

MAS per SOS

Modelli e Tecnologie

Emanuele Buccelli

Giacomo Fiore

Mattia Castrichino

Sommario

1. Agente
2. Multi-Agent System (MAS)
3. Environment
4. Modelli di ispirazione per i MAS
5. Tecnologie per i MAS
6. Self-Organization System
7. MAS per SOS

Agente

Breve definizione di Agente:

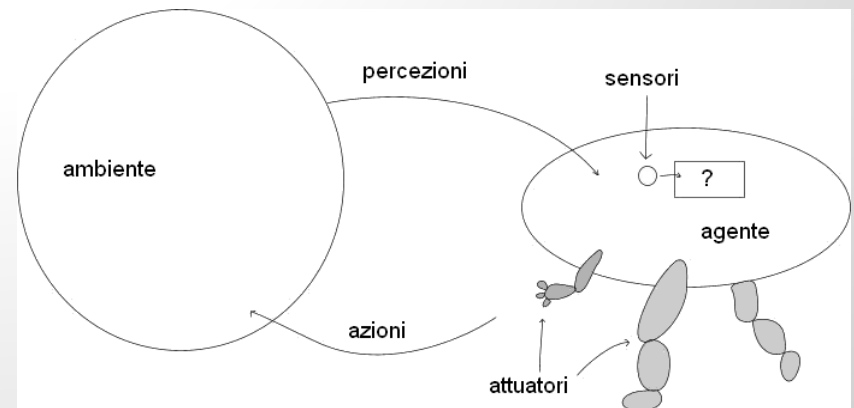
Un agente è un'entità fisica o virtuale (Software) che è:

- Autonoma.
- Situato in un ambiente e in grado di agire in esso o su esso.
- Possiede una rappresentazione parziale del suo ambiente.
- In grado di comunicare con altri agenti.
- Possiede un obiettivo individuale.
- Possiede delle risorse.
- In grado di percepire il suo ambiente.
- Possiede delle abilità e offre dei servizi.

Il comportamento di un Agente deve dipendere fortemente dalle sue percezioni, dalla sua conoscenza, dalle sue abilità, dalle sue intenzioni, dalle varie iterazioni...

Un agente ha il seguente ciclo di vita:

- **Percezione:** l'agente percepisce nuove informazioni provenienti dal suo ambiente.
- **Decisione:** l'agente sceglie le azioni che sono da fare.
- **Azione:** l'agente agisce, esegue le azioni che ha scelto nella fase precedente.



Agente

Proprietà di un Agente:

- **Autonomy:** Controllo delle decisioni.
- **Reactive:** Reagisce ai cambiamenti.
- **Proactive:** Genera e raggiunge obiettivi.
- **Social:** Conosce e interagisce con altri agenti
- **Communicating:** Scambio di messaggi.
- **Situated:** Situato in un ambiente.
- **Adaptive:** Capacità di apprendimento.
- **Mobile:** Proprietà modulari.

Agenti e Oggetti:

- Entrambi hanno uno stato interno e comportamenti modulari.
- Entrambi agiscono per modificare il proprio stato e comunicano tramite lo scambio di messaggi.
- Negli agenti chi riceve un messaggio ha il potere di decidere se eseguire o no la richiesta.
- Negli oggetti è chi invia il messaggio che ha il potere di decisione, perchè l'oggetto riceve una chiamata a un metodo.
- Le relazioni "is-a" o "is-part-of" che ritroviamo nel modello a oggetti sono insufficienti per modellare l'organizzazione di un sistema complesso.
- L'ambiente per un agente è un concetto importante, mentre per un oggetto no.
- Nella programmazione ad oggetti non ci sono linee guida per implementare le proprietà di reattività, probabilità e sociabilità in modo dinamico.
- Le metodologie object-oriented sono insufficienti per la progettazione di agenti.
- Gli agenti hanno una significativa parte sociale, che influenza i suoi comportamenti.
- La comunicazione tra oggetti consiste solo in chiamate a metodi e la loro interazione è definita in modo rigido.

Multi-Agent System

Un sistema multi agente (MAS) può essere definito come un insieme di agenti che interagiscono tra loro all'interno di un ambiente comune per risolvere dei compiti comuni. Ogni agente cerca di raggiungere i propri obiettivi che a volte possono essere in conflitto con gli obiettivi di un altro agente.

La storia dei MAS:

I MAS sono i maggiori esponenti tra i sistemi artificiali che si basano sulla complessità e la distribuzione. Il paradigma MAS appare per la prima volta verso il 1980, dove le sue prime specifiche riguardavano il comportamento collettivo.

I MAS vengono distinti in quattro generazioni diverse;

1. **(1970-1980) Prima Generazione:** La prima generazione si concentra sul problem solving distribuito. In questi sistemi la conoscenza e l'elaborazione sono distribuiti, ma il controllo è centralizzato, inoltre sono sistemi ad hoc con nessun potenziale di riusabilità.
2. **(1980-1990) Seconda Generazione:** La seconda generazione si basa su sistemi con controllo decentralizzato e sistemi generici per aumentare la riusabilità.
3. **(1990-2000) Terza Generazione:** La terza generazione si basava sulle interazioni tra Agenti.
4. **(2000- oggi) Attuale Generazione:** La generazione attuale centra il suo interesse sull'ambiente, l'apertura e le dinamiche di questi sistemi, e le tecniche MAS iniziano a diventare la strada per la progettazione di SOS (Self-Organising System).

Multi-Agent System

Classi principali di un Sistema Multi Agente:

- **MAS in interazione con gli utenti:** In generale questo tipo di sistema è costituito da un agente assistente che a sua volta rappresenta un utente del sistema. Le difficoltà alla base di questa tipologia di sistema sono nell'avere un giusto modello di utente e nel facilitare le interazioni tra sistema e utente.
- **Simulazione con MAS:** Questa tipologia di MAS effettua delle simulazioni su modelli di fenomeni naturali con lo scopo di predirli e capirli. Le entità coinvolte nella simulazione vengono rappresentate da agenti, in particolare le entità che interagiscono con altre entità o interagiscono con l'ambiente. Il lavoro che deve svolgere il sistema non è definito in modo specifico, quindi è il sistema che si modella e si comporta come se fosse un sistema reale.
- **Risoluzione di problemi collettivi:** Un agente in questo sistema ha il compito di risolvere un lavoro globale condiviso da tutta la comunità. Quindi l'obiettivo è quello di far cooperare tutti gli agenti per arrivare a una soluzione globale del problema. Per fare questo ogni agente è dotato di abilità e risorse parziali, inoltre ha una conoscenza e una rappresentazione dell'ambiente limitate.

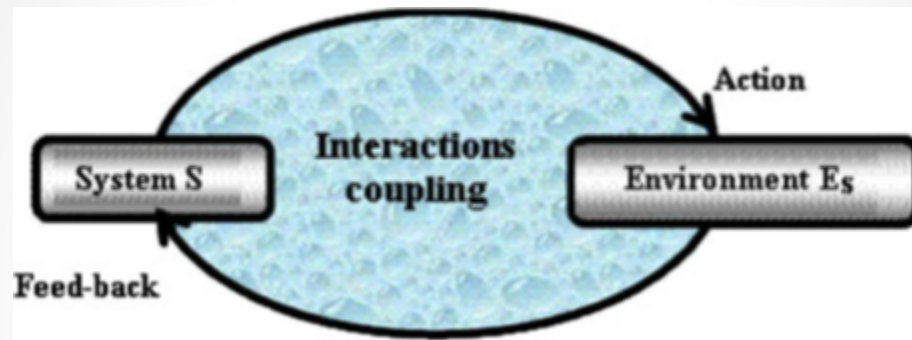
Multi-Agent System

Proprietà di un Sistema Multi Agente:

- **Autonomo:** Un sistema è autonomo quando non è controllato da entità esterne. Questa proprietà è soddisfatta se il sistema è composto da agenti autonomi.
- **Distribuito, Decentralizzato:** Le informazioni e la conoscenza è distribuita a tutti gli agenti del sistema. La conoscenza può essere di due tipi: una conoscenza relativa alle abilità, necessaria per le applicazioni e una conoscenza relativa alla rappresentazione del mondo circostante.
- **Asincrono, Parallelo:** In un sistema MAS l'esecuzione degli agenti avviene in modo asincrono e parallelo.
- **Aperto/Chiuso:** Un sistema MAS si dice aperto quando gli agenti al suo interno possono essere rimossi in runtime e i nuovi agenti possono essere progettati da progettisti differenti.
- **Eterogeneo/Omogeneo:** Questa proprietà può dipendere da diversi fattori, ma quello che ci interessa di più è a livello dell'architettura. Quindi un sistema si dice omogeneo se tutti gli agenti al suo interno hanno la stessa architettura. Altrimenti si dice eterogeneo. In un sistema eterogeneo gli agenti hanno architetture differenti, quindi una delle imprese più importanti diventa l'interoperabilità tra gli agenti.

Environment

Interazione tra ambiente e sistema:



Consideriamo un sistema **S** e un ambiente **ES** situati all'interno di un dominio **W** (dominio definito come il mondo in cui siamo situati). Definiamo quindi $W = S \cup ES$. Il nostro sistema **S** è immerso dentro l'ambiente **ES** con cui interagisce e da cui non può essere dissociato. L'ambiente **ES** è uno spazio comune per tutti gli agenti che compongono **S**. Il sistema e l'ambiente sono fortemente legati tra loro e hanno un'influenza sui loro rispettivi comportamenti, possiamo quindi parlare di attività di un sistema o di un ambiente. Più precisamente il sistema percepisce e agisce all'interno dell'ambiente, e di conseguenza i suoi comportamenti modificano lo stato dell'ambiente che reagisce applicando una determinata pressione sul sistema. Questa pressione viene percepita dal sistema che agisce di conseguenza con altre azioni sull'ambiente. Quindi ci troviamo davanti ad una interazione basata su azione-reazione che evolve nel tempo. Infatti l'ambiente in cui il sistema è immerso, applica vincoli in cui il sistema deve adattarsi. Questa interazione porta ad influenze reciproche che rafforzano il rapporto tra sistema e ambiente.

Environment

Tipi di Ambienti:

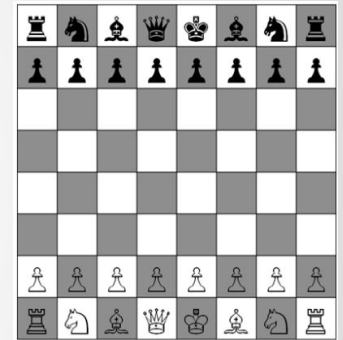
- **Physical Environment:** L'ambiente fisico consiste di risorse materiali (oggetti passivi o attivi come feromone, cibo, ostacoli) che rientrano tra gli oggetti che un agente può percepire. Grazie all'ambiente fisico, gli agenti possono interagire tra loro in modo indiretto. L'ambiente fisico ha un'importanza diversa a seconda del dominio applicativo.
- **Social Environment:** L'ambiente sociale è composto dalla conoscenza degli agenti. In un MAS, gli agenti costituiscono il sistema ed evolvono simultaneamente insieme all'ambiente. Le relazioni che ci sono tra i vari agenti possono essere forti o deboli a seconda delle abilità e delle conoscenze che un agente deve apprendere da altri agenti per completare i suoi obiettivi. Per interagire in modo efficiente ogni agente necessita di avere una rappresentazione della conoscenza degli altri agenti.



Environment

Proprietà:

- **Raggiungibile o Non-Raggiungibile:** Un ambiente si dice raggiungibile da un agente se i suoi sensori sono in grado di rilevare tutti gli aspetti rilevanti per la scelta delle proprie azioni. Per esempio negli scacchi l'ambiente di una pedina è raggiungibile perchè quando gioca può osservare tutta la scacchiera. Mentre nel calcio un giocatore ha una percezione limitata del suo ambiente.
- **Deterministico o Non-Deterministico:** L'ambiente è deterministico se il suo stato futuro può essere determinato dal suo stato attuale e dalle azioni scelte dagli agenti. Negli scacchi l'ambiente di una pedina è deterministico perchè quando una pedina gioca, è l'unica, e può quindi prevedere lo stato futuro del gioco. Nel calcio l'ambiente di un giocatore è non-deterministico.
- **Statico o Dinamico:** L'ambiente è dinamico per un agente se può cambiare il suo stato mentre un agente sta deliberando. Per esempio nel gioco degli scacchi l'ambiente di una pedina è statico, perchè quando una pedina delibera, nessun altro può giocare. Mentre nel calcio l'ambiente di un giocatore è dinamico, perchè mentre un giocatore delibera, gli altri giocatori possono agire.
- **Discreto o Continuo:** L'ambiente è discreto se ci sono un numero limitato di percezioni e azioni chiaramente definite. Per esempio nel gioco degli scacchi l'ambiente di una pedina è discreto, perchè ci sono un numero limitato di percezioni e azioni. Mentre il mondo reale è un esempio di ambiente continuo.



Modelli di Ispirazione per i MAS

I MAS adottano modelli ispirati all'ambiente naturale e ai suoi complessi sistemi. Questi sistemi mostrano delle features come la distribuzione, tolleranza ai guasti, robustezza, adattività ed apertura. Quello che vogliamo è capire questi sistemi per poi riportarli nei sistemi computazionali. La maggior complessità dei sistemi computazionali complessi deriva dall'interazione. Molti sistemi naturali si basano su semplici ma potenti meccanismi di coordinazione, come l'auto-organizzazione, per cui ha senso usarli come fonte d'ispirazione per sistemi MAS complessi.

Sistemi Naturali

- Fisici
- Biologici
- Sociali

Sistemi Aziendali e di Business

Sistemi Artificiali

Sistemi Naturali

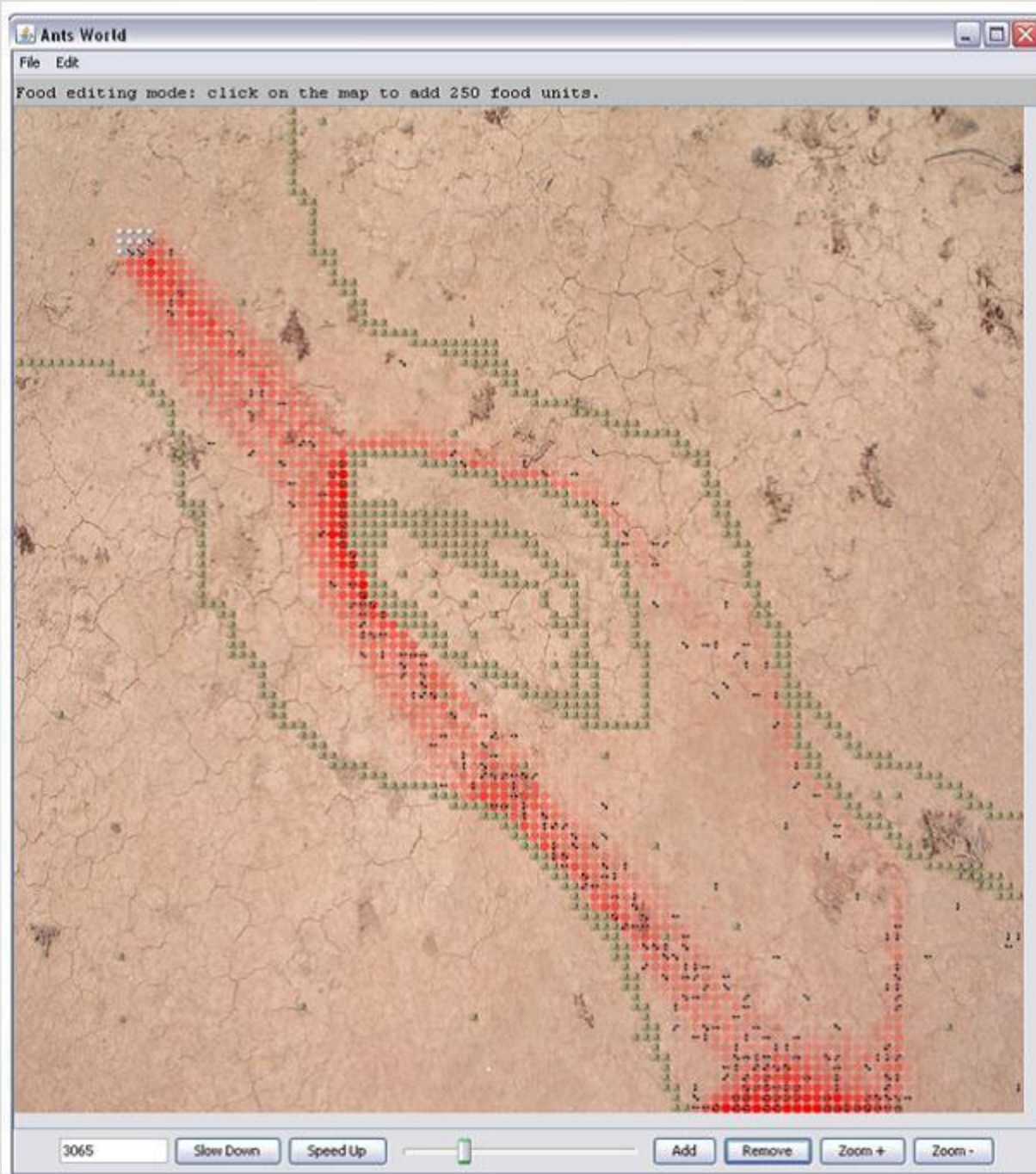
“L’auto-organizzazione” e i fenomeni *emergenti* possono essere osservati in molti sistemi naturali, ad esempio gli insetti che vivono in colonie come le formiche, api, vespe e termiti, hanno dimostrato di integrare perfettamente le loro attività individuali. Nonostante ogni singolo insetto sembra operare individualmente senza essere soggetto ad alcun controllo centrale.

L’interazione tra i membri in tali colonie è portata indirettamente attraverso modifiche asincrone e successivamente viene percepito lo stato dell’ambiente.

Altri esempi di sistemi di “auto-organizzazione” naturali comprendono gli stormi di uccelli e branchi di pesci. In questi casi, il comportamento collettivo di “auto-organizzazione” si ottiene dalla percezione sincrona dell'ambiente e seguendo semplici regole. Ad esempio, cercare di rimanere in prossimità evitando collisioni con i membri del gruppo simili e allo stesso tempo tentando di mantenere una distanza dalle entità dissimili, in questo modo gli uccelli o pesci possono ridurre in modo significativo la probabilità di essere attaccati da un predatore.

Il comportamento collettivo che ne emerge è il risultato del processo di “auto-organizzazione” in cui i membri sono impegnati con le loro ripetute azioni e le interazioni con l'ambiente che è in continuo cambiamento.

Un tipico esempio di “auto-organizzazione” *emergente* nei sistemi naturali riguarda le colonie di formiche alla ricerca di cibo che vanno in giro ad esplorare il loro ambiente di ricerca. Quando riescono nel loro compito, tornano al nido dopo aver piazzato nell’ambiente sostanze chimiche che vengono successivamente utilizzate da altre formiche come indicatori di vicinanza alla fonte di cibo. Una volta scoperta la fonte di cibo, viene creato un percorso costituito da sostanze chimiche tra la fonte di cibo e il nido. Questo in realtà è il percorso più breve possibile tenendo conto dei vincoli ambientali, ed è ottenuto come risultato dell’attività collettiva delle formiche.



- Sistemi Fisici

Le teorie di “auto-organizzazione” sono state originariamente sviluppate nell'ambito della Fisica e della Chimica per descrivere la nascita di modelli macroscopici e le interazioni definite a livello microscopico.

Una caratteristica comune dei sistemi Fisici di “auto-organizzazione” è l'esistenza di una certa soglia critica, che quando raggiunta provoca un cambiamento immediato dello stato del sistema. Tale soglia critica può essere una combinazione di valori di alcune variabili di sistema, ad esempio temperatura, pressione e velocità.

L'effetto di “auto-organizzazione” è osservato globalmente quando il sistema transita da uno stato disordinato caotico ad uno stabile. Ad esempio in un sistema termodinamico come in uno costituito da una quantità di gas, le proprietà di temperatura di sistema e pressione sono *emergenti* in quanto non sono determinate da una particolare particella di gas. Invece sono definite dalle posizioni e dalla velocità di tutte le particelle nel sistema.

Analogamente, le reazioni chimiche creano nuove molecole che hanno proprietà che nessuno degli atomi visti prima della reazione possiede. Inoltre, la magnetizzazione di una moltitudine di rotazioni nei materiali magnetici è un chiaro caso di auto-organizzazione perché, sotto una certa temperatura, le rotazioni magnetiche si ordinano spontaneamente tutte nella stessa direzione creando così un forte campo magnetico.

-Sistemi Biologici

“L'auto-organizzazione” è un fenomeno comune nei sottosistemi degli organismi viventi. La ricerca biologica si occupa di determinare le immutazioni nell'evoluzione degli organismi viventi, ed in particolare la comparsa spontanea di ordine nei sistemi viventi complessi a causa dell’“auto-organizzazione”. In questo settore il significato di “auto-organizzazione” è definito dalla comparsa globale di un particolare comportamento o caratteristica che non può essere ridotto/a alle proprietà dei componenti del sistema individuali come le molecole, gli agenti e le cellule.

Un esempio è “l'auto-organizzazione” del citoscheletro, volto ad analizzare la reazione di processi collettivi e la diffusione dei filamenti citoscheletri. Il citoscheletro è la base dell'architettura interna del citoplasma delle cellule eucariote. Le cellule eucariote sono cellule appartenenti ad organismi di livello superiore che contengono un nucleo delimitato da una membrana nucleare.

Le cellule eucariote sono le unità fondamentali e di funzionamento della vita e si evolvono progressivamente secondo le modifiche esterne al loro ambiente. L'evoluzione è ottenuta mediante l'utilizzo di metabolici processi interni, come la mutazione o selezione naturale, e fornisce la base per l'evoluzione negli organismi viventi e nelle specie naturali. Ulteriori modelli di sistemi biologici di “auto-organizzazione” comprendono il sistema immunitario dei mammiferi, la rigenerazione delle cellule e il comportamento del cervello umano.

Un esempio di quest'ultimo è la coscienza nell'uomo. Biologicamente, il cervello è un sistema complesso composto da un insieme di neuroni che interagiscono tra di loro. Anche se la coscienza è il risultato di una serie di operazioni dei neuroni fatto a un livello più basso, non è attualmente possibile capire o spiegare la coscienza umana osservando i neuroni del cervello e le loro interazioni.

-Sistemi Sociali

Nelle società dei sistemi naturali, le entità comunemente mostrano comportamenti sociali che portano alla “auto-organizzazione”, “auto-adattamento” e “auto-mantenimento” dell’organizzazione della società.

I comportamenti individuali sociali spaziano da quelli osservati nelle entità biologiche come i batteri, le cellule, gli insetti, i ragni, a quelli osservati negli animali più grandi e gli esseri umani.

La formazione dei comportamenti nei sistemi sociali deriva da risultati sviluppati da interazioni relativamente semplici in una rete di individui guidati da processi dinamici e disciplinati da semplici e generiche leggi.

Un esempio è quello del sopravvivenza delle specie . Questo obiettivo non è esplicitamente espresso a livello individuale, ma si riflette nel comportamento collettivo dei membri della società attraverso il compimento di funzioni sociali e dinamiche di gruppo, consentendo il mantenimento dell'organizzazione del sistema (esempio i suricati).

Per esempio, gli insetti si organizzano attività come la ricerca di cibo o la costruzione del nido. La comunicazione tra gli insetti è realizzata attraverso un meccanismo di comunicazione indiretto, stigmergia, che viene realizzato attraverso l'ambiente della società.

La stigmergia è un metodo di comunicazione utilizzato nei sistemi decentralizzati col quale gli individui del sistema comunicano fra loro modificando l'ambiente circostante.

Differentemente gli esseri umani, comunemente, si organizzano in società avanzate in modo da poter servire a molti scopi. Ad esempio, possono utilizzare la comunicazione diretta, impegnarsi in negoziazioni, costruire economie e organizzare i mercati azionari. Il comportamento sociale degli esseri umani è tipicamente “self-organising” e ciò porta alla nascita di nuovi comportamenti complessi.

Sistemi Aziendali e di Business

“L’Auto-organizzazione” è disciplinata da leggi di business e di mercato.

Nei sistemi commerciali ed economici, i comportamenti individuali sono volti al compimento di obiettivi (“goal-oriented”) e il loro obiettivo primario è quello di aumentare il loro profitto. In questo caso, la dinamica del sistema viene gestita dall’attività, sviluppata per affrontare vincoli commerciali ed economici al fine di raggiungere un equilibrio globale attraverso cui il sistema può sopravvivere.

Ci si avvale di modelli, basati “sull’auto-organizzazione”, che regolano le operazioni di business, come il management, il marketing e modelli economici.

Ad esempio, uno di questi modelli è la variabile di uno-a-uno del modello di Pricing che si riferisce a fornire un’offerta personalizzata per ogni cliente utilizzando le tecnologie di Internet.

Il modello prevede “l’auto-organizzazione” delle politiche di marketing, cambiando :gli obiettivi dei clienti, i prezzi proposti sulla base di un mercato dinamico, le caratteristiche dei clienti e gli obiettivi di business. Un esempio è la FedEx. La società consente ai clienti di accedere ai sistemi informatici, tramite il sito Web, per monitorare lo stato dei loro pacchi. Per i clienti aziendali, FedEx fornisce strumenti software che permettono di organizzare automaticamente la spedizione e monitorare i pacchi usando il proprio computer. Ogni cliente è sottoposto a prezzi diversi a seconda di una varietà di parametri. (eBay applica prezzi variabili per le offerte.)

Un altro esempio di un modello di business “auto-organizzante”, nel settore del management, afferma che un business è composto da reti di gruppi di lavoro che possono cambiare la loro struttura, i collegamenti e il comportamento in risposta alle esigenze di business. Lo scopo di tale modello è quello di bilanciare le decisioni di “auto-organizzazione”, che sono prese dai gestori e adattate dalle interazioni tra i dipendenti durante le operazioni di business. L’enfasi della teoria dell’attività è risolvere potenziali conflitti di interesse sia all’interno che all’esterno dell’attività cooperativa dell’azienda.

Sistemi Artificiali

I sistemi artificiali “auto-organizzati” sono quelli costruiti fin dall'inizio con capacità di “auto-organizzative”. I meccanismi possono essere ispirati dai sistemi naturali esistenti oppure possono essere creati espressamente per questo scopo.

Tra i sistemi artificiali auto-organizzati, osserviamo diverse tendenze che vanno dall'applicazione di modelli di “auto-organizzazione” ispirati alla natura, alla creazione di nuovi meccanismi e infrastrutture a supporto “dell’auto-organizzazione” dei sistemi artificiali.

Sono stati sviluppati modelli di “auto-organizzazione” mirati ad applicazioni particolari.

Un esempio è un sistema artificiale “auto-organizzante” costruito per il coordinamento e l'organizzazione di un gruppo di robot. In tale contesto, i robot trasportano gli oggetti tra due stanze collegate con due corridoi che non possono essere utilizzate da più di un robot alla volta. I robot sono dotati di percezione locale e possono applicare un atteggiamento di collaborazione nella scelta del corridoio da utilizzare. Il risultato è il miglioramento delle prestazioni del sistema ottenute dalla specializzazione corridoio, dove il movimento in ogni corridoio è fatto in una direzione specifica.

Tecnologie per MAS

Alcuni esempi:

Molti approcci ai MAS integrano diverse forme d'ispirazione:

- *TOTA*: meccanismi da “*stigmergy*” e coordinamento *field-based*
- *SAPERE*: include meccanismi dal mondo chimico, biochimico (topologia e diffusione) e la nozione di ecosistema.

Diffusione di tecnologie **tuple-based**

Gli agenti si sincronizzano, cooperano e competono basandosi su tuple, disponibili negli spazi di tuple che operano come media di coordinamento, associativamente accedendo, consumando e producendo tuple.

Possiamo considerare **Linda** come l'antenato di tutti i modelli di coordinamento tuple-based.



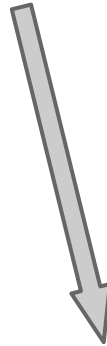
- **StoKlaim**: estensione probabilistica, aggiunge la possibilità di modellare fenomeni reali non deterministici.
- **SwarmLinda**: aggiunge *swarm intelligence*, così da ottenere scalabilità, adattività e tolleranza ai guasti.

Self-Organising System

Meccanismo o processo che rende un sistema in esecuzione in grado di cambiare la propria organizzazione senza comandi esterni.

Interazioni tra componenti di basso livello → Schemi/Comportamenti al livello globale

|
Specificate da regole che si basano
solamente su informazioni locali



Emergence

Il comparire di strutture, schemi e proprietà durante il processo di auto-organizzazione nei sistemi complessi. I fenomeni *emergenti* occorrono nel macro-livello, in contrasto ai componenti del micro-livello, da cui derivano.

Fenomeni emergenti

I fenomeni emergenti presentano diverse caratteristiche:

- Impredicibili dai componenti di basso livello
- L' *emergence* avviene ad un alto livello
- Sono dinamici, sorgono con il tempo, non sono dati a priori
- Sono riconoscibili manifestandosi

E possono essere trovati nei sistemi che:

- Presentano interazioni non lineari e sono tipicamente rappresentati come *feedback-loops*
- Presentano auto-organizzazione
- Vanno oltre all'equilibrio: Non si ha interesse in uno stato finale, ma nelle dinamiche del sistema

L'auto-organizzazione e l'*emergence* coinvolgono l'esistenza di un *feedback-loop*.

Spesso questo è prodotto dalla relazione tra agenti e l'ambiente.

Esempio:

Formiche che depositano il feromone mentre l'ambiente lo fa evaporare.



Self-Organising System

Per l'auto-organizzazione sono quindi necessarie:

- Autonomia ed incapsulamento del comportamento

Agenti per autonomia ed incapsulamento.

- Azioni locali e percezioni

Situated agents

- Ambiente distribuito, supportante le interazioni

MAS

- Supporto per organizzazione e concetti di cooperazione

Supporto MAS per l'organizzazione e la cooperazione

Il paradigma ad agenti offre astrazioni adeguate per ogni aspetto.



I MAS sono quindi divenuti un riferimento per modellare ed ingegnerizzare l'auto-organizzazione

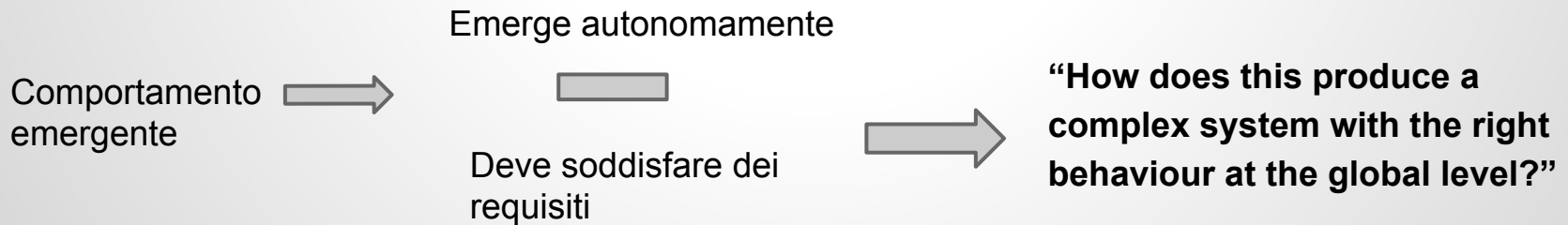
MAS per SOS

Self-Organisation e MAS si uniscono per la progettazione di sistemi più complessi.

Il dinamismo e l'apertura dei sistemi ad agenti, e la sempre maggiore distribuzione, complessità e dinamismo nelle richieste, rendono i SOS un'accoppiata quasi perfetta per i MAS, spingendo la ricerca verso i "Self-Organizing MAS" e l'unione tra pattern "nature-inspired" e astrazioni orientate agli agenti.

Obiettivo: Integrare l'auto-organizzazione all'interno dei MAS

Agire sugli agenti al micro-livello  Emergence del comportamento che ci si aspetta



“How does this produce a complex system with the right behaviour at the global level?”

Problemi

- Progettare comportamenti individuali che portino collettivamente all'*emergence* del comportamento collettivo

Processi di “ispirazione” non sono scientifici. Sono necessari approcci formali.

→ **Design Patterns:** Soluzioni standardizzate per un problema ricorrente in un dominio specifico. nel

Identifichiamo i ruoli di tutti gli agenti e delle entità.

La simulazione permette di avere un'anteprima qualitativa delle dinamiche globali del sistema.

- Come possiamo valutare la validità e

Processi iterativi di ingegnerizzazione

- Modelling
- Simulation
- Verification
- Tuning

Le proprietà del sistema vengono verificate tramite *model checking*. I

Se i requisiti non sono soddisfatti, si apportano modifiche e si ricomincia con il ciclo.