

Allo studio micromacchine capaci di operare in gruppo e di

I robo-sciami

Sono composti da unità che possono comunicare tra loro, adattarsi all'ambiente, cooperare o competere. Saranno usati nelle missioni di salvataggio e il loro punto di forza non è l'“intelligenza” del singolo, ma quella dell'intero gruppo.



coordinarsi da sole, formando un unico "super-organismo"

**Nuvola
di insettoidi**

Immaginario
scenario per
il futuro:
una sciame
di robotetti
vola su
una città.

Tra i vantaggi
di questa
tecnologia c'è
il fatto che,
anche se
alcuni robot
si danneggiano,
il gruppo può
continuare
la sua missione.



Possono cooperare

In un montaggio minirobot del Politecnico di Losanna, in Svizzera. Sono ispirati alle formiche.



Il comportamento di gruppo non è programmato, ma "emerge" spontaneamente

Volano, nuotano o camminano compatti. Si adattano all'ambiente nel quale si trovano e, se occorre, si attaccano l'uno all'altro per scalciare ostacoli, spostare le macerie e, più in generale, aiutare nelle operazioni di soccorso o nella costruzione di insediamenti umani.

Tutto ciò è quanto ci si aspetta da una nuova generazione di robot, costruiti per raggiungere tutti insieme un solo scopo, in maniera molto più efficace di quanto potrebbe fare ogni singolo androide, per quanto perfezionato.

Li stanno progettando in tutto il mondo, ma soprattutto in un politecnico svizzero, a Losanna, dove un'équipe guidata dall'italiano Dario Floreano realizza robot capaci di collaborare oppure di competere, ma anche di evolversi adattandosi - come esseri viventi - all'ambiente esterno.

● L'intelligenza del formicaio

Questo filone di ricerca ha già ispirato un romanzo di fantascienza: *Preda*, l'ultimo libro di Michael Crichton, autore di best seller come *Jurassic Park*, nel quale uno sciame di robot microscopici capace di comportarsi come un unico organismo si ribella all'umanità e ne mette in pericolo l'esistenza. L'idea di costruire sciami di ro-

bot che si autocoordinano è relativamente nuova, ma si ispira a un meccanismo molto diffuso in natura. Stormi di uccelli e banchi di pesci, infatti, possono muoversi in maniera coordinata, come se fossero un unico superorganismo. E lo stesso vale per mandrie, greggi e, talvolta, perfino folle di persone in stato di panico (v. *Focus* n. 104).

Ancora più sorprendente è il caso di alcuni insetti, come le formiche, le vespe, le api e soprattutto le termiti, che si organizzano per creare strutture complesse e che vanno molto al di là delle capacità dei singoli individui. I quali, per esempio, non hanno idea della complessità di un formicaio.

La capacità di realizzare costruzioni così complesse, insomma, non è scritta nei loro geni, ma è una proprietà che gli scienziati definiscono "emergente" (perché si crea spontaneamente) e "collettiva" (perché richiede la presenza di più individui).

● Le tre regole degli stormi

Come fanno a emergere questi comportamenti collettivi in natura, in realtà, è in gran parte dei casi ancora un mistero. Informatici e ingegneri, però, cercano comunque di realizzare sistemi automatizzati con proprietà simili. Il primo ad affrontare con suc-



cesso questa sfida fu l'informatico Craig Reynolds, che nel 1987 definì tre regole fondamentali che i volatili di un gruppo devono osservare affinché si formi uno stormo:

- 1) Non avvicinarsi oltre un certo limite ad altri oggetti o ad altri uccelli.
- 2) Mantenere la stessa velocità e

direzione dei compagni vicini.

3) Dirigersi verso il centro del gruppo più vicino.

Con queste tre regole, applicate a uccelloidi virtuali definiti *bird* (dall'inglese *bird-oid*, dove *bird* vuol dire uccello), è oggi possibile simulare in maniera molto realistica il comportamento di stormi.

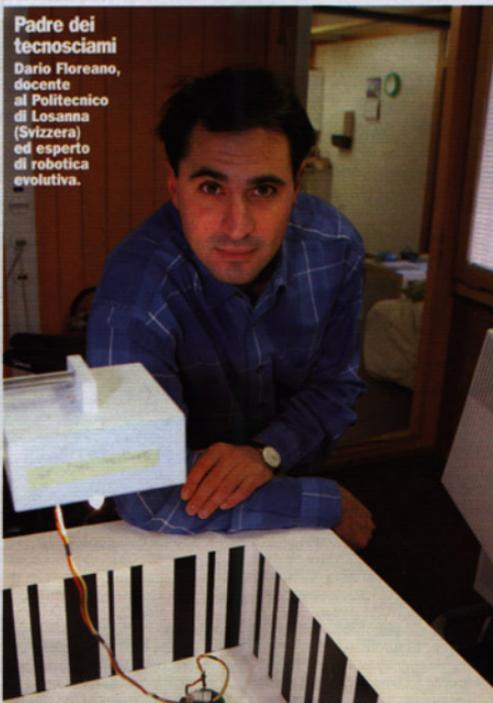


Copiano il "superpesce"

Banco di pesci vetro spazzini (*Parapriacanthus guentheri*), in una grotta sottomarina nel Mar Rosso. Varie specie di pesci sanno muoversi in gruppo formando un "superpesce" in grado anche di disorientare i predatori. Gli scienziati cercano di imitare, con i robot, simili comportamenti.

Padre dei tecnosciami

Dario Floreano, docente al Politecnico di Losanna (Svizzera) ed esperto di robotica evolutiva.



episodio *Voyager* della serie *Star Trek*.

● Dai boid ai robot

È possibile applicare queste tre regole anche ai robot? «Solo fino a un certo punto» spiega Dario Floreano, docente al Politecnico di Losanna. «Quando si ha a che fare con robot concreti, invece che con boid virtuali, il problema diventa molto complicato. I robot, infatti, non riescono a stabilire le distanze in maniera semplice». Di conseguenza, è difficile applicare le regole di Reynolds. In natura, uccelli e pesci non hanno questo problema: riescono a calcolare istintivamente le distanze, ma i robot non sono altrettanto bravi.

È possibile, allora, che i robot sviluppino comportamenti collettivi? Sì, ma saranno comportamenti più simili a quelli degli insetti che a quelli degli stormi. Proprio ispirandosi al mondo degli insetti, infatti, Floreano ha costruito robot dotati di un "codice genetico"

Geni artificiali e cervelli simulati

I robot del gruppo di Floreano (v. foto a sinistra) sono capaci di riprodursi ed evolversi, per adattarsi meglio all'ambiente, proprio come gli organismi viventi... ma come fanno?

■ **Dna elettronico.** Ogni robot, innanzitutto, rappresenta uno o più individui ed è dotato di un codice genetico-elettronico, cioè un'opportuna sequenza di bit per ogni individuo. Nel corso degli esperimenti, ogni robot si comporta secondo quanto scritto nei "geni" elettronici che ha in memoria e che vengono utilizzati a turno, uno alla volta. Alla fine del ciclo, i Dna si riproducono con una probabilità che è proporzionale al successo che hanno avuto nello svolgere un certo compito. Nel corso della riproduzione, inoltre, sono inserite anche mutazioni genetiche casuali.

■ **Reti neuronali.** La mente dei robot è invece costituita da un particolare tipo di programmazione che simula il comportamento delle cellule nervose: la rete neuronale. Come funziona? Grazie a un circuito integrato capace di modificare i flussi elettronici al suo interno. Come accade ai segnali elettrici tra i neuroni umani.



In competizione

Coppia di robot predatore-preda. Il primo (a sinistra) cerca di raggiungere il secondo (a destra), che invece deve scappare.

co" (una sequenza di bit, v. riquadro qui sopra) e capaci di apprendere dal mondo esterno, svilupparsi, riprodursi. Il loro comportamento "emerge" spontaneamente, non è preprogrammato come avviene di solito.

● Macchine altruiste

«Abbiamo visto che robot dotati di geni uguali hanno più alta probabilità di sviluppare comportamenti in cui sacrificano il proprio guadagno personale per favorire la colonia» dice Floreano. Si comportano, cioè, come le for-

miche, che spesso trasportano in gruppo carichi pesanti (vantaggio per la collettività), invece di carichi più leggeri (vantaggio per il singolo).

«I nostri studi confermano anche alcune teorie biologiche» spiega Floreano «secondo le quali, se tutti gli insetti di una colonia hanno lo stesso patrimonio genetico, ci sono alte probabilità che emerga un comportamento di tipo altruistico. È il caso di api, termiti e alcuni tipi di formiche. Se, invece, i geni sono diversi (come accade con gli scarafaggi), il comporta-

banchi di pesci e mandrie. E non si tratta soltanto di curiosità matematiche, ma di tecniche usate con efficacia anche nell'industria cinematografica: sono boid, per esempio, i pipistrelli e i pinguini del film *Il ritorno di Batman* (1992), i *Galimimus* nel film *Jurassic Park* (1993) e le creature spaziali nell'e-

Bastano tre regole per simulare mandrie e stormi

►mento finale risulta più individualistico».

● In cerca di luce

Robot che cooperano come le formiche sono stati sviluppati anche in altre parti del mondo. C. Ronald Kube e Hong Zang dell'Università di Alberta, in Canada, per esempio, hanno realizzato robot-formica con il compito di spingere oggetti verso una sorgente luminosa: questi robot cercano e trovano l'oggetto, provano a spingerlo e, se non ci riescono, cambiano posizione. In questo caso, il comportamento collettivo non nasce né da un adattamento all'ambiente, né dalla comunicazione tra robot, ma da semplici regole preprogrammate.

Altri gruppi di ricerca studiano robot che sono tutti in comunicazione tra loro: invece di essere controllati da un'unità centrale, o di muoversi ognuno per conto proprio, questi robot sono piuttosto controllati da una *swarm intelligence* (intelligenza dello sciame) collettiva. Rush Robinett, dei Sandia National Laboratories (Usa),



La città delle termiti

Le termiti (sopra) sono insetti capaci di costruire "edifici" per loro immensi (a destra, un nido).



Si salvi chi può!

I *Gallimimus* del film "Jurassic Park", di Steven Spielberg (qui una scena), sono stati disegnati al computer. È un programma simulava il loro comportamento collettivo.

per esempio, ha realizzato una tecnica denominata *swarming*, che permette a un gruppo di robot di cercare un obiettivo (come uno sciatore travolto da una valanga) nel modo più efficace possibile. Come? Confrontando una serie di regole preimpostate con le reciproche distanze, calcolate istante per istante.



● Sciame componibili

Sempre per svolgere operazioni di salvataggio di questo tipo, il gruppo di Floreano sta lavorando a un altro progetto ancora: *Swarmbot* (v. figura nella prossima pagina). «L'idea è quella di creare un sistema robotico composto da tanti elementi, ciascuno dei quali si chiama S-bot, che possano comunicare tra loro e anche attaccarsi fisicamente l'uno all'altro, per compiere missioni impossibili per il singolo robot, come trasportare oggetti molto grandi oppure scavare buche nel terreno» dice Floreano. «Questi sistemi potrebbero essere usati per operazioni di salvataggio, per esempio in caso di ri-



Robot sviluppati dai laboratori Sandia (Usa) per il soccorso.

Gli altri progetti nel mondo

■ Formiche informatiche

(www.newscentist.com/hottopics/ai/antimniphone.jsp). Sono oggi diffusi in tutto il mondo studi di informatica ispirati al mondo delle formiche. Per esempio, quelli del centro di ricerche Hp di Bristol per lo smistamento dei pacchetti di dati in rete (Uk) e quelli della British Telecom per le reti telefoniche.

E anche in Italia, al Politecnico di Milano, un gruppo guidato da Alberto Colomi ha scritto un programma in cui formiche artificiali visitano una serie di nodi di una rete e individuano la via più breve per collegarli.

■ Robot antivalanga

(www.sandia.gov/media/NewsReleases/NR2000/avalanch.htm). Ideati ai Sandia Laboratories (Usa, v. foto a sinistra).

■ Formiche robot

(<http://web.mit.edu/invent-news-releases/n-press-03SPhtml>; www.robot.com/rd/p07_Swarm.asp). Altri robot ispirati al mondo degli insetti.

■ Hopping robot

(<http://robotics.jpl.nasa.gov/people/florini/hopbot/homepage.html>). Progettati dalla Nasa per l'esplorazione dei pianeti. Agiscono in gruppo, ma non comunicano tra loro.

■ Api della Nasa

(<http://bees.jpl.nasa.gov/>). Sciame di api-robot volanti, concepite per l'esplorazione di

Insieme ai robot, arriva anche la polvere intelligente

Nuove di sensori tutti collegati tra loro per esplorare zone inquinate, campi di battaglia o incendi: sono i sistemi "smart dust" (polvere intelligente), costituiti da microsensori (di temperatura, umidità, luce) che comunicano tra loro.

■ **Minuscoli.** I sensori esistenti sono per ora larghi alcuni centimetri, ma un gruppo dell'Università della California (Usa), guidato da Kristofer Pister, dovrebbe realizzare prototipi di un millimetro cubo entro un anno circa (a destra).

■ **Antincendio.** La società Accent (Usa) sta già collaborando con il gruppo di Pister alle prime applicazioni: sistemi di monitoraggio delle foreste, a scopo

antincendio. I sensori, lanciati da un aereo, saranno in grado di individuare l'incendio e il fronte di avanzamento delle fiamme.

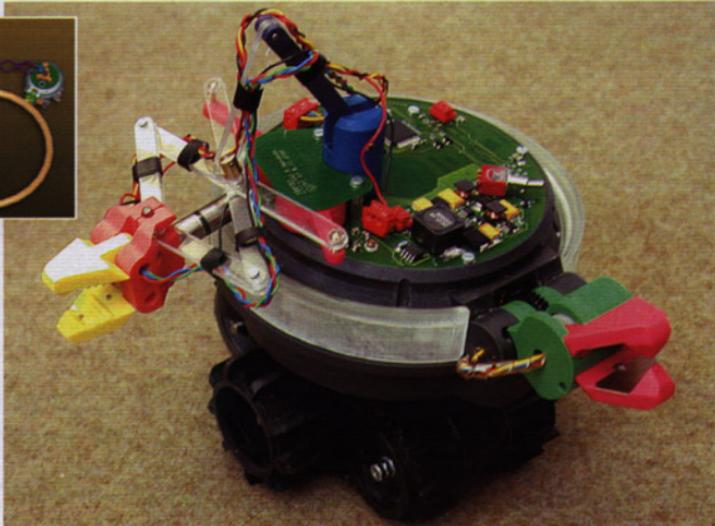
Due "grani" (prototipi) di smart dust.





L'unione fa la forza

Simulazione di uno Swarm-robot (in alto), un "super-robot" composto da unità autonome chiamate S-bot (a destra).



Marte: comunicano tra loro e con un computer sulla Terra.

■ Scout e ranger

(<http://distrobo.cs.umn.edu/index.php>). Dell'Università del Minnesota (Usa); due squadre di robot con gerarchie e funzioni diverse. I ranger, più grandi, coordinano il lavoro degli scout, più piccoli e semplici.

■ Robot modulari

([www2.parc.com/spl/projects/m/odrobots\(chain/polybot\)](http://www2.parc.com/spl/projects/m/odrobots(chain/polybot))). Un esempio è PolyBot, messo a punto da Marc Yim dello Xerox Parc di Palo Alto (Usa): composto da cubi, si trasforma in serpente, ragno o cingolo.

■ Multibots

(<http://www.cc.gatech.edu/almo/saic/faculty/arkin/>). In molti laboratori si fanno esperimenti per far rimanere in formazione gruppi di robot. Ronald Arkin, del Georgia Institute of Technology (Usa), ha individuato tre diversi metodi per mantenere in formazione un sistema multibot: facendo riferimento al vicino, al leader, oppure al centro del gruppo.

■ Aerei intelligenti

Géraud Granger del Centro Cna di Tolosa (Francia) ha sviluppato un sistema di swarm intelligence, simile a quelli usati per i robot, per il coordinamento automatico degli aerei al fine di evitare incidenti (v. foto qui sotto).



La "swarm intelligence" sarà forse usata pure per gli aerei.

Spesso un gruppo di robot può svolgere compiti che il singolo non riuscirebbe a fare

► cognizione in un edificio crollato o dopo un incendio».

● Prede e predatori

Oltre a collaborare, però, i robot possono essere progettati anche per competere. Per esplorare questa possibilità, Floreano ha realizzato sistemi preda-predatore: il robot-predatore ha buone capacità visive e deve catturare il robot-preda, che invece ha una vista a corta distanza, ma è più veloce.

«Nei nostri test entrambi i robot (preda e predatore) si possono spostare per due minuti» spiega Floreano. «Immaginiamo che i due si urtino (vittoria del predatore) dopo un minuto e mezzo, che è pari al 75% del tempo totale. In questo caso, il predatore avrà una probabilità del 25% di riprodursi, mentre la preda il 75%».

A questo punto, il processore dei robot simula la riproduzione degli individui e introduce alcune mutazioni genetiche. «Nel corso della competizione sono favorite le mutazioni che tendono a sbilanciare o a confondere l'avversario» spiega Floreano.

● Strategie di battaglia

Lo sviluppo di queste strategie di attacco e difesa richiede una

ventina di generazioni. All'inizio, infatti, i robot sono fermi e non sanno che cosa fare. Poi il predatore inizia a seguire la preda. «Dopo alcune generazioni, il predatore non segue più la preda (che è molto più veloce), ma la guarda, la segue girando su se stesso e l'attacca cercando di intercettare la traiettoria» racconta Floreano.

«Un'altra strategia è quella detta "del ragno e della mosca": spesso la preda, non disponendo di una visione a lungo raggio, si muove velocemente intorno al muro dell'arena; il predatore, allora, invece di usare la visione, si sposta all'indietro finché trova il muro, e qui

si ferma ad aspettare la preda».

Sembra quasi, insomma, di trovarsi di fronte a esseri viventi. Oltretutto, spiega Floreano, l'evoluzione dei robot è molto più veloce se avviene in condizioni di competizione. Nonostante le apparenze, però, questi automi sono molto lontani dallo sviluppo della benché minima forma di intelligenza. Perfino una formica sarebbe un genio, a confronto.

Andrea Parlangei

(ha collaborato Andrea Minoglio)

Per saperne di più:

Su Internet: <http://asl.epfl.ch/> Il sito del Politecnico di Losanna.



Invasione di cavalletto in Mauritania (Africa)