

How to learn by ant

Enrico Oliva

Corso di Sistemi Distribuiti LS

enricooliva@hotmail.com

Sommario

Nell'ambito della ricerca sui MAS ispirati ai sistemi naturali, se ne sono studiate le proprietà generali. Tali sistemi, come le formiche, condividono delle caratteristiche comuni che ne permettono l'auto organizzazione. Un modello semplice per valutare tale proprietà fa riferimento alle leggi della termodinamica. Queste caratteristiche risultano essere necessarie alla costruzione di un MAS auto organizzato.

1 I sistemi naturali

1.1 Comportamento emergente

Il concetto di emersione è attribuito all'apparizione di leggi, modelli o ordine attraverso la cooperazione di più entità in un sistema complesso. Quindi l'emersione di leggi o modelli non è una intrinseca proprietà delle unità ma piuttosto una proprietà del sistema nel suo complesso. (Ad esempio il movimento di un gas e le leggi che lo governano).

I sistemi dinamici, sono formati per la maggior parte da fenomeni naturali sono (generalmente) non in equilibrio, fortemente non lineari e con pochi strumenti teorici. Qualche esempio: l'economia, la borsa, il tempo, le colonie di formiche, il terremoto, il traffico, gli organismi viventi, l'ecosistema, le turbolenze, le epidemie e il sistema immunitario...

Nell'universo esistono molti livelli di complessità collegati tra loro ed ogni livello ha il suo modello emergente, con le sue leggi; ad esempio: il sistema solare, gli ecosistemi, le galassie, i pianeti, le cellule, gli atomi ed hanno tutti diversi comportamenti e regole emergenti.

1.2 Auto organizzazione ed entropia

I sistemi naturali pur essendo non in equilibrio si auto-organizzano senza sollecitazioni esterne, e si pongono in uno stato tra il completo disordine e il completo ordine. Il sistema evolve da solo in uno stato auto-organizzato dal quale deduciamo le leggi che lo governano.

Tali sistemi, che tendono a svilupparsi verso un crescente ordine e organizzazione sembrano essere in contrasto con il secondo principio della termodinamica. Naturalmente non c'è contrasto, l'aumento del disordine e dell'entropia richiesto dalla seconda legge della termodinamica riguarda un sistema chiuso e in equilibrio.

I sistemi viventi non sono dei sistemi chiusi e in equilibrio ma usano un flusso di energia per guidare i loro processi di crescita d'ordine, dissipando calore o altri modi che conducono ad un complessivo incremento di entropia dell'universo.

Possiamo dire quindi che gli organismi sono delle strutture dissipative cioè che hanno all'interno dei meccanismi di dissipazione d'energia e che hanno la tendenza all'auto-organizzazione e alla formazione di modelli.

2 Swarm Intelligence

La swarm intelligence (SI) è la proprietà di un sistema attraverso la quale il comportamento collettivo di semplici agenti interagenti localmente con il loro ambiente causa l'emersione di patterns globali coerenti e funzionali.

La SI provvede a dare le basi con le quali è possibile realizzare il distribuito problem solving senza un controllo centralizzato.

Il comportamento emergente, in particolare delle colonie di insetti è stato studiato e applicato con

successo, in questi ultimi anni, in alcuni contesti produttivi. Tali sistemi di insetti hanno tre proprietà fondamentali:

- Flessibilità (le colonie possono adattarsi al cambiamento dell'ambiente);
- Robustezza (anche quando uno o più individui falliscono, il gruppo può ancora eseguire il suo compito);
- Auto-organizzazione (Attività non sono né controllate centralmente né supervisionate localmente);

Osservando il modo con cui le formiche creano il loro percorso per raggiungere il cibo sono stati costruiti degli algoritmi di ottimizzazione per il routing di veicoli, la pianificazione dei percorsi in grado di adattarsi molto bene ai cambiamenti, se ad esempio un collegamento si guasta, questi algoritmi sono in grado di riorganizzarsi e di trovare una soluzione alternativa senza dover rifare la pianificazione dell'intero problema.

Volendo riprodurre le proprietà del modello naturale sono stati riscritti degli algoritmi di ottimizzazione ispirati alle formiche come il TSP, Job-shop scheduling, Vehicle routing, Quadratic assignment, Graph coloring che hanno trovato applicazione in settori produttivi con caratteristiche dinamiche sostituendosi ad un sistema con controllo centralizzato. [8] 'Ant Algorithms for Discrete Optimization'

La divisione dinamica dei compiti, la auto ottimizzazione della catena produttiva, l'utilizzo di semplici regole di coordinazione all'interno dell'azienda sono altri esempi di successo, che hanno portato ad un aumento della produttività o del fatturato, ispirati alla 'swarm intelligence'.

Attualmente si sta pensando ad alcuni strumenti swarm per l'ottimizzazione e la supervisione delle operazioni in varie aree di business.

La visione nell'ambito economico è quella di aziende che costruiscono il loro business dal basso verso l'alto usando i principi della swarm intelligence integrati ovunque: sia nell'operazioni, che nell'organizzazione che nelle strategie. [4] Swarm Intelligence: A Whole New Way to Think About Business

3 Un sistema naturale: la colonia di formiche

Molte forme di insetti sociali hanno delle impressionanti forme di coordinazione senza una diretta iterazione tra loro e senza una particolare intelligenza.

Per esempio le formiche: non hanno un capo ma si auto-organizzano, seguendo semplici regole di iterazione con l'ambiente e con le compagne. Una società complessa e organizzata emerge dall'iterazione di molte formiche. La colonia mostra anche una capacità di adattarsi al cambiamento, usando un meccanismo di feedback e un corrispondente studio di scelta.

Il comportamento emergente della colonia di formiche è una rete di percorsi che collegano il loro nido alle sorgenti di cibo, questa rete forma il minimo spanning tree, cioè minimizzano l'energia necessaria per portare il cibo al nido. Questa globale ottimizzazione emerge dal girovagare di ogni formica che preferibilmente segue i feromoni del cibo e lascia quelli del nido se non trasposta nulla altrimenti segue i feromoni del nido e lascia quelli del cibo.

La figura 1 mostra l'evolversi del campo di feromoni depositati attraverso lo sciame di formiche che escono dal nido in cerca di cibo. Si può osservare che appena una formica trova il cibo e inizia a ritornare al nido, il campo rapidamente collassa in un unico percorso.

L'ambiente deve provvedere a tre operazioni sui feromoni: Aggregare i feromoni lasciati dai singoli agenti cioè fondere l'informazione; Evaporare i feromoni vecchi che non contengono informazione. Diffondere i feromoni nelle vicinanze cioè distribuire l'informazione localmente. Attraverso il continuo rinforzo il campo di forza generato dai feromoni si stabilizza velocemente. Quindi la nuova informazione è facilmente integrata nel campo mentre la vecchia informazione viene eliminata attraverso il meccanismo dell'evaporazione. Il campo costruito attraverso le formiche genera un potenziale che guida i loro movimenti. Le formiche interagiscono solo con i feromoni nelle loro vicinanze, attraverso la costruzione della traccia e la lettura del locale campo di forza dei feromoni. La natura stessa della propagazione e dell'evaporazione dei feromoni permette un naturale e distribuito mec-

canismo di costruzione e mantenimento del campo. Come si forma il cammino minimo:

Nella figura: due formiche lasciano il nido alla ricerca di cibo lasciando una traccia di feromoni nido e prendendo percorsi diversi. La prima formica che ritornerà al nido con il cibo rafforzerà il suo percorso e le altre formiche seguendo il percorso più forte la seguiranno. La formica che è arrivata per prima avrà percorso il cammino più breve

Si può pensare che i modelli fisici come le formiche siano una risorsa non esplorata per la comprensione dei sistemi multi agente.

4 Elementi di coordinazione di un sistema auto-organizzato

4.1 Il campo elemento necessario

Dall'esperienza ormai consolidata di diversi anni di studi possiamo ricavare delle condizioni necessarie per l'esistenza di un sistema auto-organizzato.

L'auto-organizzazione coincide con il comportamento emergente di un sistema ed è sicuramente una proprietà affascinante, il modo di ottenerla può essere anche molto complicato dal punto di vista del progetto e stupisce come i sistemi naturali con semplici regole riescano ad ottenerla.

Si verifica in tali sistemi un apprendimento rinforzato: tecnica del bastone e della carota ad esempio in una colonia di formiche viene premiato il percorso più breve per arrivare al cibo che continua ad essere alimentato mentre vengono puniti gli altri percorsi che si indeboliscono fino a scomparire. L'osservazione di questi sistemi naturali e delle loro proprietà ci aiuta a cogliere gli elementi necessari per poter ingegnerizzare la costruzione di un sistema auto-organizzato.

Nell'ambiente deve esserci la presenza di un campo.

Tale campo deve propagarsi e deve essere percepibile dalle entità;

Deve esistere un effetto di retroazione positiva sul campo (di rinforzo del campo).

Nel caso delle formiche il campo è formato dai feromoni la retroazione positiva è data dall'affluire di molte formiche sullo stesso percorso rinforzando la traccia verso il cibo.

Nell'articolo di Zambonelli Co-Field: an Adaptive Approach for Motion Coordination in Mobile Computing Scenarios [5] viene presentato un modello di coordinazione dove viene associato ad ogni singola entità un campo di forza. Il ciclo di retroazione positiva è generato dal movimento dei singoli agenti che provocano un cambiamento della forma del campo che a sua volta influenza il movimento degli altri agenti.

Nell'articolo di Parunak Cannibals e Missionari Ant-Like Missionaries and Cannibals: [3] dove viene risolto il problema del trasporto da una riva all'altra dei missionari senza che fossero uccisi dai cannibali. Il sistema utilizza un meccanismo di controllo del movimento decentralizzato con l'ausilio di feromoni artificiali. Anche in questo caso possiamo parlare di auto-organizzazione perché le entità si organizzano per raggiungere l'obiettivo senza nessuna comunicazione esplicita. Quindi anche in questo caso essendo presente una forma di comportamento emergente dovremo trovare un campo che è dato dai feromoni artificiali.

Ingegnerizzare i sistemi naturali non significa emulare perfettamente il loro comportamento ma è fondamentale mantenerne lo spirito.

4.2 Aggiungiamo informazione al sistema

Possiamo utilizzare il paradigma termodinamico per cogliere ulteriori aspetti della coordinazione dei sistemi multi agente che si auto-organizzano.

Dalla seconda legge della termodinamica sappiamo che un sistema lasciato solo tende ad uno stato di maggior disordine, l'energia accumulata in un punto tende spontaneamente a spargersi nello spazio. Aggiungendo dell'energia al sistema si tende a superare il secondo principio della termodinamica portando ad un incremento della struttura. Anche la tendenza di un gruppo autonomo di processi è il disordine. Per superare tale stato aggiungiamo dell'informazione all'insieme degli agenti così facendo possiamo ottenere un aumento dell'ordine ma solo se questa informazione aggiuntiva è veramente significativa e posta nella maniera utile al sistema. (esempio l'energia utilizzata per costruire un palazzo è la stessa di una bomba che potrebbe distruggerlo)

L'idea interessante di aggiungere informazione al sistema ad esempio attraverso l'ambiente per

migliorarne le prestazioni è applicata nell'articolo Parunak Ant-Like Missionaries and Cannibals: [3]. La misura dell'ordine di un sistema è data dall'entropia questa grandezza può essere calcolata al variare del tempo indicandoci il livello dell'ordine del sistema.

4.3 La misura dell'entropia in un MAS

Definizione di entropia dell'informazione:

$$S = \sum_i p_i \log p_i \quad (1)$$

i indice sui possibili stati del sistema, p_i probabilità di trovarsi in uno dei possibili stati.

Possiamo utilizzare questa definizione molto simile formalmente alla definizione della seconda legge della termodinamica per misurare l'entropia di un sistema di agenti.

Per calcolare l'entropia di Shannon occorrono due grandezze:

- L'insieme degli stati del sistema;
- La probabilità di trovare il sistema in uno di questi stati;

Ad esempio potremmo di dividere l'ambiente con una griglia e definiamo gli stati come la popolazione presente in ogni cella. Il calcolare analiticamente la probabilità di essere in un certo stato diventa molto complicata per semplici sistemi e praticamente impossibile per quelli complessi.

Ricorriamo quindi all'utilizzo della simulazione attraverso il metodo di Monte Carlo che consiste nell'eseguire l'intero processo ripetutamente. Calcoliamo la probabilità di uno stato contando il numero di volte che una certa configurazione viene osservata. Otteniamo un valore dinamico dell'entropia associato allo stato del sistema. [2]

4.4 Entropia un modello per auto-organizzazione (Macro e micro livello)

Sia nei sistemi naturali che in quelli multi agente dove si ha l'emergere di modelli possiamo osservare una diminuzione di entropia al macro livello dovuta, all'aumentare dell'ordine del sistema, associata ad un processo dissipativo al micro livello

che fornisce l'entropia spesa e che nel complesso fa aumentare l'entropia globale del sistema.

Nel caso delle formiche il micro livello dissipativo è creato attraverso il deposito e l'evaporazione dei feromoni. Nell'articolo di Parunak Entropy and SelfOrganization in Multi-Agent Systems [2] viene calcolato il livello di entropia sia al macro che al micro livello al variare dello stato del sistema. Quindi si ha una misura dinamica dello stato di organizzazione del sistema.

Possiamo quindi parlare di progettazione del macro e del micro livello dove il comportamento degli agenti nel livello più alto è in relazione con l'incremento di entropia nel livello più basso.

L'entropia spesa in generale viene recuperata dal micro livello attraverso un processo casuale di produzione e mantenimento del gradient,e direzione seguita dalle singole entità. (necessaria la presenza di un campo che permette la coordinazione)

Anche nel sistema economico possiamo osservare un macro livello di organizzazione dovuto al campo generato dalla moneta. Il macro livello è composto da strutture come catene di rifornimento dei prodotti e centri di accumulo della moneta (concentrazioni economiche) mentre il micro livello sono i processi di scambio di moneta e di rifornimento dei prodotti.

4.5 Funzione di scelta CF

La funzione CF è propria di ogni singolo agente, è funzione di parametri presenti nell'ambiente (e.g. feromoni) è determina il comportamento di ogni singolo agente.

Il modellare correttamente questa funzione risulta fondamentale perché dall'iterazione locale tra gli agenti e tra agenti ambiente ne scaturisce un comportamento globale auto organizzato, una intelligenza emergente. La relazione tra il comportamento globale e quello locale è difficilmente prevedibile se non attraverso la simulazione, ci ispiriamo a modelli naturali che ci mostrano costantemente caratteristiche di emersione.(il come fare)

Nel caso di un sistema ispirato alle formiche con la presenza di alcuni parametri di ambiente per decidere il movimento e non perderne la stocasticità CF avrà un valor compreso tra [0,1] che viene confrontato con un valore casuale V [0,1]; se CF risulta maggiore di V l'agente è candidato al movimento. [3] Il valore della funzione CF compreso tra

[0,1] rappresenta la probabilità con cui vogliamo far muovere l'agente in base a dei parametri rilevati nell'ambiente.

Nel caso dei Co-Field c'è la presenza di un campo di coordinazione ottenuto come minima combinazione di tutti i campi degli agenti, attraverso il quale viene modellato il comportamento del singolo agente che segue le linee di forza del campo nel verso ascendente discendente o costante. In questo caso il modellare il comportamento del sistema avviene sia attraverso la scelta di quale direzione far seguire all'agente sulla linea di forza ma anche dalla modellazione del campo (forma) associato ad ogni agente Flock Field.[5]

Il parametrizzare la CF ci permette di avere del controllo sul comportamento emergente del sistema potendolo indirizzare nella direzione da noi voluta, mantenendone tutte le proprietà caratteristiche robustezza, flessibilità e auto-organizzazione.

Il nuovo problema in questo caso è il tuning dei parametri che nel caso ottimo dovrà emergere dalle condizioni dell'ambiente ma può anche essere fatto manualmente per ogni agente. Dall'articolo [9] si mostra come si possano usare con successo dei metodi di tuning progressivi dove si ha una evoluzione strategica dei parametri. Gli agenti che tornano al nido vengono messi in coda e in base ai loro parametri, secondo algoritmi genetici o in base a delle medie o scegliendo con delle politiche di gestione della coda e.s. prendendo quelli in testa, vengono calcolati i parametri da attribuire ai nuovi agenti in uscita.[9]

5 Conclusioni

5.1 Schema riassuntivo

Nella tabella [1] vengono analizzati alcuni sistemi auto organizzati secondo le loro proprietà comuni.

5.2 Meta Modello

Si può estrarre un meta modello di coordinazione dall'osservazione di questi articoli. I casi presentati sono diverse realizzazioni di un unico meta modello di coordinazione attraverso l'ambiente: identificato da un sistema composto da entità attive, autonome, eterogenee e capaci di movimento senza particolare intelligenza ma con la capacità di interagire con

l'ambiente. C'è la presenza di un campo nell'ambiente che deve poter essere rinforzato o indebolito. Le entità interagiscono tra loro percependo il campo presente nell'ambiente. Framing Coordination [13]

5.3 Come imparare dalle formiche

Le formiche sono il primo sistema naturale da cui si è preso ispirazione per la creazione di sistemi multi agente. Le regole dalle quali un comportamento locale stupido diventi nel complesso una struttura coerente e funzionale non sono ancora note. Attualmente si prende ispirazione dai sistemi naturali che ci mostrano alcune strutture di successo per l'implementazione di sistemi reali.

Nell'ambito del mio studio partendo dalle formiche mi sono concentrato sull'osservazione del fenomeno fisico di comportamento emergente auto organizzato ed ho provato ad individuare delle caratteristiche comuni riportate in maniera schematica nella tabella di cui sopra. Si può iniziare a pensare di progettare dei sistemi auto organizzanti che dovranno quindi avere una struttura dissipativa al micro livello che genera un effetto di retroazione positiva che porta ordine al macro livello con un controllo del processo attraverso l'entropia o tuning dei parametri della funzione di scelta.

Il modello di apprendimento che si può evincere dalle formiche è molto semplice e si basa sul concetto del bastone e della carota cioè viene premiata la scelta giusta e degradata la scelta sbagliata, quindi si tratta di un apprendimento rinforzato.

Oltre ad imparare dalle formiche gli elementi base dell'auto organizzazione possiamo anche apprendere semplicemente attraverso il risultato del loro lavoro, cioè osservando e seguendo i percorsi che hanno costruito nell'ambiente. Path planning [9]

Lo studio di questi sistemi è ancora alle origini ma se ne può intuire la grandezza perchè le caratteristiche che ho elencato sono facilmente ottenibili da un sistema multi agente. Pensiamo al nostro cervello che può rientrare nella categoria di un sistema auto organizzato dove attraverso un l'insieme di cellule nervose si spostano con facili regole degli impulsi elettrici che producono un comportamento ordinato come può essere un pensiero o una azione

quindi la visione potrebbe essere che attraverso un sistema MAS possiamo riprodurre un pensiero....

5.4 Nota

Dalla tabella si può osservare come il sistema economico si presti bene ad essere modellato con un sistema multi agente ispirato alle regole della swarm intelligence. Questa caratteristica è soprattutto sfruttata attraverso la simulazione dove dei modelli costituiti da semplici agenti con poche regole in un ambiente con cui interagiscono si riesce con la simulazione a riprodurre casualità e situazioni difficilmente riproducibili analiticamente. Vengono rappresentati e simulati dei fenomeni economici come la fluttuazione degli indici di borsa e l'andamento dei prezzi anche con lo scopo di ottenerne delle previsioni.

I tools che ho in parte analizzato per la simulazione sono due:

- Swarm: ottimo modello ad oggetti, stabile implementato Objective-C e adesso anche in java; [11]
- StartLogo strumento didattico per la simulazione di sistemi biologici, ecosistemi, traffico è dotato di un ambiente di sviluppo grafico, ed un proprio linguaggio di programmazione. [12]

[6] A.Drogoul, (1995): When Ants Play Chess (Or Can Strategies Emerge from Tactical Behaviors?).

[7] S. Guerin and D. Kunkle: Emergence of Constraint in Self-Organizing Systems. RedfishGroup

[8] M. Dorigo, G. Di Caro, L. M. Gambardella, (1999): Ant Algorithms for Discrete Optimization.

[9] J.A. Suter, R. Matthews, H. V. D. Parunak, S. Brueckner, (2002): Evolving Adaptive Pheromone Path Planning Mechanisms.

[10] Introduzione alla Swarm Intelligence, <http://dsp.jpl.nasa.gov/members/payman/swarm/>

[11] Swarm, <http://www.swarm.org>

[12] Starlogo, <http://el.www.media.mit.edu/groups/el/Projects/starlogo/>

[13] A. Omicini, A. Ricci, Framing Coordination, Tutorial

Riferimenti bibliografici

- [1] Parunak, H.V.D. (1997): Go to the Ant: Engineering Principles from Natural Multi-Agent Systems.
- [2] Parunak, H. V. D. and Brueckner, S. (2001): Entropy and SelfOrganization in Multi-Agent Systems.
- [3] H. V. D. Parunak and S. Brueckner.(2000): Ant-Like Missionaries and Cannibals: Synthetic Pheromones for Distributed Motion Control.
- [4] E. Bonabeau and C. Meye,(2001): Swarm Intelligence: A Whole New Way to Think About Business.
- [5] M. Mamei, F. Zambonelli, L. Leopardi (2003) Co-Field: an Adaptive Approach for Motion Coordination in Mobile Computing Scenarios.

Proprietà Sistemi	Formiche (sist. biologico)	Missionari e Cannibali [3]	Co-Field [5]	Path Planing [9]	Economia di mercato
CAMPO	Feromoni	Feromoni	Campo	Feromoni	Moneta
FEED BACK POSITIVO	Azione di rinforzo del campo ottenuta attraverso il ripetuto passaggio di formiche che depositano i feromoni.	Non c'è una azione di rinforzo del campo; Ma esistono dell'informazioni nell'ambiente che permettono la soluzione.	Il ciclo positivo è generato dal movimento dei singoli agenti che provocano un cambiamento della forma del campo che a sua volta ne influenza il movimento.	Azione di rinforzo del campo ottenuta attraverso il ripetuto passaggio di agenti e il depositano i feromoni artificiali.	L'azione di rinforzo avviene nel momento che i compratori spendono moneta. In questa maniera l'imprenditore si orienta verso le zone con maggiore concentrazione.
MACRO LIVELLO (ordine diminuzione di entropia)	Emerge un percorso ottimo per il cibo.	I missionari riescono ad attraversare la riva del fiume.	Gli uomini dei Co-field seguono dei pattern di movimento dettati dal campo (linee di forza), con un movimento lungo una direzione.	Si auto organizza il percorso verso l'obiettivo evitando le minacce.	Si auto organizzano delle strutture di rifornimento articoli dei centri economici.
MICRO LIVELLO (strutture dissipative)	Deposito casuale dei feromoni e la loro evaporazione.	Aggiunta dall'esterno di informazioni nell'ambiente lasciandovi diversi tipi di feromoni. Loro deposito attraverso gli agenti ed evaporazione.	La struttura dissipativa è quella di creazione, mantenimento e modifica del campo.	Deposito casuale dei feromoni e la loro evaporazione.	Scambio di moneta nei centri economici e dai processi innescati di rifornimento delle merci.
CF: Funzione di scelta per ogni singola entità.	Identificata dalle regole del suo comportamento naturale.	CF parametrizzata in funzione dell'informazione presente nell'ambiente. Probabilità di muoversi pesata in base all'informazioni.	CF il campo di coordinazione ed è formato dalla minima combinazione dei campi di tutti gli agenti.	CF dipende dall'informazioni dell'ambiente ed ha dei parametri di tuning attraverso i quali si ottiene un cambiamento di strategia e di movimento.	Regole di mercato

Tabella 1: Tabella riassuntiva