diventa importante consentire un facile accesso alla manipolazione della morfologia e del controllo da parte del progettista (per es., il progettista di giochi, l'installatore di terreni di gioco o l'insegnan-

te) per consentire di individuare la configurazione del rapporto tra morfologia e controllo più idonea alla creazione di un sistema playware intelligente.

Allo stesso tempo, il concetto dei building block ha immediati vantaggi produttivi in quanto non solo rende possibile una produzione su grande scala, ma anche la disponibilità di una vastissima gamma di prodotti a partire da una singola produzione. I mattoncini possono essere configurati in qualsiasi disposizione fisica scelta dall'utente finale (la soglia minima di libertà è determinata dalla granularità del mattoncino). Nel caso dei terreni di gioco, una scuola potreb-

be desiderare un grande campo di gioco rettangolare nel cortile mentre una città potrebbe desiderare un terreno di gioco rettangolare in un parco ed un piccolo terreno di gioco cubico in una piazza. L'installatore può predisporre facilmente le tre diverse installazioni montando i building block prodotti su larga scala in modo da ottenere le configurazioni desiderate. Inoltre, l'architettura qui presentata fornisce al sistema la possibilità di riconoscere automaticamente la sua configurazione e questo rende facile per l'installatore, per l'insegnante o per il bambino caricare nuovi giochi sul sistema stesso.

riferimenti bibliografici

Brooks R. (1991). Intelligence without representation. *Artificial Intelligence*, 47, pp. 139-159.

Brooks R. (1986). A robust layered control system for a mobile robot. *IEEE Journal of Robotics and Automation*, 2(1), pp. 14-23.

Hasslacher B., Tilden M.W. (1995). Living machines. *Robotics and Autonomous Systems*, 15, pp. 143-169.

Lund H.H., Beck R., Dalgaard L. (2005). ATRON Hardware Modules for Self-reconfigurable Robotics. In Sugisaka and Takaga

(eds.) *Proceedings of 10th International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB'10)*, Oita, ISAROB.

Lund H.H., Klitbo T., Jessen C. (2005). Playware Technology for Physically Activating Play. *Artificial Life & Robotics*, 9(4), pp. 165-174.

Lund H.H., Marti P. (2005). Designing Manipulative Technologies for Children with Different Abilities. *Artificial Life & Robotics*, 9(4), pp 175-187.

Lund H.H., Vesisenaho M. (2004). I-Blocks in an African

Context. In *Proceedings of 9th International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB'9)*, Oita, ISAROB.

Lund H.H., Webb B., Hallam J. (1998). Physical and Temporal Scaling Considerations in a Robot Model of Cricket Calling Song Preference. *Artificial Life*, 4(1), pp. 95-107.

Nielsen J., Lund H.H. (2003). Spiking Neural Building Block Robot with Hebbian Learning. In *Proceedings of IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2003)*. IEEE Press, pp. 1363-1369.

Peremans H., Reijniers J. (2005). The CIRCE head: a biomimetic sonar system. In W. Duch (ed.), *Artificial neural networks: biological inspirations (ICANN2005)*. Berlin: Springer, pp. 283-288.

Pfeifer R., Scheier C. (1999). *Understanding Intelligence*. Cambridge: MIT Press.

Richardson B., Leydon K., Fernström M., Paradiso J.A. (2004). Z-Tiles: Building Blocks for Modular, Pressure-Sensing Floorspaces. In *Proceedings of CHI 2004*. ACM, pp. 1529-1532.