

quaderni di management

gennaio, febbraio 2004- n° 7

Scenari ed apprendimento strategico: un approccio sistemico Atti del convegno

Text Mining
Alessandro Zanasi

Ottimizzare la distribuzione merci. Il modello delle formiche
Luca Maria Gambardella

CambiaMenti: tendenze nelle organizzazioni e nel lavoro
Atti del convegno
a cura di Giovanni Reale

La gestione del cambiamento in un progetto di fusione:
l'esperienza GTT
Gabriele Bonfanti, Fabio Gnoato

People Strategy Survey
Roberto Protasoni

LETTURE STRANIERE
Come si diventa un "campione" dell'innovazione. Modalità per
un aumento sistematico delle capacità di innovazione radicale
B. Birkenmeier, H. Bodbeck, E. Lichtenthaler, P. Savioz

COSA CI ASPETTA NEL FUTURO:
Intervista a Danilo Bonato
Former Managing Director di Atos Origin Executive Partner



E.G.V. Edizioni

Sintesi

Le formiche sono insetti sociali in grado di cooperare per risolvere problemi complessi. Osservando il loro comportamento alcuni biologi si sono accorti che grazie ad una speciale forma di comunicazione detta "stigmergia", le formiche sono capaci di ottimizzare il percorso tra il nido ed il cibo.

Questa osservazione ha fornito l'ispirazione di una nuova classe di algoritmi che sfruttano i medesimi principi per ottimizzare la distribuzione merci e la produzione industriale.

Nel computer, le formiche diventano i camion, il cibo la merce da trasportare e il nido il deposito dei mezzi. Questi nuovi algoritmi sono capaci di adattarsi rapidamente a situazioni diverse, imparano dall'esperienza e calcolano in pochi minuti soluzioni per migliaia di automezzi. Questo articolo presenta i principi di base del sistema e presenta alcuni casi industriali reali dove queste tecniche sono utilizzate con successo.

Luca Maria Gambardella

Ottimizzare la distribuzione merci

Il modello delle formiche

Introduzione

La maggior parte dei problemi considerati dagli operatori di logistica sono conosciuti da secoli, si pensi ad esempio al problema del postino cinese formulato da Eulero nel 1736. Il problema, (equivalente al problema di qualunque postino) consiste nel trovare il percorso più corto in una rete di strade in modo tale che vengano visitate tutte le strade (la posta va distribuita a tutti) e che il percorso ritorni al punto di partenza (l'ufficio postale). Questi problemi hanno la caratteristica di essere combinatori, in quanto, per trovare la soluzione ottima, devono essere esplorate tutte le possibili combinazioni delle decisioni e delle variabili del problema. Il limite di questi metodi è che quando il numero di variabili aumenta (e nei problemi reali è abbastanza facile trovare problemi con centinaia di variabili e più) il tempo richiesto per trovare una soluzione diventa rapidamente non trattabile.

Si pensi ad esempio ad un operatore della grande

distribuzione che deve consegnare la merce palletizzata alle sue filiali partendo da un insieme di depositi distribuiti sul territorio: le filiali richiedono ogni giorno un numero diverso di pallet imponendo vincoli sugli orari di consegna. L'operatore dispone di una flotta di mezzi propri con caratteristiche e tipologie diverse e spesso deve richiedere il supporto di automezzi di partner logistici esterni. Da non trascurare, inoltre, i vincoli imposti per legge sulle ore di guida degli autisti, sulle pause e sulle velocità massime dei mezzi. L'obiettivo dell'azienda è minimizzare i costi di distribuzione, garantendo da una parte che la merce arrivi in tempo e dall'altra che i vincoli logistici e tecnici del problema vengano rispettati.

Il problema appare subito estremamente complesso e richiede, in teoria, che vengano valutati, per ogni automezzo a disposizione, tutti i possibili percorsi con un solo cliente, con due clienti, con tre clienti e così via fino ad esaurire tutte le possibili combinazioni (trattasi quindi di problema combinatorio). In questi casi vi sono almeno due differenti strategie che si possono utilizzare:

- un approccio consiste nella suddivisione del problema in problemi più piccoli e più semplici, perdendo però di vista la globalità del sistema. Si pensi ad esempio alla tecnica di suddividere il problema in zone geografiche mandando mezzi solo in una zona senza mai sconfinare in quella vicina.
- Un altro approccio è di limitare la ricerca ad una parte di tutte le possibili combinazioni, concentrandosi solo su quelle più promettenti.

In questo caso si cerca di mantenere una visione globale del problema senza allontanarsi troppo dalla soluzione ottima teorica.

In aggiunta vogliamo un metodo capace di adattarsi a configurazioni diverse e in grado di produrre soluzioni anche in situazioni di incertezza (si pensi al fattore traffico) o di urgenze nelle consegne.

Formiche Naturali e Formiche Artificiali

Per ottenere risultati di questo tipo, efficienti ma rapidi nel calcolo (qualche minuto) abbiamo bisogno di prendere spunto dai risultati più recenti nel campo della ricerca scientifica. Infatti, la ricerca di algoritmi ottimizzati nel campo dei trasporti è un settore molto attivo nel quali lavorano importanti centri internazionali sia in Europa che oltre oceano. Ultimamente, sono stati abbandonati gli approcci più classici della ricerca operativa basati sulla programmazione lineare e sulle tecniche di branch&bound, e si stanno studiando nuove tecniche molto più flessibili che si ispirano a fenomeni e a sistemi naturali.

Tra queste tecniche - chiamate "metaeuristiche" in quanto capaci di risolvere una vasta classe di problemi - citiamo gli algoritmi genetici, la tabu search, le reti neurali, e i nuovi algoritmi basati sulle formiche.

Questi ultimi prendendo ispirazione da come le colonie di formiche ricercano il cibo.

Mentre la formica è un individuo semplice, l'unione delle formiche, il formicaio, è un'entità complessa.

Un formicaio mostra comportamenti molto

interessanti: difende il nido dagli attacchi, custodisce le uova, alleva le larve e si procura il cibo. Questi risultati si ottengono sfruttando due caratteristiche particolari delle colonie: da una parte esiste una organizzazione flessibile del lavoro dove il ruolo delle formiche cambia a seconda della circostanza: in caso di attacco la maggior parte delle formiche diventa soldato. Dall'altra le formiche sono in grado di comunicare tra di loro tramite una forma indiretta di comunicazione detta "stigmergia".

Le formiche, infatti, non sono in grado di "parlare" tra di loro, ma sfruttano e manipolano l'ambiente per scambiarsi informazioni.

Infatti, questi insetti, sono dotati di capacità sensitive per percepire il feromone e per seguirne la traccia.

E' interessante notare che maggiore è la quantità di feromone, maggiore è la probabilità che la formica ne segua la traccia. Inoltre il feromone evapora e, quando il cibo è finito, la traccia sul terreno diventa gradualmente meno intensa fino a sparire, consentendo nuovamente esplorazioni casuali.

Questi processi sono stati studiati dai biologi [Goss, 1989] che si sono accorti che le formiche, grazie al rilascio di questa sostanza chimica, sono in grado di calcolare il percorso più corto tra due punti: sui percorsi più lunghi il feromone si concentra più

lentamente e le formiche tendono a preferire quelli più corti dove il feromone è più intenso.

Questa osservazione è alla base di un filone di ricerca molto attivo nel campo dell'informatica avanzata [E. Bonabeau, M. Dorigo, G. Theraulaz, 2000], [E. Bonabeau, G. Theraulaz, Swarm Smartaulaz,, 2000]. Infatti, un gruppo di scienziati del Politecnico di Milano guidati da Marco Dorigo nel 1991 [Dorigo, 1991] ha preso ispirazione da questa capacità delle formiche di ottimizzare i percorsi per creare dei

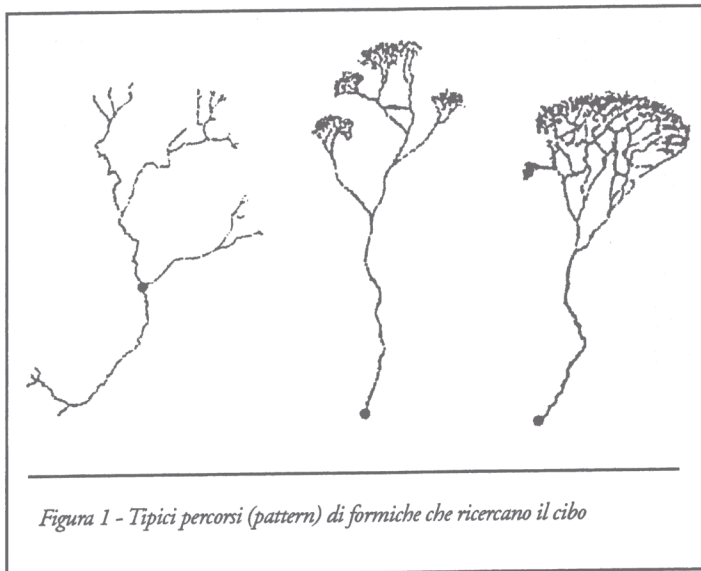


Figura 1 - Tipici percorsi (pattern) di formiche che ricercano il cibo

Quando cercano il cibo, le formiche inizialmente escono dal nido esplorando le zone circostanti in maniera casuale. Una volta trovato del cibo tornano verso il nido lasciando sul terreno una traccia di una sostanza chimica detta "feromone". Il feromone ha la funzione di segnalare alle altre formiche la direzione nella quale si trova il cibo.

programmi per computer in grado di risolvere problemi di ottimizzazione nel campo dei trasporti. Queste idee sono state approfondite a partire dal 1994 dal gruppo di ricerca guidato da Luca Maria Gambardella presso l'IDSIA, (Istituto Dalle Molle di Studi sull'Intelligenza Artificiale di Lugano), che fa parte delle strutture universitarie della Svizzera

Italiana. Gambardella e il suo gruppo hanno reso efficienti e competitive queste tecniche ottenendo i migliori algoritmi a livello mondiale nel campo dei trasporti per flotte di veicoli con finestre temporali [Gambardella, 1999] e nel campo della schedulazione di processi industriali [Gambardella, 2000]. Nel computer le formiche diventano camion, il cibo raccolto dagli insetti diventa la merce da trasportare, il nido è il deposito dei mezzi e il feromone delle formiche viene trasformato in "feromone artificiale" utilizzato dal sistema per imparare quali sono le strade da utilizzare per ottimizzare la soluzione. Il programma è in grado di produrre soluzioni sempre più ottimizzate imparando dall'esperienza e dagli esperimenti precedenti ⁽¹⁾.

Dalla ricerca alla realtà aziendale

Una volta confermata la validità dei modelli nel mondo della ricerca, è nata l'esigenza di verificare questi algoritmi a livello pratico. Parecchie aziende si sono offerte di sperimentare queste nuove tecnologie, che stanno rivoluzionando il mondo dell'ottimizzazione nel campo dei trasporti. Per favorire questo processo è stata fondata a Lugano AntOptima, società spinn-off dell'IDSIA dedicata alla commercializzazione di questi nuovi algoritmi di ottimizzazione. Presentiamo di seguito quattro casi con problematiche e dimensioni diverse. Si passa dalla distribuzione di gasolio al dettaglio con poche decine di mezzi (caso Pina Petroli di Lugano-

Grancia), alla grande distribuzione che opera da un unico deposito centralizzato con qualche centinaio di mezzi (caso Migros Svizzera), alla gestione di trasporti con pick-up and delivery distribuiti su tutto il territorio italiano (caso Number1 Logistics Group) per finire con un progetto Europeo per la distribuzione merci in ambito urbano.

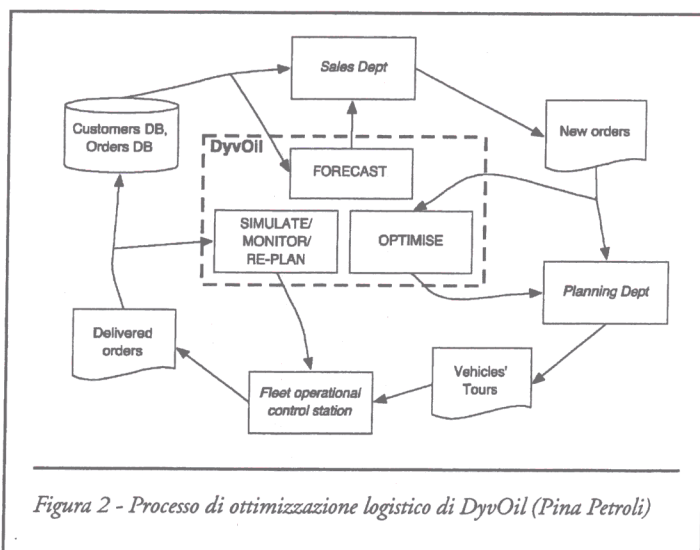


Figura 2 - Processo di ottimizzazione logistico di DyvOil (Pina Petroli)

Pina Petroli: distribuzione di combustibile con DyvOil

La ditta Pina Petroli si occupa di distribuzione di gasolio per riscaldamento su richiesta dei clienti [Gambardella 2003]. Una volta ricevuti gli ordini, un gruppo di pianificatori li organizza, distribuendoli su una decina di veicoli (autocisterne) non omogenei, in quanto non tutti i mezzi possono servire tutti i clienti: per esempio, alcune autocisterne hanno un tubo troppo corto per poter raggiungere la cisterna di taluni clienti, altre sono troppo grosse per transitare su determinate strade di montagna della regione.

I pianificatori decidono i percorsi tenendo conto degli orari richiesti dai clienti e delle esigenze dell'azienda. Il processo diventa sempre più complesso se teniamo conto che la quantità ordinata non corrisponde quasi mai a quella realmente distribuita e che ci troviamo spesso di fronte a situazioni urgenti che stravolgono la pianificazione preparata "a tavolino".

Il sistema DyvOil attualmente usato dalla ditta Pina Petroli si basa su un algoritmo di Ottimizzazione basata sulle Colonie di Formiche (Ant Colony Optimization) ed è in grado di produrre una soluzione completa al problema in pochi minuti.

I dati in ingresso al sistema sono i seguenti: gli ordini dei clienti con la specifica del luogo di distribuzione, della quantità richiesta, della finestra temporale di consegna (ad esempio domani pomeriggio dalle 16 alle 17, oppure tutte le mattine della prossima settimana ma prima delle 8.30, oppure sabato tutto il giorno etc.). Per ogni cliente, in base ai litri da distribuire e ai dati storici dei servizi precedenti, viene calcolato il tempo di servizio, cioè il tempo necessario per arrivare dal cliente, per allacciare l'impianto, per erogare il gasolio, per smontare l'impianto e sbrigare le pratiche burocratiche.

Il sistema conosce le autocisterne dell'azienda in termini di numero, capacità massima e attrezzatura (tubi). Il pianificatore seleziona gli ordini da automatizzare, imposta i parametri del sistema (fondamentalmente il tempo lasciato all'algoritmo per eseguire il calcolo) e attiva il programma. Una volta prodotti i risultati, il pianificatore può variarli e modificarli a suo piacimento sempre con il supporto del computer

che lo aiuta a valutare soluzioni alternative.

Il sistema, infatti, consente lo spostamento di consegne da un giro all'altro aggiornando automaticamente i costi delle differenti soluzioni.

E' anche possibile, a partire da un giro già calcolato, chiedere a DyvOil di indicare quale sarebbe il miglior cliente da inserire in quel viaggio in modo da massimizzare l'occupazione del mezzo e minimizzare i chilometri percorsi.

Per completare il processo, il software fornisce uno strumento di previsione, in grado di stimare, in base ai consumi, alle temperature esterne e ai dati storici delle forniture quando i clienti invieranno il prossimo ordine. Inoltre fornisce uno strumento di simulazione che viene utilizzato per valutare scenari diversi di distribuzione. In pratica si permette al pianificatore di valutare la robustezza delle sue scelte al variare delle condizioni atmosferiche o delle condizioni di traffico.

I giri prodotti da DyvOil sono trasferiti direttamente sul computer di bordo del mezzo, certificato per misurare la quantità di gasolio effettivamente distribuita, attraverso un sistema di cassette (la versione con il trasferimento dati via wireless è in via di sperimentazione). Ogni volta che il camion eroga il gasolio i dati di consuntivo vengono salvati sulla cassetta permettendo così uno scambio bidirezionale di informazioni tra la pianificazione, la base operativa e gli uffici contabili che devono fatturare i litri distribuiti.

La Pina Petroli dichiara di risparmiare circa il 20% dei costi di distribuzione grazie all'introduzione del sistema informatico basato sul modello delle formiche e alla sua integrazione con il processo aziendale.

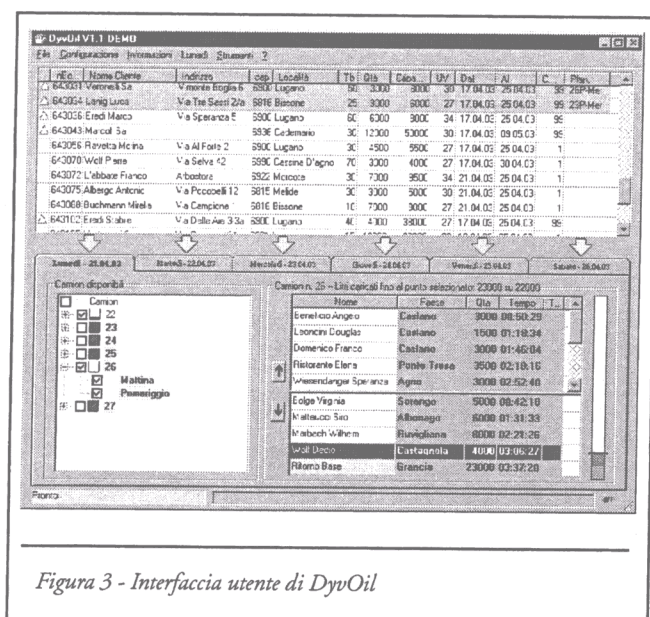


Figura 3 - Interfaccia utente di DyvOil

Migros Svizzera: le formiche per la grande distribuzione organizzata

Migros è la più importante catena di supermercati Svizzera. Lo scorso anno ha deciso di concentrare la distribuzione di merce non-food in un unico deposito a Suhr (Cantone Argovia) chiudendo i sette centri regionali. Questo progetto ha cambiato lo scenario di distribuzione: da sette centri che distribuivano la merce localmente si è passati ad un unico centro logistico con lo scopo di distribuire direttamente in tutta la Svizzera. Per organizzare la distribuzione, Migros ha adottato CadisOptFleet, un software molto efficace di ottimizzazione della distribuzione, basato sul modello delle formiche. Migros deve gestire 600 filiali al giorno. I negozi richiedono la merce palletizzata ed ogni giorno le richieste cambiano a secondo delle esigenze. In aggiunta ai prodotti normali vengono trattate le promozioni e le

offerte speciali che spesso cambiano drasticamente gli scenari di distribuzione. Il sistema di ottimizzazione è interfacciato al software CADIS della Migros che si occupa di gestire gli ordini e di supportare il team di pianificatori nella preparazione dei viaggi per i camion. Per ogni ordine sono riportati il numero di palette da consegnare, la finestra temporale di accesso al negozio e la tipologia della rampa di accesso al negozio stesso. CadisOptFleet calcola il numero ideale di giri di distribuzione scegliendo anche la composizione ottimale della flotta. La scelta è fatta tra un insieme di possibili mezzi, tra

i quali citiamo la motrice (17 pallet), la motrice con rimorchio (17 + 17 pallet), i bilici (33 pallet) ognuno di essi con l'opzione della pedana mobile da scegliere a seconda del tipo di rampa di accesso al negozio. Ovviamente i mezzi possono essere definiti a piacere dall'utente indicando il numero massimo di palette per ogni mezzo. In alcuni casi il sistema consiglia di viaggiare con la motrice e il rimorchio, di sganciare il rimorchio all'ingresso di zone di difficile accesso e di riagganciarlo una volta usciti, per riprendere la distribuzione.

Il pianificatore seleziona gli ordini da pianificare e può decidere se organizzare la distribuzione per zone o se considerare l'intera Svizzera.

Interessante notare che le zone non sono mutuamente esclusive. Per ottimizzare i costi di distribuzione un viaggio effettuato sulla frontiera tra due zone può visitare negozi della zona vicina, aumentando di molto la flessibilità del sistema.

CadisOptFleet, produce in un massimo di cinque minuti una soluzione completa per il problema, contro le quattro ore necessarie precedentemente al team di pianificazione.

La qualità dei dati prodotti è molto buona e superiore alla soluzione prodotta dal team di pianificazione. Per valutare la qualità delle soluzioni prodotte con il modello delle formiche, Migros ha richiesto una fase di confronto tra la performance del software e dei pianificatori, chiedendo a questi ultimi di giudicare la bontà e la fattibilità delle soluzioni ottenute. Il prodotto è stato accettato solo dopo aver superato brillantemente questi severi test di qualità.

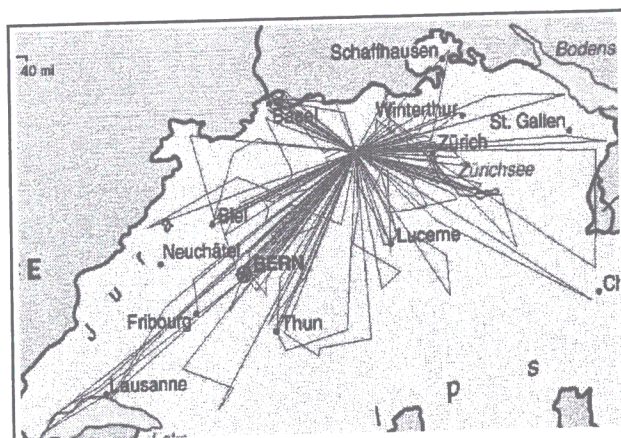


Figura 3 - Il modello delle formiche applicato alla distribuzione nazionale nel settore retail. Esempio di soluzioni con AntRoute

Number1 Logistics Group Italia: ottimizzazione logistica nel mercato Grocery

Molto interessante è anche il caso di Number1 Logistics Group, uno dei più grossi operatori logistici italiani che ha gestito nel 2002

400.000.000 colli, 2.500.000 consegne, per un totale di circa 2.000.000 di tonnellate. Number1 Logistics Group gestisce ordini di presa e di consegna merci, organizzando questi ordini in viaggi. Inizialmente l'attività è nata per distribuire i prodotti Barilla nei vari depositi e supermercati e per trasportare il grano dalle zone di produzione verso i siti produttivi.

Una volta attivato questo processo logistico si è pensato di allargarlo offrendo lo stesso servizio ad altre aziende che devono trasportare merci negli stessi depositi e negli stessi supermercati.

In questa situazione, i trasporti vengono effettuati spostando merci da una posizione all'altra

dell'Italia, senza più un deposito centrale di origine. L'obiettivo è di massimizzare l'efficienza dei trasporti rispettando i vincoli sugli orari di apertura dei vari depositi e i limiti imposti dalla legge sugli orari e i tempi di viaggio dei vari mezzi. Il numero di viaggi considerati copre tutta l'Italia con servizi su uno, due e a volte anche tre giorni. In questo caso il modello logistico è più complesso di quanto visto precedentemente. Una fase primaria permette alle merci di confluire dalla zona di origine alla zona finale di distribuzione utilizzando grossi bilici. Quando è possibile e conveniente il cliente finale viene servito direttamente dal bilico altrimenti

le merci vengono raccolte in centri logistici locali.

In questi centri avviene la rottura di carico e la merce viene compattata e ridistribuita localmente attraverso un insieme di mezzi più piccoli.

Number1 Logistics Group ha effettuato un insieme di test per capire se fosse possibile automatizzare

il processo di distribuzione.

Gli studi effettuati dimostrano che è possibile automatizzare la fase di creazione viaggi attraverso AntRoute, prodotto di ottimizzazione per il primario, che utilizza le tecniche di ottimizzazione basate sul modello delle formiche. Number1 Logistics Group ha quindi adottato questa metodologia e sta procedendo alla installazione di AntRoute nella sua sede operativa. Grazie alla velocità di questi sistemi si possono valutare rapidamente scenari alternativi. Ad esempio, si può capire come cambiano i costi di distribuzione se le finestre temporali dei clienti vengono allargate di un'ora o come variano i costi se utilizziamo mezzi di dimensioni diverse.

Progetto Europeo Mosca: distribuzione merci in ambito urbano

Infine, vale la pena notare come queste tecniche siano continuamente studiate e valutate anche nel contesto di nuovi progetti internazionali.

Tra questi citiamo il progetto "MOSCA, Decision Support System For Integrated Door-To-Door Delivery: Planning and Control in Logistic Chains", progetto Europeo nell'ambito del 5° programma quadro finito nel luglio 2003. L'obiettivo del progetto è di definire un insieme di strumenti e metodologie per migliorare il trasporto merci "porta-a-porta" in ambito urbano.

L'idea è di far collaborare tramite una piattaforma informatica le autorità pubbliche responsabili della gestione del traffico e i trasportatori delle merci. I trasportatori dispongono così di informazioni preferenziali sulle previsioni di

traffico e sulla percorribilità delle strade per i giorni successivi mentre le autorità accedono ai dati aggiornati sugli spostamenti delle merci all'interno delle città.

I trasportatori sfruttano queste informazioni per pianificare in maniera più efficiente i loro percorsi grazie ad algoritmi basati sulle formiche, mentre le autorità potranno valutare l'impatto di nuove politiche di gestione del traffico anche dal punto di vista della sostenibilità. Il progetto, diretto da Massimo Marciani e Paola Cossu della FIT Consulting di Roma, ha coinvolto partner tedeschi (PTV, Università di Karlsruhe), italiani (Enea, FIT, interporto di Padova), inglesi (Università di Cambridge) oltre ai partner Svizzeri, IDSIA e Commissione Regionale dei Trasporti del Luganese. L'Interporto di Padova ha deciso di continuare questi studi commissionando un nuovo studio per la definizione di politiche e strumenti per ottimizzare la distribuzione nel centro storico di Padova. L'obiettivo è di chiudere il centro storico in alcune fasce orarie protette, ma di permettere nel contempo a mezzi non inquinanti (es. metano, elettrici) di accedervi nelle stesse fasce attraverso dei corridoi ad accesso facilitato. I partner del progetto dovranno utilizzare una piattaforma comune per la rottura di carico e dovranno garantire un servizio di qualità in termini di percentuale di carico e tipologia dei mezzi. Il progetto prevede che i citati strumenti per l'ottimizzazione del trasporto in ambito urbano vengano messi a disposizione di tutti i partner con il supporto del Comune che fornisce dati aggiornati sul grafo stradale e sui tempi di percorrenza.

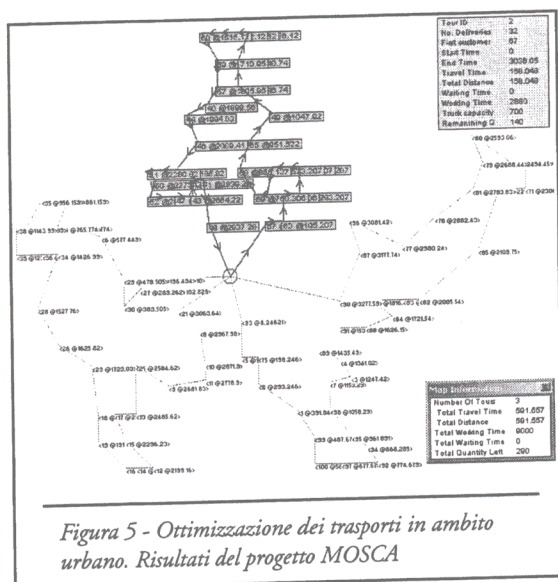


Figura 5 - Ottimizzazione dei trasporti in ambito urbano. Risultati del progetto MOSCA

Conclusioni

I processi logistici richiedono l'utilizzo di procedure di ottimizzazione a rendimento elevato. Nel caso dell'ottimizzazione di percorsi sono necessari algoritmi veloci, performanti e flessibili. Le tecniche tradizionali sono in crisi a causa del numero molto alto di soluzioni e quindi è necessario ricorrere a nuove tecniche studiate nei centri di ricerca nel mondo.

A questo proposito abbiamo presentato le idee e i principi dell'ottimizzazione basata su colonie di formiche (Ant Colony Optimization) e il suo utilizzo in situazioni teoriche e pratiche. Molte aziende si stanno orientando verso questi sistemi che si sono dimostrati di grande efficacia per l'ottimizzazione di trasporti di diversa natura.

A livello Europeo queste tecniche sono apprezzate e studiate e vengono verificate in sofisticati progetti di logistica integrata.

⁽¹⁾ Queste ricerche, sono state co-finanziate dal Fondo Nazionale Svizzero per la Ricerca Scientifica, dalla Commissione Europea e dalla Commissione Svizzera per la Tecnologia e l'Innovazione.

Bibliografia

- E. Bonabeau, M. Dorigo, G. Theraulaz, *Nature*, Volume 406, N. 6791 pp.39 - 42, 2000
- E. Bonabeau, G. Theraulaz, *Swarm Smarts*, *Scientific American*, March 2000, pp. 55 - 61
- M. Dorigo, V. Maniezzo, A. Colorni, The ant system: an autocatalytic optimizing process, *Technical Report TR91-016*, Politecnico di Milano, 1991
- Gambardella L.M, Dorigo M., An Ant Colony System Hybridized with a New Local Search for the Sequential Ordering Problem, *INFORMS Journal on Computing*, vol.12(3), pp. 237-255, 2000
- Gambardella L.M, Taillard E., Agazzi G., MACS-VRPTW: A Multiple Ant Colony System for Vehicle Routing Problems with Time Windows , In D. Corne, M. Dorigo and F. Glover, editors, *New Ideas in Optimization*. McGraw-Hill, London, UK, pp. 63-76, 1999
- Gambardella L.M., Rizzoli E. Oliverio F., Casagrande N., Donati A., Montemanni R., Lucibello E., Ant Colony Optimization for vehicle routing in advanced logistics systems, *Modeling & Applied Simulation*, Bergeggi, Italy, October 2 - 4, 2003
- S. Goss, S. Aron, J.L. Deneubourg, J.M. Pasteels, Self-organized shortcuts in the argentine ant, *Naturwissenschaften*, vol. 76, pp. 579-581, 1989