
Intelligenza collettiva

Swarm intelligence

Andrea Roli

`a.roli@unich.it`

Dipartimento di Scienze
Università degli Studi “G. D’Annunzio”
Chieti-Pescara

Swarm Intelligence



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.

Swarm Intelligence

Proprietà delle metafore di sistemi di insetti sociali:

- Elaborazione distribuita
- Interazioni dirette e indirette
- Agenti con semplici capacità computazionali
- Flessibilità
- Robustezza

Swarm Intelligence

Problemi risolti con successo dagli insetti sociali:

- Ricerca di cibo
- Ripartizione del lavoro
- Raggruppamento di oggetti
- Ordinamento di larve
- Costruzione di nidi
- Trasporto cooperativo

Auto-organizzazione

Il principio fondamentale del successo di sistemi a intelligenza collettiva è l'auto-organizzazione:

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

Caratteristiche:

- Creazione di strutture spazio-temporali
- Multistabilità (esistenza di più stati stabili)
- Esistenza di biforcazioni a fronte di variazioni di parametri critici.

Auto-organizzazione

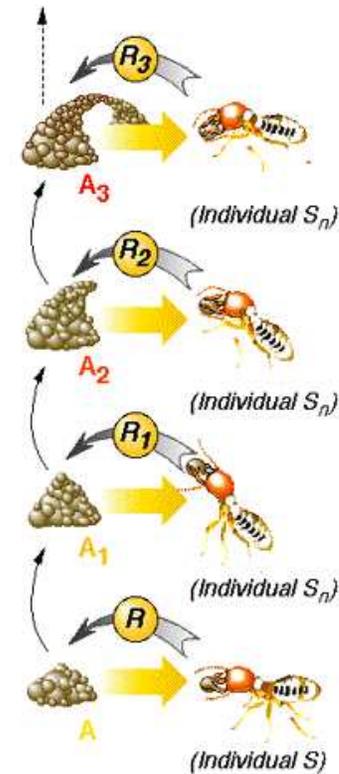
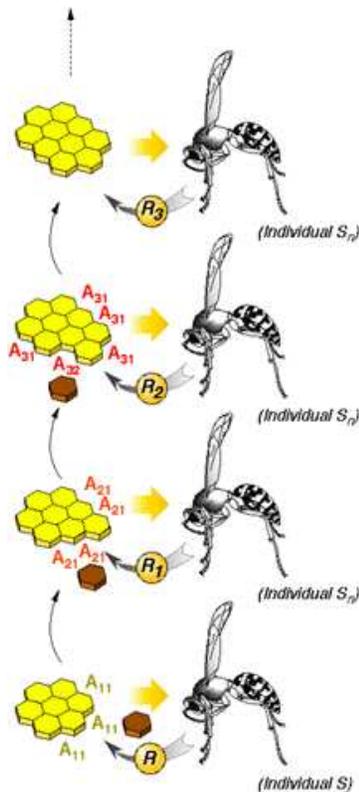
Ingredienti:

- Interazioni multiple tra agenti
 - Agenti semplici (per esempio basati su regole)
 - Sistemi composti da numerosi agenti
- Feedback positivo (amplificazione)
 - Amplificazione di fluttuazioni casuali e formazione di strutture
 - Rinforzo dei *pattern* di comportamento più “diffusi”
- Feedback negativo (regolazione)
 - Saturazione
 - Competizione
 - Esaurimento di risorse

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.



Ant Algorithms

Algoritmi ispirati al comportamento collettivo delle formiche durante la ricerca di cibo.

Applicati inizialmente a problemi di ottimizzazione combinatoria (Dorigo 1992).

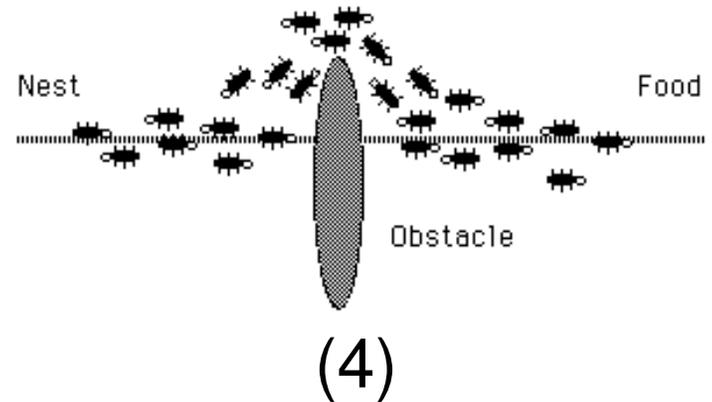
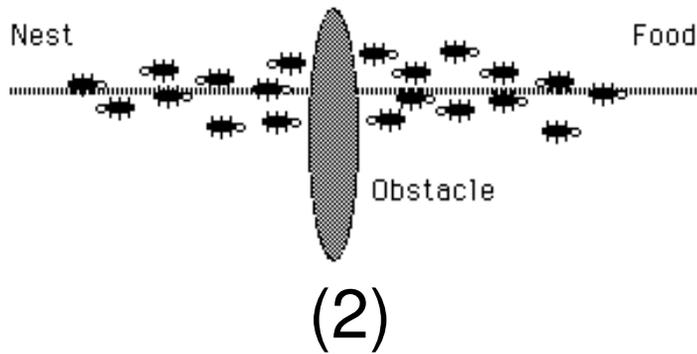
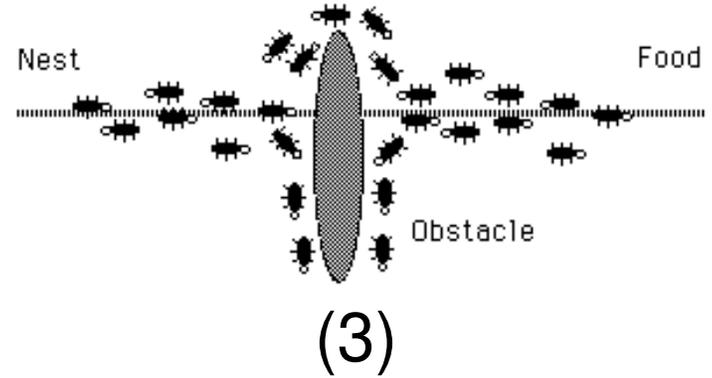
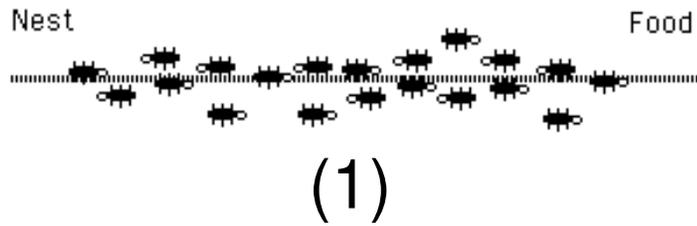
Applicati anche a problemi di routing e classificazione di informazioni.

Ant Algorithms

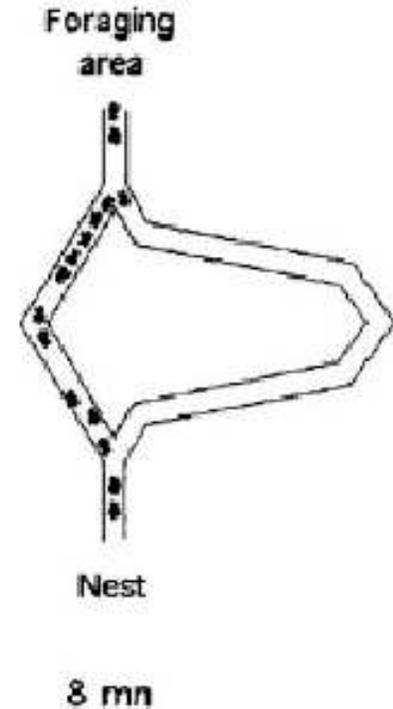
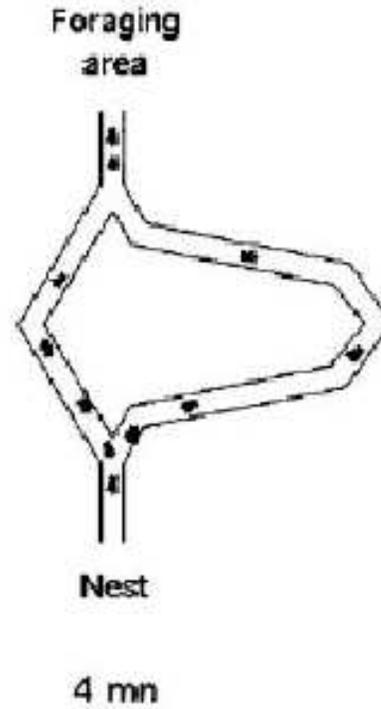
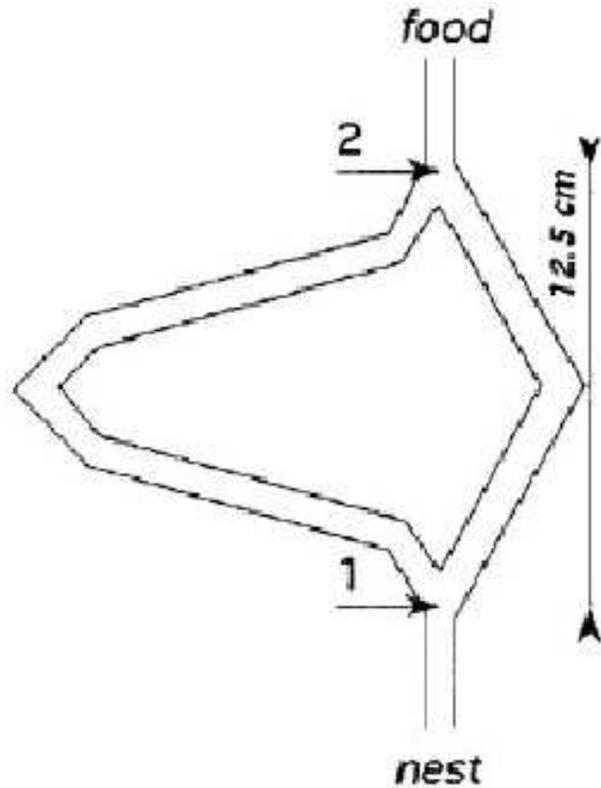
Meccanismi fondamentali:

1. Ogni formica deposita sul terreno una sostanza chimica (*feromone*) mentre cammina.
2. La scelta del percorso da seguire alla ricerca di cibo è guidata dall'intensità del feromone: più è intenso in una direzione, maggiore sarà la probabilità di scegliere tale direzione.
3. Il feromone evapora nel tempo, quindi rimangono “marcati” solo i percorsi usati più frequentemente.

Ant Algorithms



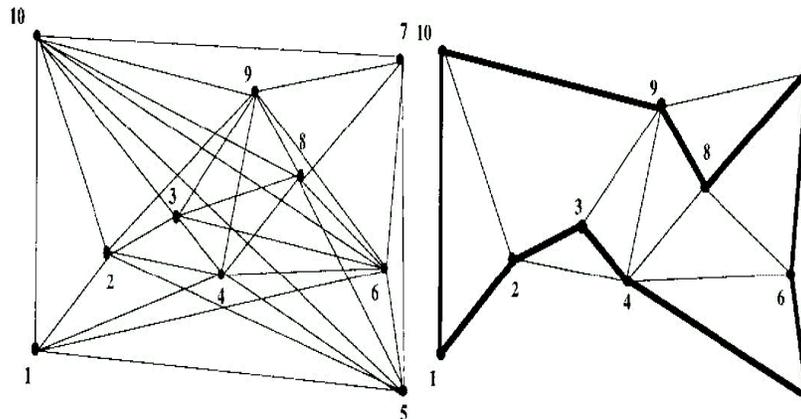
Un esperimento



Ant System

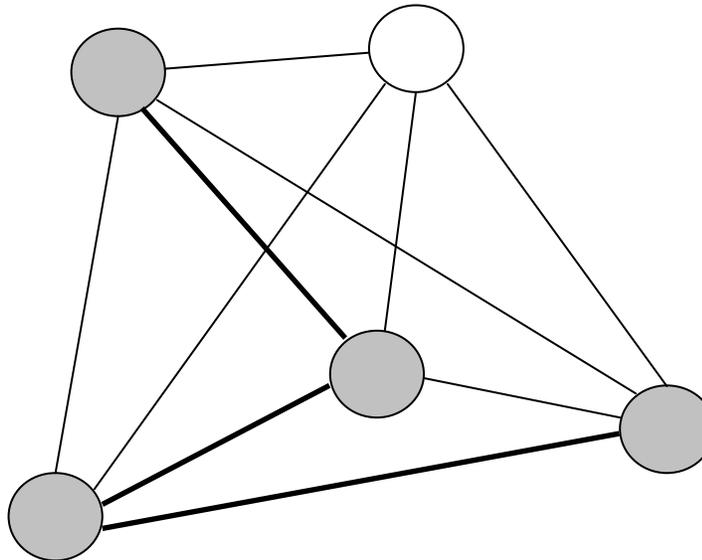
Applicazione al problema del commesso viaggiatore (Traveling Salesman Problem): trovare un cammino di lunghezza minima che passi per tutte le città una e una sola volta.

- Nodi \leftrightarrow città
- Archi \leftrightarrow collegamenti tra le città
- Pesi sugli archi \leftrightarrow distanze tra due città



Ant System

Le formiche artificiali costruiscono una soluzione muovendosi da un nodo all'altro. Ad ogni iterazione la *regola di transizione* guida la scelta del nodo successivo. La regola di transizione dipende dal feromone (τ) e da una funzione euristica (η).



Ant System

La probabilità di passare dalla città i alla città j per la formica k è:

$$p_{ij}^k = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k \in \text{ammissibili}_k} [\tau_{ik}]^\alpha [\eta_{ik}]^\beta} & \text{se } j \in \text{ammissibili}_k \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

α e β bilanciano l'importanza relativa di feromone e euristica.

Ant System

Quando tutte le formiche ($k = 1, \dots, m$) hanno costruito una soluzione, si aggiorna il feromone.

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k$$

$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{1}{L_k} & \text{se la formica } k \text{ ha percorso l'arco } (i, j) \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

ρ è il coefficiente di *evaporazione* e L_k è la lunghezza del circuito percorso dalla formica k .

Ant System

Ant System Algorithm

InitializePheromoneValues()

while termination conditions not met **do**

for all ants $a \in \mathcal{A}$ **do**

$s_a \leftarrow \text{ConstructSolution}(\tau, \eta)$

end for

 ApplyOnlineDelayedPheromoneUpdate(){Evaporazione
 + rinforzo}

end while

Altri Sistemi

- Ant Colony Optimization
- AntNet
- Swarmbots
 - Raccolta e raggruppamento di oggetti
 - Spostamento di oggetti di grandi dimensioni (trasporto cooperativo)
 - Autoassemblaggio

Applicazioni

- ▷ Ottimizzazione combinatoria (es. Vehicle Routing e Quadratic assignment Problem)
- ▷ Reti di telecomunicazioni
- ▷ Distribuzione di gas in Ticino
- ▷ Clustering

Riferimenti bibliografici

- E.Bonabeau, M.Dorigo, G.Theraulaz. *Swarm Intelligence. From natural to artificial systems*. Oxford University Press, 1999. tue
- S.Camazine, J.-L.Deneubourg, N.R.Franks, J.Sneyd, G.Theraulaz, E.Bonabeau. *Self-Organization in Biological Systems*. Princeton University Press, 1999.
- M.Dorigo, T.Stützle. *Ant colony optimization*. The MIT Press, 2003.

Risorse in Internet

- <http://iridia.ulb.ac.be/~mdorigo/ACO/ACO.html>
- www.swarm-bots.org