

Sistemi Multi Agente

SWARM-BOTS



Edoardo Colantonio
Matricola 0000274883

Swarm-Bots

- Cos'è:
 - È un progetto che prevede l'ideazione e la realizzazione di sistemi con:
 - Capacità di **auto-organizzarsi**
 - Capacità di **auto-assemblarsi**.
- Cosa sono in grado di fare?
 - Risolvere un piccolo numero di compiti tali per cui:
 - Un unico bot non può realizzare il compito.
 - E' necessario uno sforzo cooperativo.
- Il motto:
 - L'unione fa la forza!!!

Idea

- In che modo realizzare questi sistemi?
 - Idea:
 - Gli Swarm-Bots traggono ispirazione dalla natura, in particolare dai modelli delle colonie di insetti (**Swarm Intelligence**).
- Swarm Intelligence - Due concetti chiave:
 - Organismi molto semplici.
 - Elevato numero di tale organismi.
- La semplice presenza di queste due condizioni, dà vita a comportamenti con un elevato grado di complessità.

Swarm Intelligence



- Intelligenza collettiva emergente in gruppi di agenti (semplici).
- Prende origine da metafore e modelli del comportamento di:
 - Insetti sociali.
 - Formiche e ricerca di cibo, ripartizione del lavoro.
 - Riordinamento di larve.
 - Termiti e costruzione di nidi.
 - Api e costruzione e disposizione di aree specifiche nell'alveare.

Comportamenti Complessi 1/2



- Le formiche sono in grado di:
 - Costruire/Riparare formicai altamente strutturati.
 - Esplorare l'ambiente alla ricerca di più cibo.
 - Trovare il percorso più corto dal formicaio al cibo.
 - Dividersi in squadre.
 - Utilizzare meccanismi di apprendimento.

Comportamenti Complessi 2/2

- Concetti chiave:
 - Tutti questi comportamenti così sofisticati vanno ben oltre l'intelligenza delle singole formiche.
 - Sono il risultato di una **complessa interazione**.
- In conclusione:
 - Il formicaio è molto più della semplice somma delle formiche che ne fanno parte (olismo).
- Olismo:
 - “Il tutto è più della somma delle sue parti”.

Concetti fondamentali...

- Stigmergia:

- Particolare forma di **comunicazione indiretta** usata dagli insetti sociali per coordinarsi.
- Due individui interagiscono indirettamente quando uno di essi modifica l'ambiente e l'altro reagisce al nuovo ambiente in un momento successivo.

- Auto-Organizzazione:

- Insieme di meccanismi dinamici nei quali compaiono strutture a livello globale, in seguito alle interazioni tra le componenti di livello inferiore.

- **Importanti meccanismi di Feedback:**

- **Positivo** (amplificazione).
- **Negativo** (regolazione).

Feedback Positivo

- Esempio:
 - Un agente influenza un altro modificando il suo comportamento.
 - Un classico esempio è quello in cui una formica lascia del ferormone lungo la strada che conduce dal formicaio al cibo.
 - Le altre formiche sono attratte dal ferormone e seguono la stessa strada
 - In questo modo la carica di ferormone aumenta
 - Ancora più formiche verranno attratte.

Il percorso viene consolidato.

Feedback Negativo

- Esempio:
 - L'ambiente fa evaporare il ferormone.
 - I percorsi meno frequentati avranno sempre meno ferormone.
 - Sempre meno formiche li sceglieranno.

Questo meccanismo consente alle formiche di trovare sempre il percorso minimo dal formicaio al cibo.

Dalle Formiche ai Swarm-Bots

- Swarm-Bots vuole sfruttare:
 - Il fatto che “**semplici interazioni**” locali tra piccoli organismi possano far emergere comportamenti estremamente intelligenti.
- Inoltre vantaggi quali:
 - **Elaborazione distribuita.**
 - **Robustezza.**
 - **Adattabilità.**
 - **Flessibilità.**
 - **Scalabilità.**
 - **Interazione diretta e indiretta.**

Elaborazione Distribuita 1/2

- In un sistema decentralizzato, ogni individuo prende decisioni indipendenti dagli altri:
 - Ad esempio, api, formiche prendono la maggior parte delle loro decisioni da sole senza essere disciplinate da un singolo leader.
 - Questi sistemi consentono di raggiungere un comportamento estremamente efficiente ed organizzato all'interno della colonia.
- In un sistema distribuito il controllo è molto più semplice in confronto ad un sistema decentralizzato.
- Quest'ultimo, infatti, richiede dei canali affidabili per la comunicazione tra robot e il controllore centrale.

Elaborazione Distribuita 2/2

- Vantaggi degli Swarm-Bots:
 - Il costo e la complessità di un sistema centralizzato aumenta in modo esponenziale con il numero di robot.
 - Al contrario, i robot, in uno sciame sono agenti dotati di un flusso di controllo autonomo:
 - Questo semplifica le fasi di design e porta ad una riduzione dei costi e una maggiore robustezza.

Robustezza

- Vantaggi degli Swarm-bots:
 - La robustezza è direttamente legata al concetto di elaborazione distribuita:
 - Infatti, le carenze di controllo o la perdita di alcuni componenti in un sistema centralizzato implicherebbero nella maggior parte dei casi il fallimento completo di tutto il sistema.
 - In un sistema decentralizzato, la perdita o il fallimento di un unico agente di solito non è particolarmente grave.
 - La **ridondanza** e la conseguente robustezza sono caratteristiche tipiche delle colonie di insetti, che sono in grado di funzionare anche dopo la rimozione di molti individui.

Adattabilità

- Vantaggi degli Swarm-bots:
 - Gli swarm-bots sono in grado di adattarsi naturalmente e rapidamente al mutare delle condizioni ambientali per preservare le prestazioni del sistema.
 - Il sistema è in grado di creare automaticamente nuove risposte ai cambiamenti inattesi del sistema attraverso situazioni complesse dinamiche che nascono da interazioni tra le componenti e il loro ambiente.

Un po' di terminologia...

- Cosa è un S-bot:

- E' un singolo agente (bot), fisicamente **indipendente**.
- È in grado di:
 - auto-assemblarsi collegandosi e scollegandosi dagli altri s-bot.
 - **Sa utilizzare artefatti.**
- Ha **percezione dell'ambiente**.



- **Swarm-bot**

- Sistema formato dall'unione solidale di più S-bot.
- Lo Sciame-bot può svolgere compiti come:
 - L'esplorazione,
 - Il trasporto di oggetti pesanti,
 - La navigazione su terreni accidentati.
- Compiti che un singolo s-bot non è in grado di risolvere.

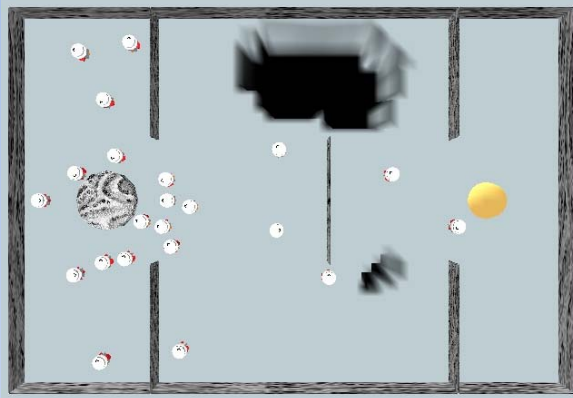


Obbiettivi del progetto

- **Formazione dinamica:**
 - Ogni **S-bot** dovrebbe essere in grado di assemblarsi in uno swarm-bot nel caso in cui il problema da risolvere necessiti di un **intervento co-operativo**.
 - **Swarm-bot** dovrebbe essere quindi in grado di muoversi senza un controllo centralizzato, e di riconfigurarsi dinamicamente lungo la strada, rispondendo ai cambiamenti dell'ambiente (ad esempio, per passare attraverso uno passaggio stretto).
- **Essere in grado di muoversi su terreni accidentati:**
 - Swarm-bot dovrebbe essere in grado di navigare su terreni irregolari che presentano buche e ostacoli.
 - Il gruppo dovrebbe “intelligentemente” essere in grado di assemblarsi per superare situazioni ostili, come ad esempio il passaggio di fori più grandi di un s-bot o la scalata di un ostacolo alto.
- **Trasportare oggetti:**
 - Swarm-bot dovrebbe essere in grado di trasportare oggetti pesanti grazie alla collaborazione degli s-bot per il trasporto, similmente a quello che fanno le formiche quando recuperano il cibo.

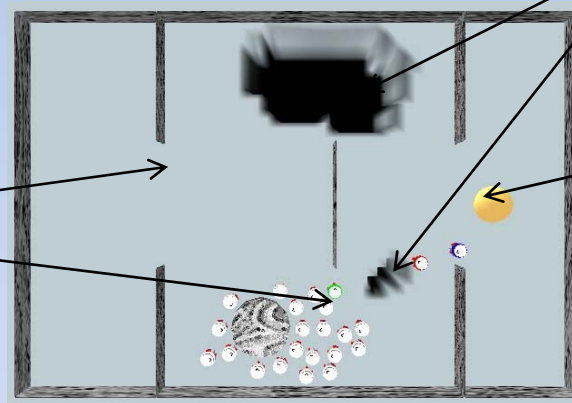
Esempio

Fase Iniziale



- **Goal:** riuscire a muovere l'oggetto evitando gli ostacoli raggiungendo il deposito.

Fase intermedia



Buchi

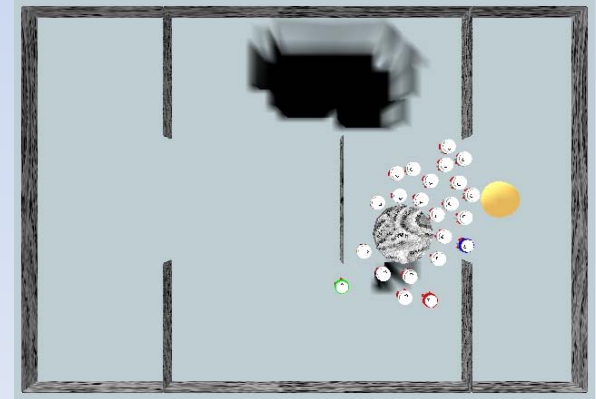
Deposito

Varchi

- **Note:**

- Il peso dell'oggetto è tale per cui solo tutti i s-bot sono in grado di muoverlo.
- Il passaggio tra i varchi necessita di particolari configurazioni (gli s-bot devono allinearsi per passare).
- Lo swarm bot è in grado di percepire i buchi o di auto-organizzarsi per affrontarli.

Fase finale



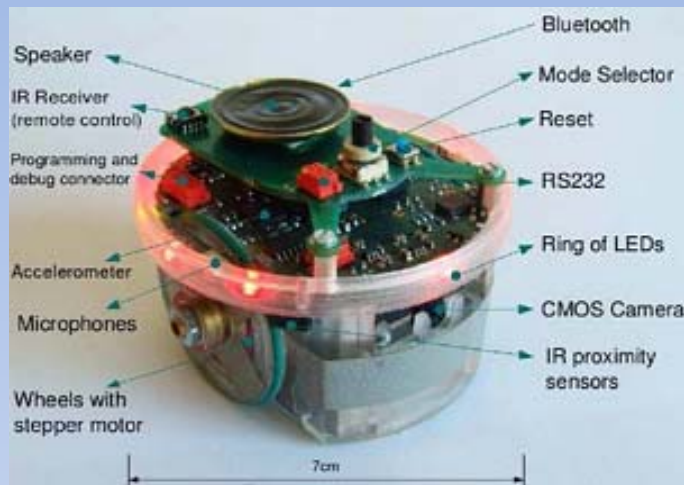
Ambiente

- **Ogni computazione avviene sempre in qualche contesto (ambiente).**
- **Comportamento spesso imprevedibile e non formalizzabile.**
- Più i componenti sono consapevoli dell'ambiente in cui sono immersi, più diventa facile per essi riorganizzarsi in modo automatico:
 - **Context-awareness**
 - **Self-organisation**
- Occorre avere percezione dell'ambiente...

Percezione dell'ambiente

- L'ambiente è imprevedibile:
 - La percezione dell'ambiente avviene mediante l'utilizzo dei **sensori**.
 - L'ambiente viene modificato mediante l'utilizzo degli **attuatori**.
- Rappresentazione dell'ambiente:
 - Più gli s-bot sono “intelligenti” più riescono a formalizzare l'ambiente.
- Per avere più espressività occorrono inoltre tecniche di “learning”, l'agente deve poter acquisire nuova conoscenza:
 - **Reti neurali.**
 - **Algoritmi genetici.**

Swarm-Bots Hardware



Attuatori	Sensori
Anello LED multicolore	Videocamera a colori VGA
Gripper (pinza)	Sensore di umidità
Mori passo-passo per le ruote	Sensore di temperatura
2 Speakers	Accelerometro
Braccio flessibile.	Sensore di torsione
Torretta con camera omnidirezionale	Sensore infrarosso
	Sensore di trazione
	Bluetooth
	Microfono

Approccio Evolutivo 1/2

- **L'incertezza** nei confronti **dell'ambiente**, sia in termini di caratteristiche non note in maniera precisa, sia in termini di effetti delle azioni, rappresenta, assieme alla variabilità delle caratteristiche ambientali:
 - Il problema più ostico nell'ingegnerizzazione di sistemi di controllo per agenti autonomi.
- L'approccio evolutivo ridimensiona questo aspetto in quanto lo sviluppo dei controllori si basa su un processo di **valutazione del comportamento globale del sistema nel suo ambiente**.

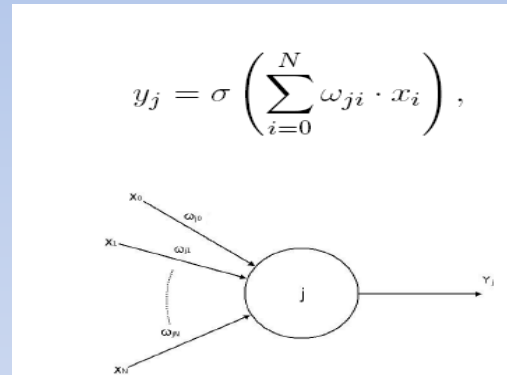
Approccio Evolutivo 2/2

- **Motivazioni:**
 - **Ha senso parlare di un determinato comportamento solo nel momento in cui questo si manifesta attraverso l'interazione con un ambiente.**
 - Dato un controllore è difficile predire il comportamento che si potrà osservare una volta che questo guida un agente.
- **E' però vero anche il contrario:**
 - Dato un comportamento desiderato è difficile dire quale sia il controllore migliore per ottenerlo, ovvero progettare un sistema di controllo che lo implementi.

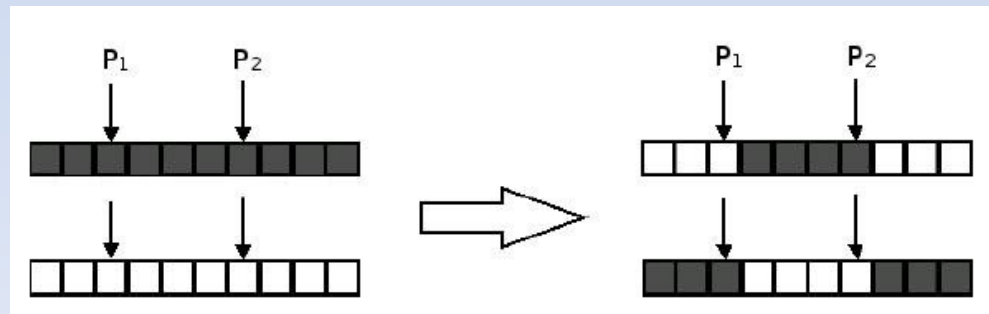
Approccio Evolutivo Strumenti

- Occorrono strumenti evolutivi.
- I più diffusi:

– Le reti neurali:



– Gli algoritmi genetici:



Approccio evolutivo

Cosa ci consente di fare?

- **Trovare nuove soluzioni ai problemi:**
 - Senza dover acquisire nuove informazioni sull'ambiente.
- **Realizzare nuova conoscenza:**
 - Mediante meccanismi di valutazione delle nuove soluzioni trovate.

Reti neurali 1/2

- **Caratteristiche:**
 - **Sono robuste nei confronti del rumore.**
 - Variazioni lievi dei segnali di ingresso non comportano, in genere, un cambiamento drastico del comportamento della rete.
 - Questa proprietà è ideale per i robot mobili, in quanto utilizzano sensori rumorosi in ambienti rumorosi;
 - Piccole variazioni dei parametri della rete comportano, nella maggior parte dei casi, cambiamenti lievi nel comportamento del robot.
 - **Lavorano con informazioni di basso livello, ideale per molti casi di robotica evolutiva in cui si sfruttano agenti semplici per ottenere comportamenti complessi sfruttando gruppi di robot o il loro interagire con l'ambiente.**

Reti neurali 2/2

- Paradigmi di apprendimento:
 - Supervisionato: la rete impara a riconoscere un insieme di configurazioni d'ingresso desiderate.
 - Competitivo o non Supervisionato: i neuroni competono per specializzarsi a riconoscere un particolare stimolo.
 - Con rinforzo: tipico di sistemi che compiono azioni composte da sotto-azioni. Al sistema si fornisce un "rinforzo" che il sistema interpreta come segnale positivo/negativo sul suo comportamento.
- Fasi di funzionamento:
 - Training: si memorizzano le informazioni desiderate.
 - Testing: si recuperano le informazioni memorizzate.

Algoritmi genetici 1/2

- **Idea:**

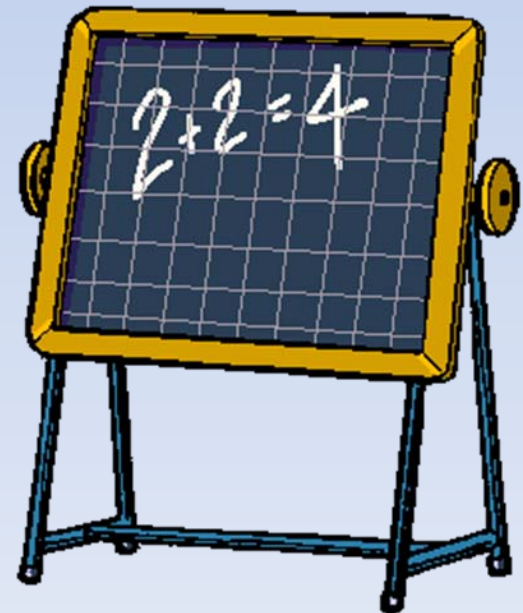
- Alla base della teoria evolutiva c'è il concetto che gli individui più adatti all'ambiente abbiano una maggior probabilità di sopravvivere alle condizioni avverse (clima, malattie, predatori...) e dunque di riprodursi.
- **Con la riproduzione, parte delle caratteristiche che hanno consentito ai genitori di sopravvivere si tramandano alla prole.**
 - Questo procedimento porta ad un graduale adattamento della specie nel tempo.
- Gli algoritmi genetici non sono altro che evoluzione artificiale, in cui il criterio di selezione è definito dal programmatore sulla base delle caratteristiche che si vuole abbiano gli individui migliori.
- L'algoritmo lavora su un insieme di individui, chiamato popolazione, composto da soluzioni codificate di un problema.

Algoritmi genetici 2/2

- L'algoritmo genetico funziona iterando i seguenti passi:
 - 1) Valutazione degli individui della generazione corrente;
 - 2) Selezione degli individui;
 - 3) Riproduzione (creazione della generazione successiva):
 - **Crossover.**
 - **Mutazione.**
- **Fitness:**
 - **Misura le capacità di un individuo di adattarsi all'ambiente.**

Apprendimento 1/2

- L'apprendimento è una delle fasi più delicate nella realizzazione di uno swarm-bot.
- E' il modo con cui l'approccio evolutivo viene messo in atto.

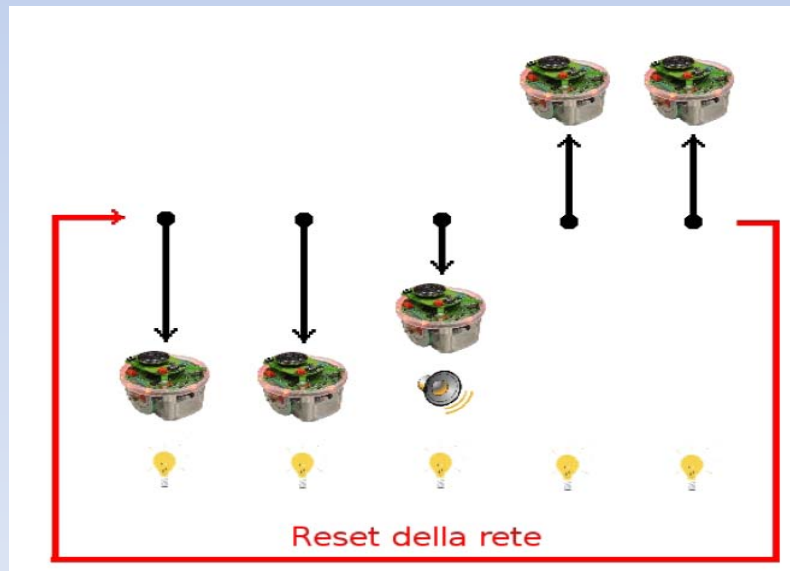


Apprendimento 2/2

- Esso si avvale di due metodologie:
 - Simulazione.
 - Prototipazione.
- Notevole importanza ha la fase di simulazione:
 - Con cui possono essere studiate le varie tipologie di apprendimento.
- Esistono vari meccanismi che consentono l'apprendimento ; meccanismi di:
 - Apprendimento individuale.
 - Apprendimento sociale.

Apprendimento individuale.

- Scopo:
 - Addestrare un s-bot ad eseguire un compito individuale come ad esempio seguire una sorgente luminosa.





Apprendimento Sociale.

- **Scopo:**
 - Addestrare un s-bot a simulare il comportamento di un altro (esempio simulare il comportamento precedente).
- L'apprendimento è di tipo sociale in quanto, mentre nell'altro esperimento l'evento scatenante l'apprendimento è la percezione del suono, in questo caso, poiché il suono non viene mai percepito, l'unico modo che il learner ha di capire come muoversi è imitare il demonstrator
- **Due figure fondamentali:**
 - **Learner:** deve imparare un compito.
 - **Demonstrator:** sa svolgere un compito.
- Il compito di apprendimento sociale, è da un punto di vista evolutivo, più ostico in quanto, mentre nell'apprendimento individuale esiste un input ben definito (il suono) che indichi di cambiare il comportamento, nell'altro caso è il processo evolutivo che deve individuare quali input determinino il comportamento da tenere.

Simulazione 1/2

- **Simulazione:**

- È il processo con cui possiamo studiare l'evoluzione dinamica di un **modello** di sistema, di solito attraverso tools computazionali.
- **Consente:**
 - Un'osservazione più o meno diretta del fenomeno.
 - Formulare teorie o ipotesi di lavoro.
 - Di validare\invalidare teorie.

- **Modello:**

- Implementa le teorie che devono essere verificate durante la simulazione.

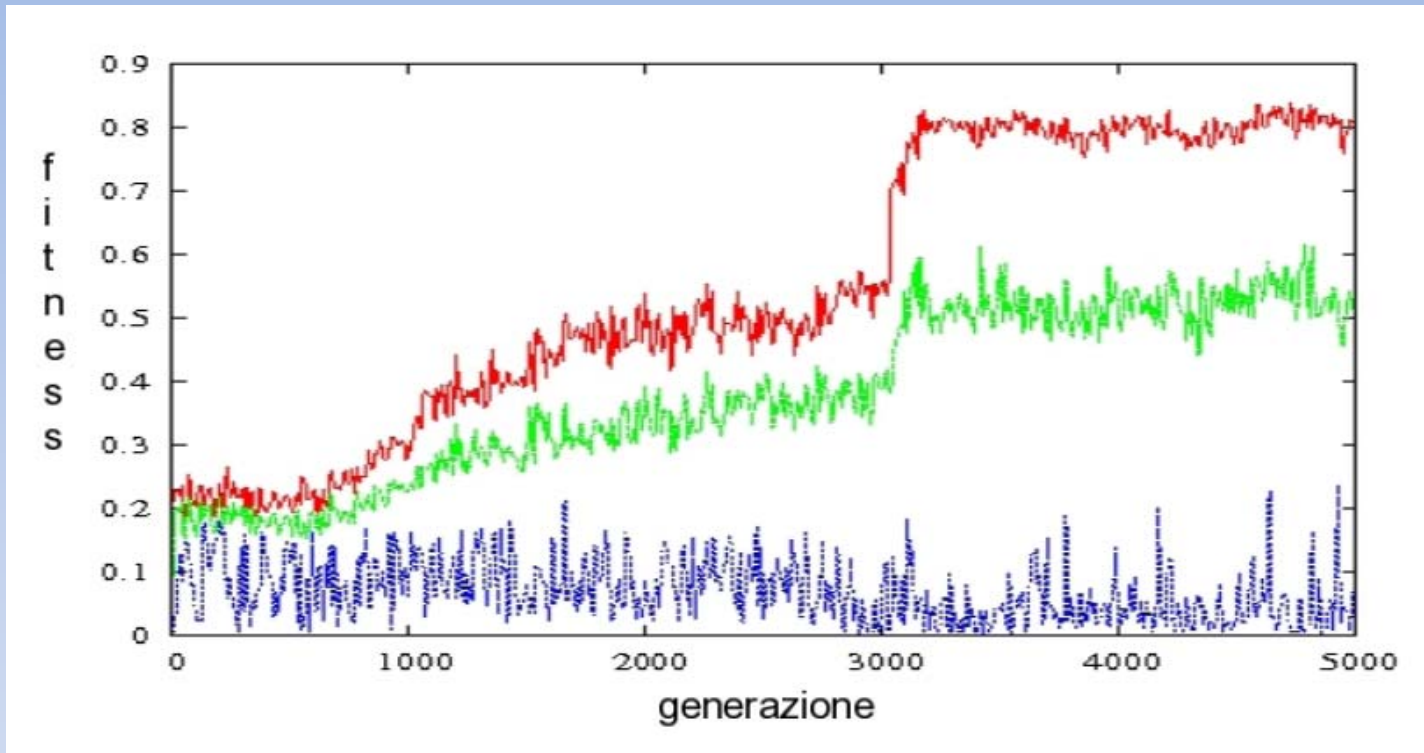
- **Vantaggi:**

- **Diminuzione dei tempi morti.**
- Abbattimento dei costi.
- **Salvaguardia dell'hardware dei robot.**
- L'uso di un software consente di affrontare **problemi complessi** in **tempi ragionevoli**, eventualmente eseguendo in parallelo più simulazioni per aumentare la probabilità di trovare una buona soluzione.
- **Velocizza le fasi di addestramento.**

Simulazione 2/2

- Difficoltà:
 - La difficoltà maggiore nella costruzione di simulatori sta nel fatto che:
 - Tipicamente si desidera che i controllori che mostrano un certo comportamento in ambiente virtuale ne mostrino uno analogo nel mondo reale. [Jakobi]
- Possibili approcci:
 - Apprendimento individuale.
 - Apprendimento sociale.

Andamento della fitness

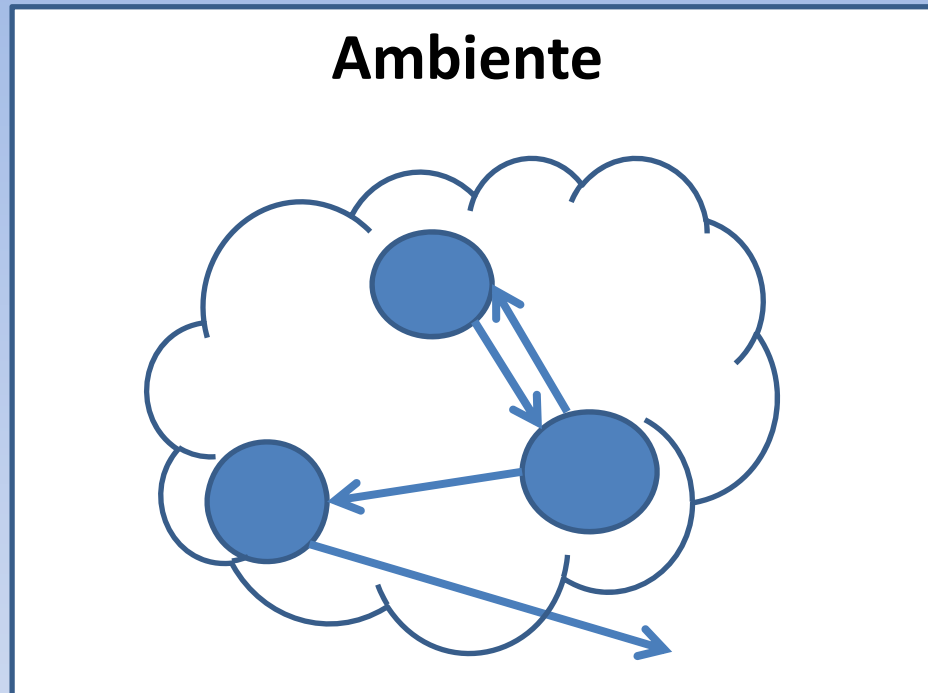


- Dall'analisi del grafico si può notare la presenza di un brusco cambiamento nel valore della **fitness attorno alla generazione 3000**, che passa da valori prossimi a 0,5 a valori ben più alti.
- Senza una tecnica di simulazione si sarebbero dovuti effettuare questi esperimenti manualmente.

Comunicazione

- È alla base di qualsiasi sistema computazionale:
 - In quanto consente l'interazione tra i vari sistemi computazionali.
 - **Senza comunicazione non ci potrebbero essere sistemi MAS.**
 - Negli agenti l'interazione può avvenire attraverso lo scambio di informazioni.
 - Una comunicazione tra agenti può durare più di un singolo atto di comunicazione.

Meccanismi Di Comunicazione



- Come avviene la comunicazione tra gli s-bot?
 - Mediante scambio di messaggi.
 - Mediante modificazione dell'ambiente:
 - Emissione di suoni.
 - Emissione di sorgenti luminose.
 - Ecc...

Bibliografia I

- Riferimenti:

- <http://iridia.ulb.ac.be/~mdorigo/HomePageDorigo>
- www.swarm-bots.org
- http://www.sci.unich.it/~aroli/dida/iasc/lucidi0506/swarm_intelligence.4perpage.pdf
- http://en.wikipedia.org/wiki/Swarm_robotics
- <http://www.idsia.ch>

Bibliografia II

- Riferimenti:

- [D00] Marco Dorigo, Ant algorithms and stigmergy, 2000.
- Swarm Intelligence techniques for task allocation and sub-task merging in multi-agent systems
- Path Formation and Goal Search in Swarm Robotics
- [M06] Francesco Manda, The Cooperation of Swarm-Bots, 2006.
- [G07] Pini Giovanni, Strategie Evolutive Per Compiti Di Apprendimento Sociale In Robot Autonomi, 2007.
- [L05] Stefano Lanza, Active Vision in a Collective Robotics Domain, 2005.

FINE