

---

# Intelligenza collettiva

## *Swarm intelligence*

Andrea Roli

`andrea.roli@unibo.it`

DEIS

*Alma Mater Studiorum* Università di Bologna

# 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

---

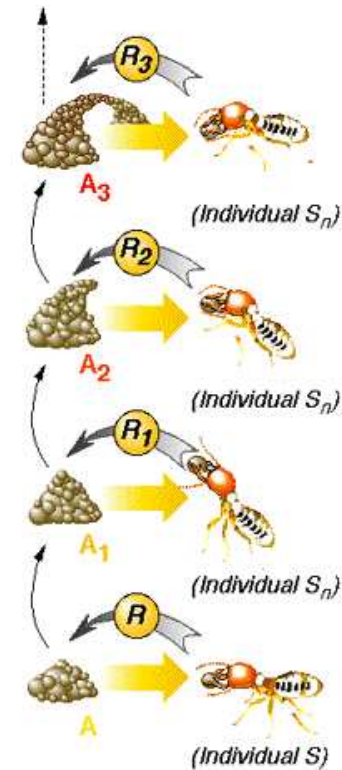
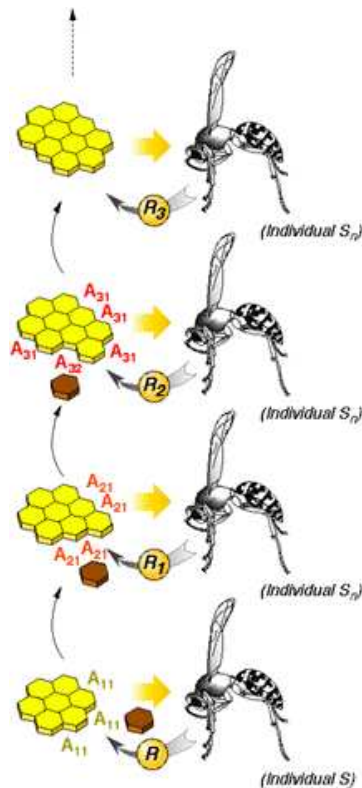
## Ingredienti:

- 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.

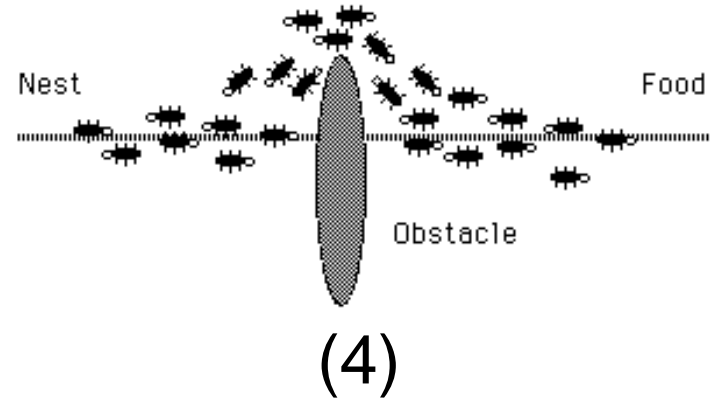
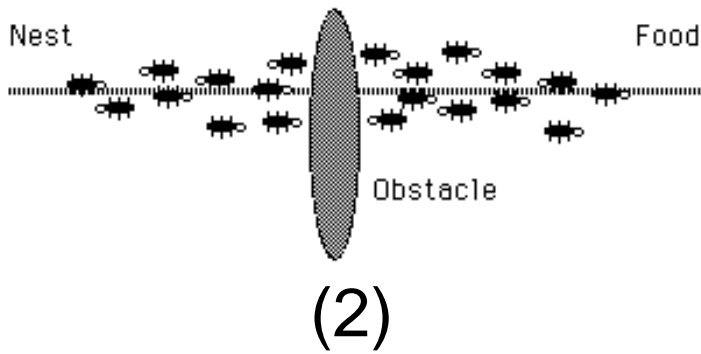
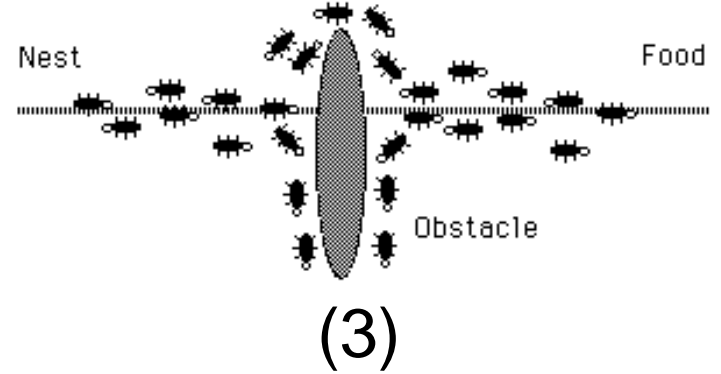
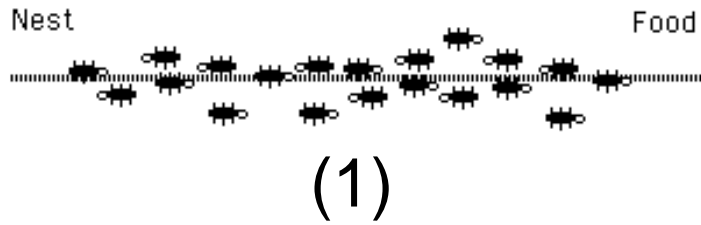
# Ant Algorithms

---

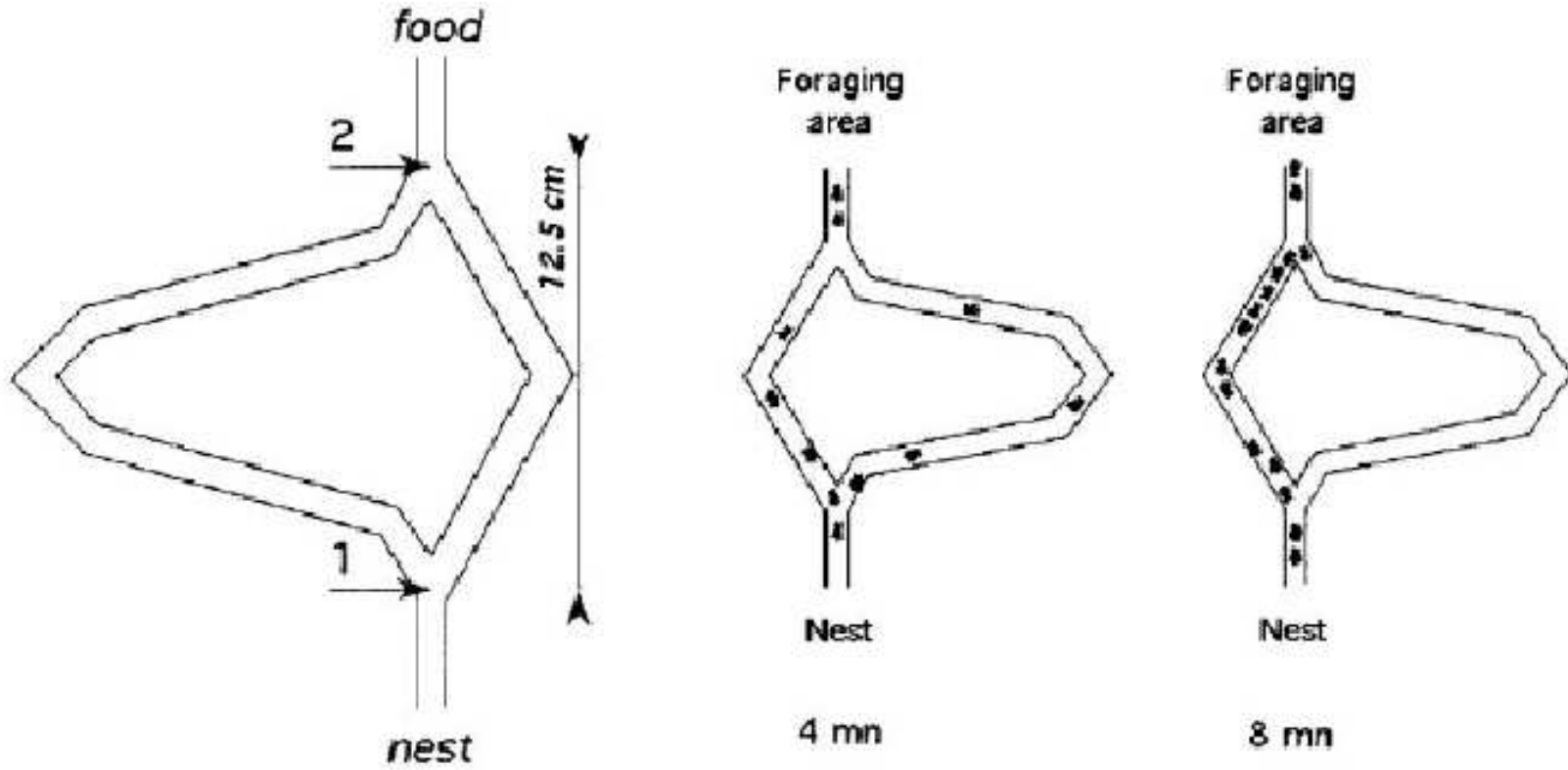
Meccanismi fondamentali:

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



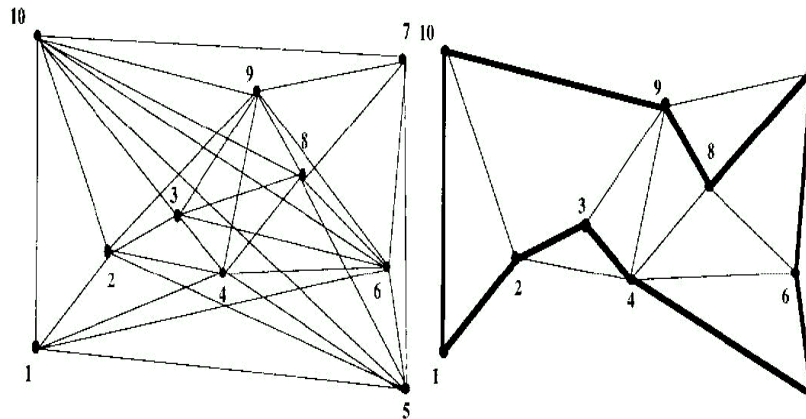
# Un esperimento



# 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.

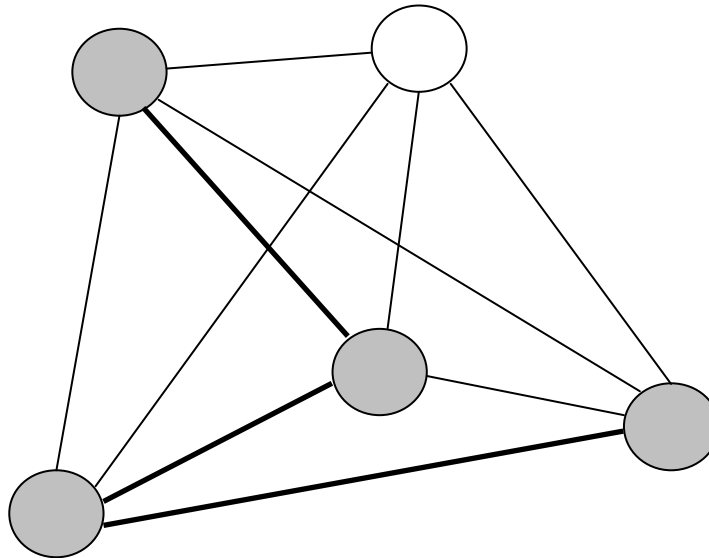
- Nodi  $\leftrightarrow$  città
- Archi  $\leftrightarrow$  collegamenti tra le città
- Pesi sugli archi  $\leftrightarrow$  distanze tra due città



# 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 ( $\tau$ ) e da una funzione euristica ( $\eta$ ).



# Ant System

---

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

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

$\alpha$  e  $\beta$  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.

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

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

$\rho$  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](http://www.swarm-bots.org)