

Approfondimento per il corso di:
Sistemi Multi-Agente LS
prof. Andrea Omicini

Self-Organizing MAS

AY 2006 / 2007

Marco Giorgini

Ingegneria Informatica, Cesena

Indice della presentazione

- Introduzione ai sistemi auto-organizzanti (SOS)
- Proprietà dei SOS
- Background
 - Swarm e swarm intelligence
 - Aspetti quantitativi, process algebra
 - (Cognitive) Stigmergy
 - Psicologia - Castelfranchi
- L'importanza dell'environment
- Un esempio di metodologia
- Esempi di SOS
- Stato dell'arte

Definizione introduttiva

- Self-Organization
 - **Organization**: Si riferisce alla relazione fra le parti del sistema in termini di **struttura** e **interazioni**.
 - **Self**: Effettuata da una o più parti del sistema e non imposta da agenti esterni.
- Sistemi che sfruttano tale principio migliorano **spontaneamente** la loro organizzazione interna come risultato dell'interazione fra le parti del sistema e la mantengono anche in presenza di perturbazioni da parte dell'ambiente. Se tutto ciò è guidato da una sola singola entità si utilizzano i termini di SOS debole o SOS apparente.

Engineering viewpoint

- I SOS **offrono**:
 - Una collezione di **algoritmi** robusti per compiere task distribuiti che sono testati da qualche anno
 - **Architetture** interessanti per sviluppare sistemi artificiali scalabili (in complessità) e affidabili
 - Un avvincente **framework** per gestire la complessità sfruttando i comportamenti emergenti

Proprietà (1)

- Proprietà **emergenti**:
 - I SOS esibiscono proprietà globali che sono **non riducibili** alle proprietà delle parti del sistema. Queste proprietà si presentano come un risultato intrinseco della dinamica locale del sistema.
- **Ogni** SOS è regolato dagli stessi insiemi di principi e meccanismi e dunque l'obiettivo è quello di trovare i principi e capire come funziona l'emergenza.
- Il tutto non funziona bene se c'è un'entità che lavora da **controller** che o governa (esterno) o monopolizza (interno).

Proprietà (2)

- **Self-Protecting**: proteggere se stessi dopo perturbazioni dell'ambiente
- **Self-Healing**: recuperare dopo errori e fallimenti senza interventi esterni
- **Self-Configuring**: organizzare automaticamente parti adattandosi ai cambiamenti dell'ambiente
- **Self-Optimizing**: adattare i parametri automaticamente al cambiare dell'ambiente
- **Self-Assembling**: quando un sistema è fatto da parti fisiche si può auto-assemblare
- **Self-Localizing**: quanto topologia è importante le parti devono sapere la loro locazione nel sistema
- Alcune di queste proprietà potrebbero essere utilizzate ad esempio in applicazioni **Internet**, Web Services che sono tutte infrastrutture da cui oggi si dipende e si vorrebbe dunque che fossero affidabili, robuste, sicure ed accessibili.

Swarm - definizioni

- [**Hadeli**] Uno swarm può essere semplicemente definito come una collezione di organismi dello stesso tipo che cercano di raggiungere un certo obiettivo (goal).
- [**Deneubourg**] E' un insieme di agenti (mobili) che sono in grado di comunicare con gli altri direttamente o indirettamente (agendo sull'ambiente locale) e che cercano di **risolvere collettivamente un problema distribuito**.
- [**Clough**] Una collezione di individui autonomi che dispongono di local-sensing e comportamento reattivo così da far **emergere** attraverso le loro interazioni locali un **comportamento globale**.
 - Non è presente la figura di un leader.
 - Gli swarms sono veramente intelligenti nel gestire e percepire il loro goal collettivo.
 - Servono molte interazioni che possono essere point-to-point, broadcasting, o indirette.

Swarm - intelligenza

- Sono i comportamenti complessi e intelligenti che emergono da interazioni individuali.
- Offre un modo alternativo di disegnare sistemi nei quali tradizionalmente il controllo è centralizzato e le risposte a stimoli preprogrammate.
- Vanta dei concetti di **autonomia** e **auto sufficienza** (self-sufficiency).
- Nei sistemi che usano swarm-intelligence ogni entità possiede poca conoscenza ed alla comunità è lasciato il compito di risolvere problemi. Si ha allora **poca complessità nella singola unità**. Se si guarda il sistema nel suo insieme questo ha però una notevole complessità. Sono stati inoltre sviluppati algoritmi euristici nel campo della Ricerca Operativa basandosi sull'intelligenza swarm.
- Cambia il modo di concepire i sistemi.
 - Non più fasi di **progettazione intensa** del sistema e degli algoritmi che poi imperfezioni e inefficienze di hardware o software porteranno a probabili fallimenti. Si facilita la fase di progetto. Sarà poi l'insieme dei semplici componenti a risolvere il problema complesso dimostrando così un comportamento emergente intelligente.

Aspetti quantitativi

- Per il miglioramento del progetto di sistemi software è diventato ormai usuale non tenere solo in considerazione aspetti funzionali e requisiti architetturali, ma anche aspetti quantitativi:
 - Temporalì
 - Spaziali
 - Stocastici
- In particolare gli **aspetti aleatori** dei sistemi dinamici possono causare l'emergenza di proprietà interessanti che sono da tenere in considerazione quando si progetta un nuovo sistema.

Aspetti quantitativi - Middleware

- Attualmente ci sono diversi lavori su modelli di coordinazione che prendono in considerazione questi aspetti:
 - **TOTA** (Tuples On The Air): questo middleware supporta il concetto di tuple **spazialmente** distribuite ispirandosi al concetto di campo (fisica).
 - **Swarm Linda**: simile a TOTA, ma più ispirato da swarm intelligence e stigmergia.
 - **Swarm robotics**: ispirato a **insetti** che vivono in società e applicato nella coordinazione di una molteplicità di **robot** ai quali sono associati goal molto semplici che però permettono all'intero sistema di risolvere problemi molto complessi attraverso l'uso di algoritmi distribuiti.
- Opportuni tools per analisi e design supportano lo sviluppo di sistemi a vari livelli, dalle specifiche fino alle simulazioni.

Process Algebra

- Le **sfide** nell'ingegneria dei sistemi auto-organizzanti:
 - *garantire che le proprietà desiderante emergano*
 - *evitare effetti non desiderati (side-effect)*
- I metodi formali sono strumenti matematici che aiutano il processo di ingegnerizzazione dei sistemi.
- Esiste un modello/linguaggio formale chiamato **π -calculus** – sviluppato da Robin Milner ed estensione di CSS (calculus of communicating system) - che può essere considerato uno strumento prezioso per quel che riguarda l'ingegneria dei sistemi auto-organizzanti.
- Grazie ad una sua **estensione stocastica** è infatti possibile simulare il comportamento dei sistemi a design time e poter effettuare così la messa a punto (tuning) di tutti i parametri progettuali su cui si sono viste domande nei due esempi precedenti. Presenta tuttavia **limiti** se si parla di situatedness.

Stigmergy (S)

- Adottata solitamente **come tecnica per realizzare forme di coordinazione emergente** in società composte da agenti **semplici**, ma può avere risultati interessanti anche con agenti **cognitivi**, come un modo per supportare le **attività di alto livello** basate sulla conoscenza.
 - Grassè, anni 50, *coordination paradox*, entità sociali semplici e apparentemente indipendenti, ma con comportamento sociale che emerge. Si riferiva a coordinazione indiretta osservata nelle società di **termiti** mentre costruiscono il loro nido.
- Usata come sorgente di **metafore** di coordinazione e meccanismi per sistemi robusti ed affidabili caratterizzati da un'evoluzione imprevedibile.
- Nei MAS si potrebbe utilizzare:
 - Per risolvere problemi complessi
 - Approccio per il progetto e lo sviluppo di sistemi

Stigmergy (S) – Esempio

- Le **formiche**

- Vagano casualmente cercando cibo
- Se lo trovano lo raccolgono e tornano al nido lasciando feromone lungo la strada
- Se una formica percepisce il feromone e non sta portando del cibo segue il percorso creato dal feromone
- Più formiche passano su quel percorso più feromone c'è e se ci fosse un bivio verrebbe preferito il percorso in cui la presenza di feromone è superiore.
- Se ci sono più percorsi allora il più corto sarà anche quello con più feromone in quanto la frequenza di passaggio di formiche sarà maggiore e verrà scelto con maggiore probabilità rispetto ad un altro poco frequentato. Ecco dunque che questo fatto può essere utilizzato anche come algoritmo di ottimizzazione.
- Guardando una singola formica non si può capire che questa sta indirettamente lasciando tracce alle altre, mentre se si guarda tutta la società si nota il comportamento emergente.

Verso la Cognitive Stigmergy

- Inizialmente si è studiato un meta-modello di base semplice e con agenti omogenei che ha suscitato critiche:
 - È **ant-like** quindi non ci sono abilità cognitive
 - Ambiente troppo elementare (feromone)
- D'altra parte studi nel campo delle scienze cognitive hanno dimostrato che è un meccanismo fondamentale per coordinazione nel contesto della società umana e dell'organizzazione:
 - Ambiente
 - Modifiche come sistema convenzionale di segnali
 - Interazione sempre **mediata** (feromone) = no interazione diretta fra entità
 - composto da **artefatti** che costruiscono lo spazio di lavoro, è questo che porta sostanzialmente dalla stigmergy tradizionale (ant-like) alla cognitive stigmergy.
 - assume un ruolo chiave, non è solo mediatore passivo, ma anche **regolatore**.
 - Agenti
 - interagiscono e hanno dunque **abilità cognitive**
- Si studia l'impatto della stigmergy sull'interazione e coordinazione se si applica in un MAS.

Cognitive Stigmergy (CS) nei MAS

- Le società saranno composte da agenti goal o task oriented che interagiscono a livello cognitivo ed immersi in un certo ambiente.
- **Agenti** fatti in modo tale che siano consapevoli:
 - Del loro campo di lavoro
 - Dell'essere in compresenza di altri agenti
 - Delle loro funzionalità e opportunità che possono usare per raggiungere i loro obiettivi (affordance)
- **Ambiente** come abilitatore e vincolatore delle interazioni e delle attività degli agenti. Come per la stigmergy classica non più solo passivo nel senso di conservare informazioni e renderle disponibili, ma anche **reattivo** e dove l'**alterazione** dell'ambiente avviene indipendentemente dalle intenzioni degli agenti. Da un punto di vista cognitivo è utile sfruttare il concetto di **artefatto** per la modellazione dell'ambiente.

(CS) Artefatti nei MAS

- Per quanto detto si riformula il contesto della stigmergia cognitiva in termini di un insieme di agenti che condividono artefatti. Si può dividere l'insieme in due livelli:
 - **Domain level**: artefatti rappresentano l'obiettivo del lavoro degli agenti (objectification)
 - **Tool level**: con artefatti che rappresentano gli strumenti di lavoro che possono aiutare l'agente a fare il loro lavoro
- Artefatti si possono collegare fra loro così da migliorare il lavoro della società di agenti dello stesso ambiente, aumentando conoscenza riguardo i modi di utilizzo di artefatti, l'evoluzione, adattamento sociale per fare lavorare meglio la comunità. Per supportare questa funzionalità si incapsula un meccanismo di stigmergia all'interno degli artefatti.

(CS) Località nei MAS

- Nella stigmergy classica il concetto di topologia è legato alla posizione fisica.
- Nella cognitive stigmergy può essere formulato basandosi sulla nozione di **workspace** che è un insieme di artefatti direttamente disponibili per gli agenti. L'insieme è aperto, nel senso che artefatti e agenti possono appartenere al workspace in modo dinamico.
- Si può introdurre il concetto di organizzazione per determinare se un artefatto può essere visibile e usabile da un agente in accordo al ruolo e ai permessi di quest'ultimo.

(CS) Annotazioni nei MAS

- Uscendo dal contesto stigmergy classico dove c'erano concetti tipo quello di feromone per le interazioni fra entità si passa a parlare di pezzi di informazioni (symbolic) chiamate annotazioni. Possono servire
 - (1) per rappresentare commenti o conoscenza riguardo artefatti
 - (2) contenere metodologie di utilizzo di questi oppure
 - (3) contenere informazioni sulle annotazioni stesse.
- La loro **conoscenza interna** (come per gli speech act) è contemporaneamente:
 - **Esplicita**: il contenuto
 - **Implicita**: il modo in cui ragionare sull'informazione e usarla opportunamente in base all'intenzione che aveva chi l'ha creata.
- Possono poi essere **create**:
 - Esplicitamente dagli **agenti**
 - Dagli **artefatti** come supporto al loro lavoro

(CS) & Artefatti

- Artefatti devono promuovere la consapevolezza degli agenti così da permettere loro di sapere quale lavoro stanno compiendo gli altri agenti del MAS e anche in che modo.
- A tal proposito sarebbe gradita la creazione automatica di annotazioni del domain-level per riportare le informazioni riguardo a quali artefatti sono stati usati dagli altri agenti che hanno usato un certo artefatto.
- Informazioni tali potrebbero aiutare per esempio la **selezione** di un artefatto per il raggiungimento di un goal/task di un agente.

(CS) Awareness nei MAS

- Similmente a quanto avviene con il feromone si vuole che in sistemi dinamici più agenti utilizzano un artefatto più questi si rendano conto dell'**utilità** di questo e dunque aumentano gli agenti che lo utilizzano. Per fare questo si possono utilizzare (artefatti quali) i concetti di:
 - **Dashboard**: interfaccia che fornisce tutto ciò che serve ad un agente per interagire con un artefatto tipo come interagire con esso e come lavorare con le annotazioni ad esso collegate.
 - **Note-board**: ogni artefatto ha le sue annotazioni qui contenute, inserite da agenti o da artefatti.
 - **Log**: tiene traccia di tutti gli eventi, delle azioni degli agenti, gli utilizzi degli artefatti.
 - **Diary**: Tiene traccia delle annotazioni che un agente ha intenzionalmente letto.
- Ogni volta che un artefatto è utilizzato da un agente è quasi come se questo artefatto poi continuasse ad osservarlo e ad annotarsi quello che questi ha successivamente fatto in termini di quale altro artefatto ha utilizzato.

(CS) Meccanismi ricorrenti

- Per supportare i processi della cognitive stigmergy si introducono:
 - **Diffusion**: le due artefatti sono collegati allora le annotazioni sulla note-board di uno dei due devono essere inserite anche nella note-board dell'altro (ma è efficiente!?).
 - **Aggregation**: consente di aggregare più annotazioni in un'unica così da poter fare una sorta di riassunto. Per esempio potrebbe contenere la quantità media di volte che un agente ha usato un certo artefatto in una sua sessione di lavoro.
 - **Selection & Ordering**: Ragionando sulle annotazione è possibile ordinarle in base alla loro data di creazione (freshness) oppure in base al loro livello di diffusione nelle varie note-board. Selezione è invece fatta per prendere e rendere disponibili un certo numero di annotazioni in base a qualche criterio. A volte la selezione è unita all'ordinamento così da simulare quello che nella stigmergy è il fenomeno dell'evaporazione del feromone. La dissipazione della stigmergy è così uno specifico caso di selezione.

(CS) L'infrastruttura TuCSoN

- Può essere il middleware per la CS:
 - Supporta la nozione di artefatto come astrazione di prima classe di cui si può definire il comportamento.
 - Supporta la comunicazione cognitiva e generativa basandosi sul concetto di tupla.
- Fornisce:
 - **Tuple-centre**: con i quali si può modellare il concetto di **artefatto** e così anche quelli che sono stati già definiti quali note-board, etc.
 - **Tuple logiche**: per modellare il concetto di **annotazione**
- Ed è presente anche il linguaggio ReSpecT (Turing-equivalent) con il quale programmare un comportamento reattivo degli artefatti e garantire le proprietà quali aggregazione (si consumano le tuple), selezione e ordinamento (ci crea e mantiene una tupla che contiene una lista di altre tuple opportunamente ordinata), diffusione e link (attraverso la proprietà di linkability dei tuple-centre che consente di collegare fra loro diversi artefatti, ossia tuple-centre, è possibile copiare una tupla da un tuple-centre all'altro, così da renderla appartenente ad entrambi gli artefatti).

BIC – Castelfranchi

- Caratteristiche fondamentali:
 1. Le azioni/comportamenti e la comunicazione non sono la stessa cosa
 2. La comunicazione è una cosa voluta e si può ottenere anche con determinati comportamenti
 3. Ogni elemento (tuple) prodotto da un agente in un sistema non è comunicazione, un processo tale è spesso chiamato indirect communication via changing the environment o stigmergy.
 4. La comunicazione è dunque un tipo di specializzazione di azione/comportamenti
 5. La Stigmergy è una comunicazione basata su azioni pratiche (Behavioral Communication)
- La ragione per la comunicazione è la collaborazione ed è uno strumento per le azioni sociali (cooperazione). C'è una distinzione fra practical (inter)action e lo spedire un messaggio specifico per preparare, coordinare e controllare le azioni pratiche. Nelle società di agenti non è necessaria la comunicazione, ma è molto importante per le interazioni sociali.
- I principali approcci ai comportamenti sociali provengono da:
 - Speech act
 - Communication theory
 - Communication network & conversation sono considerate la struttura di base dell'organizzazione
- Quando gli agenti operano in un mondo condiviso pagano il costo dei loro reciproci ostacoli (accesso a risorse per esempio), ma hanno anche delle opportunità. Una di queste opportunità è quella di estrarre informazioni dal comportamento degli altri (consapevoli di essere osservati) e poi utilizzarlo come meglio credono (vedi cognitive stigmergy).

BIC – Castelfranchi

- BIC significa Behavioral Implicit Communication
 - **Behavioral**: in quanto è un semplice comportamento, non codificato
 - **Implicit**: in quanto il carattere comunicativo non è marcato, non è manifestato.
- La definizione è un po' vaga per questo spesso si crea confusione fra comunicazione non verbale e comportamentale.
 - **Non verbale**: basata su segnali convenzionali, comunicazione è innata o deve essere **imparata** (umano comunica tramite gesti alla macchina per esempio).
 - **Comportamentale**: un più semplice e assolutamente non specializzato modo per raggiungere coordinazione senza comunicazione esplicita.

BIC – Castelfranchi

- BIC può essere definito come un'azione pratica che in principio punta a raggiungere un (0) **goal pratico**, ma che può anche portare al raggiungimento di un **goal di comunicazione** senza un predeterminato (innato) e specificato significato.
- Ci si chiede cosa avviene se (1) **l'agente è osservato** (e questo gli fa piacere) è conscio del significato che gli altri associano (interpretano) alla sua azione. Nessuna azione specifica, ma solo una comunicazione implicita.
- Nella concezione **debole** di BIC l'agente non agisce per fare capire agli altri cosa sta facendo, ma è semplicemente conscio che questo potrebbe accadere e in questo caso può allora nascondere quel che voleva fare così da evitare di essere osservato. E' una concezione debole in quanto **la comunicazione non è di sua intenzione**, ma un risultato a lui noto. Per essere forte deve essere (2) **voluta dall'agente**.
- C'è poi la distinzione fra (3) **effetti previsti (risultati desiderati)** e **non previsti (risultati non desiderati)**. L'agente sa che ci potrebbero essere più risultati (effetti) dopo una sua azione, ma **agirebbe anche se questi non ci fossero**, non agisce per questi.
- L'insieme di (0), (1), (2), (3) porta alla Behavioral Communication. Se la comunicazione era l'**unico scopo** dell'agente allora tutto perde di significato.
- Per arrivare a parlare di comunicazione implicita bisogna che l'agente sia **conscio** che gli altri lo osservino, del fatto che gli altri capiscano cosa sta facendo, ma che lui **non pianifichi** questo. Inoltre un agente **non deve imparare** qualcosa per comunicare, deve solamente agire con la sua azione pratica (come muoversi, raccogliere oggetti, ...)

BIC – Castelfranchi

- La **stigmergy** è un caso particolare di BIC in quanto ogni BIC è basata sulla percezione di un'azione e questa può essere vista come il percepire qualche traccia di azione (feromone) dall'ambiente. L'unica differenza è che le tracce permangono anche dopo che l'autore di esse non è più presente. Per far sì che una comunicazione basata sulle tracce sia stigmergy deve poi essere necessario che l'oggetto percepito sia pratico e che l'azione d'origini abbia avuto obiettivi pratici (come il dover costruire un nido).
- Casistiche di coordinazione
 - **Non-BIC-based unilateral**: X interferisce con Y, Y osserva X e agisce di conseguenza mentre X non sa di essere osservato, Y non riceve comunicazioni da X
 - **BIC-based unilateral**: X interferisce con Y, ne è a conoscenza, ma X non intende coordinarsi. In questo caso il comportamento di X è comunicativo.
 - **Bilateral**: questo caso si ha quando X e Y sanno entrambi di interferire l'uno con l'altro, ma lo ignorano o non lo sanno. Anche qui ci sono i due casi BIC (almeno uno dei due è conscio) e non-BIC.
 - **Mutual**: qui la coordinazione è mutua nel senso che entrambi vogliono coordinarsi quindi è possibile solo il BIC-based. Ogni atto di coordinazione è un messaggio all'altro.

BIC – Castelfranchi

- BIC è dunque:
 - Veramente economica
 - Veramente spontanea
 - Veramente pratica e una comunicazione piuttosto efficace che sfrutta i side-effect delle azioni e la naturale disposizione degli agenti che osservano e interpretano il comportamento degli altri.
- Condizioni se X fa qualcosa:
 - Y deve poter **percepire**.
 - Y deve poter **attribuire significato** all'azione (pattern-matching o categorization, if-then, deve essere dentro l'agente, quindi esprimibile tramite qualche linguaggio per agenti, non deve essere qualcosa che fanno gli artefatti, giusto? mia nota).
 - Dopo un po' di volte che succede una certa cosa (monitorare) si crea una coppia azione-effetto. Chiamando E l'effetto allora qualora si verifichi la solita azione di X si ha che Y ha una certa capacità predittiva sugli effetti di essa e quindi si può coordinare con questi in anticipo. (In questo modo si potrebbe imparare effettivamente... dopo dieci volte che ti casca un sasso in testa impari a spostarti).
 - Infine X **percepisce** che quando fa la certa azione Y si aspetta l'effetto E e quindi anche X si può organizzare di conseguenza e quindi la attua di conseguenza (ecco l'intenzione che porta a parlare di BIC)

BIC – Castelfranchi

- **Ordine sociale** può essere mantenuto con la **auto-organizzazione**, spontaneamente e informalmente con spontanee e decentralizzate forme di controllo e di sanzione. BIC è importante in questo contesto.
- C'è anche la possibilità di comunicazione per fare credere qualcosa di non vero agli altri agenti e questa è la classica “simulazione” (tipo le finte a calcio). Simulazione è dunque un'evoluzione di BIC.

MAS Environment

- **Ruolo attivo e memoria collettiva:** usata per attività auto-organizzanti; basti pensare al feromone delle formiche che è collezionato dall'ambiente. Questo feromone si aggrega, si diffonde ed evapora.
- **Riduzione di complessità:** La complessità di certe operazioni sarà delegata all'ambiente
- Quale metodologia di progetto per tenere conto delle proprietà derivanti dallo studio dei self-organization system? ADELFE è l'unica metodologia esistente che ci prova, ma non garantisce le proprietà globali del sistema.

Esempio di Metodologia

- Una possibile metodologia di progetto per un sistema auto-organizzante può essere quella proposta in [5]. Si procede (detto rozzamente) per tentativi cercando la soluzione migliore di un problema fra diverse possibili. Questo è dovuto al fatto che l'unico modo (o meglio, questa è la credenza attuale, ancora da confermare) per vedere se emergono proprietà in un sistema auto-organizzante è quello della **simulazione stocastica**.
 - **Fase 1 Prototyping**: Usare un linguaggio formale per specificare diversi modelli astratti come possibili architetture del sistema (per esempio tramite pi-calculus)
 - **Fase 2 Dynamics analysis, Modelling, Coarse Tuning**: Analizzare tramite simulazione il comportamento delle varie soluzioni per trovare quella che sembra migliore. Si effettua sostanzialmente il tuning dei parametri (tramite Maude).
 - **Fase 3 Verification**: Trovata la soluzione che sembra corretta e migliore si verificano alcune proprietà attraverso un Model Checker così da garantirne maggiore robustezza (attualmente limitante in quanto ad esempio Maude non permette di esaminare processi stocastici).
- Si deve arrivare sostanzialmente ad un punto nel quale poter dire se: “La proprietà X emergerà in 5 minuti con una probabilità maggiore del 95%?”

Esempio di SOS – 1

▪ [Collective Sorting]

- Dati diversi TS (Tuple Spaces) e diversi tipi di tuple raggruppare quelle di stesso tipo in opportuni TS in modo da avere un certo ordine nel sistema. Viene migliorata per prima l'efficienza nel senso che se un agente necessita di un certo tipo di tupla e ne ha letta una simile da un determinato TS, può avere una buona probabilità che leggendo dallo stesso TS riuscirà a trovare un'altra tupla di suo interesse senza doverla cercare in altri TS.
- Un approccio puramente Ant-like non è scalabile se si vuole operare **online** ed **in background** in quanto si utilizzerebbero due probabilità il cui calcolo richiederebbe conteggi di tuple in tutti i TS.
- Si può procedere invece con un approccio sempre probabilistico, ma più leggero, nel quale sono necessarie solamente letture da due TS qualora si voglia valutare se spostare una certa tupla da un TS ad un altro.

Sin dalle prime fasi di progetto, tramite simulazione, si può rispondere alle domande

- L'ordine sarà raggiunto **a partire da** situazioni totalmente caotiche?
- **Quanti spostamenti** sono necessari?
- Cosa succede se tutte le tuple sono in un solo TS?

Esempio di SOS – 2

▪ [Intrusion Detection]

- I limiti dei sistemi di sicurezza basati solo su autenticazione e autorizzazione si possono notare in quanto alcuni comportamenti non previsti da un punto di vista statico si possono verificare a run-time. E' allora spesso necessario aggiungere a sistemi informatici un **ulteriore livello di sicurezza**, quello del rilevatore di intrusioni, ossia di comportamenti anomali che non si dovrebbero verificare.
- In [3] si è tentato di applicare il comportamento dei linfociti del corpo umano che sono quella parte di sistema immunitario adattabile a nuove minacce.
- Per far questo si utilizzano **agenti che fungono da linfociti** ognuno dei quali può:
 - rilevare solamente un sottoinsieme di possibili comportamenti non desiderati (diversity)
 - se non rileva un'intrusione per un certo tempo è rimpiazzato da un altro agente linfocita di un altro tipo (disposability), un po' come per i linfociti veri e propri che se sono usati fanno da memoria per garantire velocità di intervento, sennò sono eliminati
 - possono imparare e sintetizzare nuove signature di comportamenti anomali (adaptability)
- Si incapsulano queste abilità all'interno dell'agente astraendo dai loro dettagli.
- Anche qui grazie alla **simulazione** si può capire l'impatto di differenti scelte progettuali e parametri dell'infrastruttura di intrusion detection quali la frequenza di ispezioni e di rilevamenti di comportamenti anomali, numero di agenti linfociti...

Stato dell'arte

- Non è un campo stabile dunque c'è ancora molto lavoro da fare.
- Questo implica la mancanza di **metodologie** mature e di strumenti disponibili.
- Molto dello studio è fatto sul tentativo di imitare la natura ad esempio modellando e simulando sistemi.
- SO coinvolge lo studio di diversi elementi, quali: autonomia, topologia, concorrenza, coordinazione, ridondanza.

Bibliografia

- [1] Chapter 3. Swarm Intelligence, Featuring Ant-Colony Engineering, Hadeli, PhD Thesis.
- [2] Collective Sorting Tuple Spaces, Matteo Casadei, Luca Gardelli, Mirko Viroli
- [3] On the role of Simulations in Engineering Self-Organizing MAS: the Case of an Intrusion Detection System in Tucson, Luca Gardelli, Mirko Viroli, Andrea Omicini

Bibliografia

- [4] Cognitive Stigmergy: A framework based on agents and artifacts, Andrea Omicini, Alessandro Ricci, Mirko Viroli, Luca Gardelli, Enrico Oliva
- [5] Engineering the environment of self-organising multi-agent systems exploiting formal analysis tools, Luca Gardelli, Mirko Viroli, Matteo Casadei

Bibliografia

- [6] Silent Agents Behavioral Implicit Coordination and HM Interaction, Cristiano Castelfranchi, Francesca Giardini
- [7] Altre slides di Omicini e Gardelli
 - ing2.unibo.it
 - lia.deis.unibo.it/~ao