

Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche

# Slime-Mold Aggregation

Tesi di laurea in:  
PROGRAMMAZIONE AD OGGETTI

*Relatore*

**Prof. Mirko Viroli**

*Candidato*

**Lorenzo Tosi**

*Correlatore*

**Dott. Gianluca Aguzzi**

---

---

# Abstract

Max 2000 characters, strict.

---

---

*Optional. Max a few lines.*

---

---

# Acknowledgements

Optional. Max 1 page.

---



---

# Indice

<b>Abstract</b>	<b>iii</b>
<b>1 Introduzione</b>	<b>1</b>
<b>2 Contesto</b>	<b>3</b>
2.1 Alchemist . . . . .	3
2.1.1 Il meta-modello . . . . .	4
2.2 Simulazione di riferimento . . . . .	7
2.3 Overview su slime mold . . . . .	7
<b>3 Analisi</b>	<b>9</b>
3.1 Requisiti . . . . .	9
<b>4 Design</b>	<b>11</b>
4.1 Layer . . . . .	11
<b>5 Implementazione</b>	<b>13</b>
<b>6 Evaluation</b>	<b>15</b>
<b>7 Conclusioni e ringraziamenti</b>	<b>17</b>
	<b>19</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>19</b>



---

# Elenco delle figure

2.1	Rappresentazione di una reazione in Alchemist . . . . .	5
2.2	Il modello di alchemist . . . . .	6
4.1	Struttura PheromoneLayer . . . . .	12



---

# List of Listings

## LIST OF LISTINGS

---

---

# Capitolo 1

## Introduzione

Nel vasto campo della ricerca scientifica, i comportamenti complessi emergenti sono oggetto di crescente interesse e studio. Questi fenomeni rappresentano il manifestarsi di comportamenti collettivi che sorgono dall'interazione dinamica e non lineare di molteplici componenti di un sistema, difficilmente anticipabili in base alle leggi che manovrano le singole parti.

In natura questi comportamenti sono ubiqui e possono essere osservati in tantissimi ambiti, dal regno animale, dove possiamo trovare per esempio la forma e il comportamento di uno stormo di uccelli o di un branco di pesci, al comportamento dell'uomo osservato durante il traffico nelle città, dal mercato della borsa valori al gioco del poker.

Un esempio significativo è quello osservato in biologia in una colonia di formiche. Nonostante manchi una struttura centralizzata e le formiche seguono regole di comportamento semplici e locali, l'interazione tra di esse dà origine ad una "comunità" e di conseguenza a modelli complessi di ricerca del cibo, di costruzione di nidi e di difesa del territorio. Ogni formica reagisce a stimoli, sotto forme di tracce chimiche, che provengono da altre formiche e a sua volta influenza i suoi simili lasciando dietro una traccia chimica. Questo fenomeno è simile ad altre strutture emergenti presenti in natura e riscontrate sia negli "insetti sociali", ovvero insetti che formano colonie con mansioni diversificate, o in generale in animali che vivono in gruppo (pesci, tartarughe, mandrie di mammiferi,...) e sono tutti basati principalmente su feromoni o odori chimici.

---

La simulazione di questi fenomeni è estremamente importante per diversi motivi:

- Comprendere la complessità: I fenomeni complessi sono caratterizzati da interazioni dinamiche tra i suoi componenti che spesso sono imprevedibili. La simulazione è una risorsa chiave per esplorare, studiare e comprendere moltissimi aspetti di queste dinamiche e permette di osservare le interazioni dei diversi elementi in infiniti modi.
- Predire il comportamento del sistema: la simulazione può essere eseguita per cercare di prevedere e comprendere il comportamento futuro di un sistema emergente in modo tale da poter prendere delle decisioni informate.

L'obiettivo di questa tesi è esplorare il fenomeno dell'aggregazione di questi organismi, sviluppando un sistema software che si interfacci ed utilizzi a pieno tutti gli elementi chiave del simulatore Alchemist. Quest'ultimo, infatti, permette di riprodurre eventi appartenenti a domini estremamente differenti tra loro, come simulazioni chimiche o il comportamento di pedoni in diverse situazioni.

### Structure of the Thesis

**Lorenzo Tosi:** At the end, describe the structure of the paper



---

# Capitolo 2

## Contesto

In questo capitolo vengono spiegate le tecnologie adottate

### 2.1 Alchemist

Alchemist [PMV13] è un simulatore DES (Discrete Event System) che estende il modello computazionale base delle reazioni chimiche in modo tale da favorirne l'applicabilità a situazioni complesse, pur mantenendo elevate prestazioni. In particolare, Alchemist si fonda su una versione ottimizzata dell'algoritmo di Gillespie[Gil77] chiamata Next Reaction Method[GB00], esteso in modo tale da poter lavorare con un ambiente mobile e dinamico dove sia possibile aggiungere o rimuovere reazioni, dati e connessioni topologiche. Le applicazioni già implementate sono varie e comprendono, ad esempio, simulazioni di reazioni biochimiche e movimento di pedoni. Il punto di forza del sistema è il meta-modello estremamente astratto, la cui effettiva realizzazione è demandata alle "incarnazioni", le quali rappresentano l'implementazione vera e propria delle diverse categorie di simulazioni eseguibili all'interno. Attualmente troviamo 4 incarnazioni:

- Protelis
- SAPERE
- Biochemistry
- Scafì

### 2.1.1 Il meta-modello

Come accennato in precedenza, il meta-modello è uno dei punti di forza maggiori del simulatore. Per meta-modello si intende un tipo di paradigma che descrive la struttura, le regole e le relazioni che i modelli di dati devono seguire all'interno di un sistema. Rappresenta in modo astratto i concetti e le relazioni all'interno del dominio di interesse e stabilisce i vincoli e le convenzioni che tutti i modelli devono usare. Dunque, tutte le incarnazioni presenti presentano le stesse entità base. Poichè Alchemist è sviluppato partendo da un'ispirazione orientata sulla chimica/biochimica, le entità presentano nomi riconducibili a quei mondi. Infatti troviamo:

- **Molecole** (molecule): il nome di un dato, concettualmente può essere interpretato come il nome di una variabile.
- **Concentrazioni** (concentration): il valore associato alla molecola.
- **Nodi** (node): un “contenitore” di molecole e reazioni.
- **Ambiente** (environment): l'astrazione dello spazio; è un “contenitore” di nodi e svolge i seguenti compiti:
  - Restituire la posizione dei nodi.
  - Restituire la distanza tra due nodi.
  - Supportare il movimento dei nodi, se presente.
- **Regola di collegamento** (linking rule): una funzione relativa allo stato corrente dell'ambiente che associa ad ogni nodo un vicinato.
- **Vicinato** (neighborhood): un entità composta da un nodo centrale e un insieme di nodi vicini.
- **Reazione** (reaction): un qualsiasi evento che provoca un cambiamento dello stato dell'ambiente. È definita da una lista di condizioni, una o più lista di azioni e una distribuzione temporale. La frequenza con la quale avviene una reazione dipende da:

- Un parametro statico “rate”.
  - Il valore di ogni condizione.
  - Una “rate equation”, ovvero una equazione che combina il parametro statico (rate) con i valori delle condizioni, restituendo un “instantaneous rate”.
  - Una distribuzione temporale.
- **Condizione** (condition): una funzione che, dato lo stato attuale dell’ambiente (environment), restituisce un booleano ed un numero. Se il booleano è falso la reazione non può avvenire. In caso contrario, invece, avviene. Il numero può invece influenzare la velocità della reazione a seconda della reazione e della distribuzione temporale.
  - **Azione** (action): un cambiamento nell’ambiente.

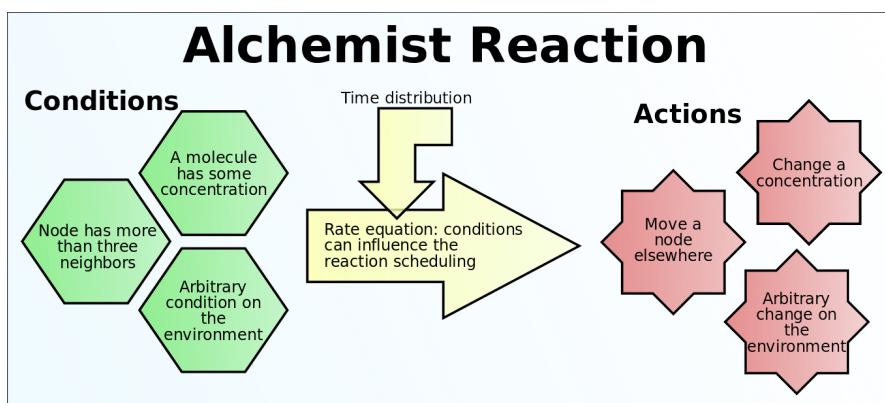


Figura 2.1: Rappresentazione di una reazione in Alchemist

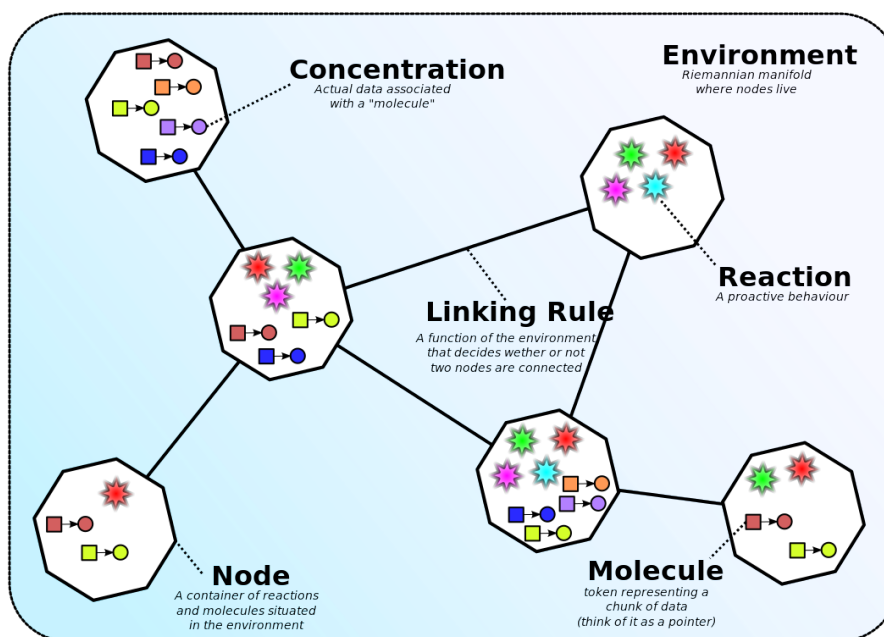


Figura 2.2: Il modello di alchemist

## 2.2 Simulazione di riferimento

La simulazione utilizzata come riferimento per questo progetto di tesi è presente nella libreria di modelli di NetLogo[Wil97]. Il modello di riferimento è "Slime" [Wil97] e per simulare l'aggregazione di tanti singoli organismi in un gruppo si fa riferimento al comportamento delle tartarughe. Quest'ultime si muovono in uno spazio a griglia e durante il loro movimento rilasciano una particolare molecola chiamata "feromone" che si deposita in una posizione precisa, chiamata "patch". La tartaruga per muoversi "annusa" davanti a se, ovvero percepisce se nelle patch vicine è presente del "feromone". Se questo è abbastanza alto, la tartaruga si sposterà nella posizione "annusata", in caso contrario la tartaruga si muoverà randomicamente. Durante tutto ciò, le patches diffonderanno del "feromone" alle varie posizioni vicine e con il passare del tempo il "feromone" evaporerà dalla griglia.

## 2.3 Overview su slime mold

In natura, l'aggregazione delle cellule di muffa mucillaginosa (detti anche funghi mucilluginosi o, in inglese, slime-mold) rappresenta comportamento in cui entità individuali interagiscono tra di loro per formare strutture complesse e funzionali. Lo slime mold, o muffa mucillaginosa è un organismo unicellulare ma, talvolta, può trovarsi anche ad agire come un organismo multicellulare. Pur non essendo un fungo è spesso classificato nella stessa categoria per via delle sue caratteristiche affini a quelle di questi organismi. La particolarità principale della muffa mucillaginosa è che può muoversi come un organismo unicellulare o multicellulare a seconda delle diverse condizioni ambientali in cui si trova. L'habitat principale di questi organismi è il terreno umido, dove di solito si nutrono di foglie morte o di tronchi di alberi in putrefazione. Quando trova una fonte di cibo, lo slime-mold si aggrega, formando una massa citoplasmatica detta plasmodio, composta da un grand numero cellule. Inoltre, questa massa può muoversi, "navigando" attraverso il terreno in cerca di cibo. Quando le risorse alimentari scarseggiano o l'ambiente diventa meno ospitale, lo slime mold può assumere forme diverse: può formare spore, resistenti per sopravvivere in condizioni avverse, oppure aggregarsi insieme

ad altri individui simili per formare una struttura multicellulare che si comporta come un'unica entità, condividendone di conseguenza risorse e compiti.

---

# Capitolo 3

## Analisi

### 3.1 Requisiti

Analizzando il modello presente su NetLogo[Wil97], possiamo individuare le caratteristiche e i requisiti che la simulazione dovrà avere:

- Entità "vive", che si muovono e depositino il feromone.
- Un ambiente che gestisca la presenza del feromone; in particolare dovrà:
  - Permettere il depositarsi della sostanza.
  - Diffondere la sostanza.
  - Evaporare la sostanza.
- Le entità dovranno avere un concetto di direzione.
- Il movimento deve seguire delle regole ben precise.





---

# Capitolo 4

## Design

### 4.1 Layer

Si pensi alla simulazione come se fosse un micro mondo, una "città", complessa e ricca di informazioni. È di interesse capire il livello di inquinamento di questa città, qualcosa di invisibile all'occhio umano ma comunque presente nell'ambiente, oppure la temperatura nelle varie aree cittadine. Si ha bisogno di "inserire" nell'ambiente degli "strati" invisibili che hanno il compito di raccogliere queste informazioni. È possibile in Alchemist definire questi "strati" di dati, chiamati Layer.

Nel contesto di questo progetto è stato necessario l'utilizzo di un Layer che avesse la funzione di "rete di raccolta" dei feromoni che, nella simulazione di riferimento 2.2, venivano rilasciati dalle tartarughe nelle varie posizioni. Un aspetto di particolare rilevanza è stato il processo decisionale relativo alla gestione delle posizioni collegate al deposito del feromone. In alchemist non è presente di "spazio", le posizioni sono puntiformi

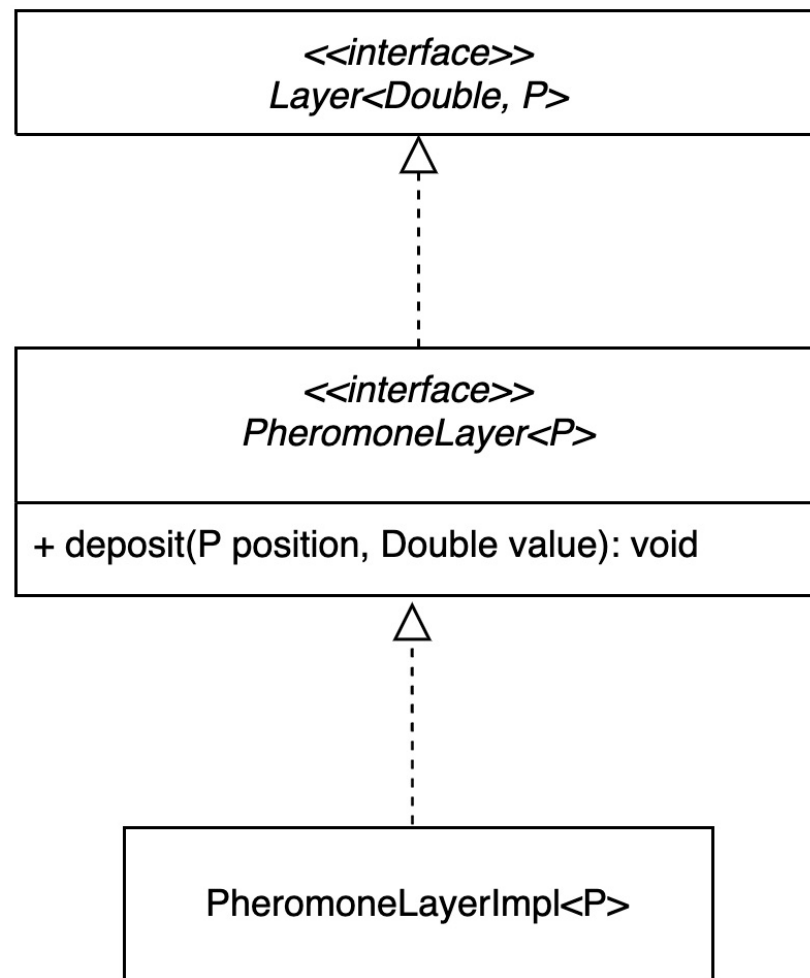


Figura 4.1: Struttura PheromoneLayer

---

# Capitolo 5

## Implementazione

---

---

# Capitolo 6

## Evaluation

---

---

## Capitolo 7

# Conclusioni e ringraziamenti

---



---

# Bibliografia

- [GB00] MA Gibson and J Bruck. Efficient exact stochastic simulation of chemical systems with many species and many channels. *Journal of Physical Chemistry A*, 104(9):1876–1889, 2000.
- [Gil77] DT Gillespie. Exact stochastic simulation of coupled chemical reactions. *The Journal of Physical Chemistry*, 81(25):2340–2361, 1977.
- [PMV13] D Pianini, S Montagna, and M Viroli. Chemical-oriented simulation of computational systems with alchemist. *Journal of Simulation*, 7(3):202–215, August 2013.
- [Wil97] Uri Wilensky. Netlogo slime model. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/Slime>, 1997.
- [Wil99] Uri Wilensky. Netlogo. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>, 1999.