

Socio – Technical System for Urban Traffic Control

Bendoni Luca
matricola 00195592

29 gennaio 2011

Introduzione

Il presente lavoro di ricerca bibliografica si pone l'obbiettivo di approfondire il tema dell'uso di agenti intelligenti in sistemi socio – tecnologici per il controllo del traffico veicolare.

Indice

1	Socio – Technical System	1
2	Interdependent Critical Infrastructure	2
3	Trasport Infrastructure	3
4	Decision Support in Traffic Managment System	4
5	Agents for traffic simulation	6
6	Car-to-Car Gossiping	6
7	Market based approach	9
8	Co-Fields	9

1 Socio – Technical System

Il termine **Socio – Technical System** (Sistemi Socio – Tecnologici) è stato coniato negli anni sessanta da Eric Trist e Fred Emery. Il termine si riferisce all'interrelazione tra aspetti sociali e tecnici. Gli aspetti tecnici non riguardano solo gli aspetti tecnologici, ma in senso più ampio ciò che viene utilizzato dalla società. La teoria dei sistemi socio tecnologici punta a studiare diverse possibilità per ottimizzare l'iterazione tra gli uomini e le tecnologie in modo da raggiungere l'eccellenza sia nelle performance tecniche che nella qualità della vita dei lavoratori/utenti.

Per raggiungere tale obbiettivo è necessario agire su differenti tipi di organizzazione: si modifica sia la società umana che utilizza i sistemi, sia gli elementi tecnici che

sono alla base delle infrastrutture utilizzate per raggiungere contemporaneamente gli obiettivi di massima produttività e massimo benessere.

Nella nostra società acquedotti e fognature sono definiti “**reti vitali**”. Energia, trasporti e telecomunicazioni sono identificati come “**servizi primari**”, intendendo che la loro accessibilità a basso costo è necessaria alla crescita dell’economia.

2 Interdependent Critical Infrastructure

L’ENEA, attraverso il progetto CRESCO (€ 9.292.000 dal 2000 al 2006 [CRESCO00] - [CRESCO08]), ha realizzato un polo di calcolo multidisciplinare per lo studio dei sistemi complessi di natura biologica e tecnologica. Le società dei paesi sviluppati basa-

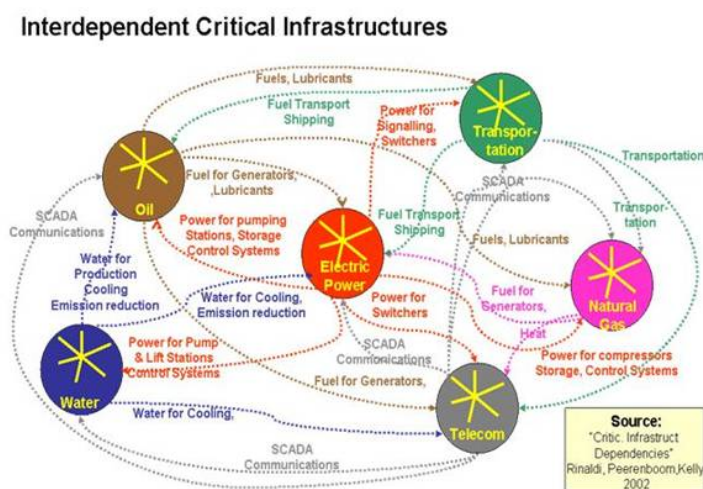


Figura 1: Interdipendenza tra le infrastrutture critiche di un paese moderno (ENEA)

no la loro esistenza su una rete di infrastrutture che sono profondamente interconnesse tra loro. (Vedi Figura 1)

Per esplorare scenari di tipo *what if* l’ENEA ritiene che la tecnologia dei sistemi multi agente sia la più promettente per realizzare diverse simulazioni delle interazioni tra infrastrutture critiche; considerando e modellando anche diversi possibili comportamenti e reazioni della società umana.

In particolare le reti complesse sono viste come aggregati socio – tecnologici nelle quali ogni attività umana è supportata da un apparato tecnologico che ne permette la gestione, il controllo, l’iterazione con gli utenti e con le altre infrastrutture che compongono “il sistema”.

La Figura 2 è una illustrazione che visualizza l’interazione tra organizzazioni umane e infrastrutture tecnologiche complesse dal punto di vista socio-cognitivo, mettendo in evidenza le reti complesse dei processi decisionali nell’organizzazione umana. [AFS06]

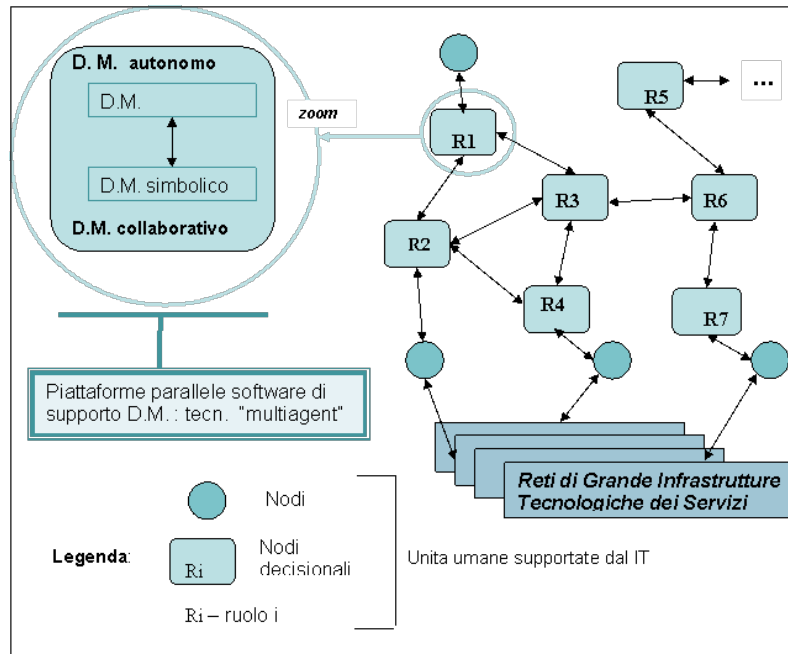


Figura 2: Interazione tra organizzazioni umane ed infrastrutture tecnologiche complesse (ENEA)

3 Transport Infrastructure

“L’infrastruttura dei trasporti è composta da: strade, autostrade, ferrovie e canali; cioè tutto quello che consente di poter far muovere passeggeri e merci da una località all’altra.” [Wikipedia10]

La congestione del traffico nelle strade urbane è un problema che affligge tutte le maggiori città del mondo. Uno studio del dipartimento dei trasporti del Texas indica che gli ingorghi negli stati uniti costano più di 78 miliardi di dollari ogni anno in carburante e mancata di produttività. [TTI07]

Per quanto riguarda l’Italia una ricerca [Codacons09] stima in circa 11 giorni (260 ore) il tempo passato annualmente in coda da ogni automobilista a Milano. Nel nostro paese l’88% delle merci viaggia su gomma, contro una media europea del 77% [Russo10]. Di conseguenza anche le emissioni di CO_2 generate dai mezzi di trasporto pesano per il 35% del totale, contro una media europea del 24%. [Moretti10]

Ridurre l’impatto economico, ambientale ed umano dei sistemi di trasporto è una priorità della società moderna. Per raggiungere questo obiettivo si possono percorrere diverse strade:

- Aumentare la capacità delle infrastrutture
- Restringere l’accesso a particolari zone delle città ad alcune tipologie di veicoli e/o fasce orarie
- Aumentare l’efficienza dell’attuale rete di trasporto

Una delle possibilità di aumentare l’efficienza della rete è costituita dall’introdurre su larga scala nuovi sistemi intelligenti di trasporto [Lee00]

L'avanzamento tecnologico delle infrastrutture di telecomunicazione sta aprendo la possibilità di utilizzare sistemi multi-agente (MAS) per il controllo e la gestione del traffico veicolare. Essi sono i candidati ideali per operare in un ambiente intrinsecamente distribuito, ove gli attori reali sono perfettamente coerenti con il paradigma degli agenti autonomi. [VO08a] La tecnologia dei sistemi multi-agente può essere utilizzata per simulare o modellare diversi aspetti dell'infrastruttura dei trasporti. [Impatience07] In particolare nelle successive sezioni sono stati presi in considerazione i seguenti aspetti:

- L'agente rappresenta (o conduce) il veicolo all'interno della rete stradale
- L'agente rappresenta il conducente del veicolo e ne modella il comportamento all'interno di un flusso di traffico
- L'agente aiuta o sostituisce un *controllore* della rete stradale.

Possiamo suddividere quindi i sistemi attualmente allo studio in diverse categorie:

1. Sistemi di supporto alle decisioni umane
2. Sistemi di controllo completamente automatici
3. Sistemi di simulazione e modellazione

Questi ultimi, in particolare, possono essere utilizzati per mettere a punto, e confrontare, diverse strategie e scenari operativi.

4 Decision Support in Traffic Managment System

Il controllo efficace di una infrastruttura dipende in larga misura dalla capacità di prendere le giuste decisioni, tenendo sotto controllo un elevatissimo numero di variabili, riducendo, il più possibile, il tempo di reazione.

[JDO08] suggerisce una struttura di controllo della rete basata su una gerarchia di agenti autonomi. Milioni di sensori inviano i loro dati in modo continuo, un agente (EPA - Event Processing Agent) si occupa di individuare i pattern di eventi ricorrenti di interesse, cioè che precedono o causano il presentarsi di problematiche di gestione del traffico. Essi attraverso l'uso di metadati sono in grado di sintetizzare nuovi eventi complessi partendo dall'analisi degli eventi più semplici. La gerarchia di gestione degli eventi riflette il processo decisionale della società umana (vedi Figura 3).

In questo contesto gli agenti supportano gli operatori di centrale ripulendo i dati (SPA - Sensor Processing Agent), individuando situazioni che possono creare criticità (PIA - Problem Identification Agent), avanzando ipotesi sulle cause che hanno portato al verificarsi di questi problemi (DA - Diagnosis Agent) e generando piani di azione per fronteggiare le problematiche emerse (APA - Action Planning Agent). Vi è inoltre un agente di coordinamento centrale (CCA - Central Coordination Agent) che ha il compito di raccogliere i piani generati dagli APA e di risolvere possibili conflitti dovuti a piani di azioni che propongono azioni contrastanti sulla rete viaria. Gli agenti ricalcano la struttura distribuita della rete e prendono decisioni locali basate sia sulle informazioni che ricevono localmente, sia sulle loro regole interne che modellano le circostanze in cui stanno operando.

In [FO07] si presenta una possibile integrazione tra l'architettura SOA e MAS per estendere il DSS al dominio applicativo della supervisione di una rete di autobus nella

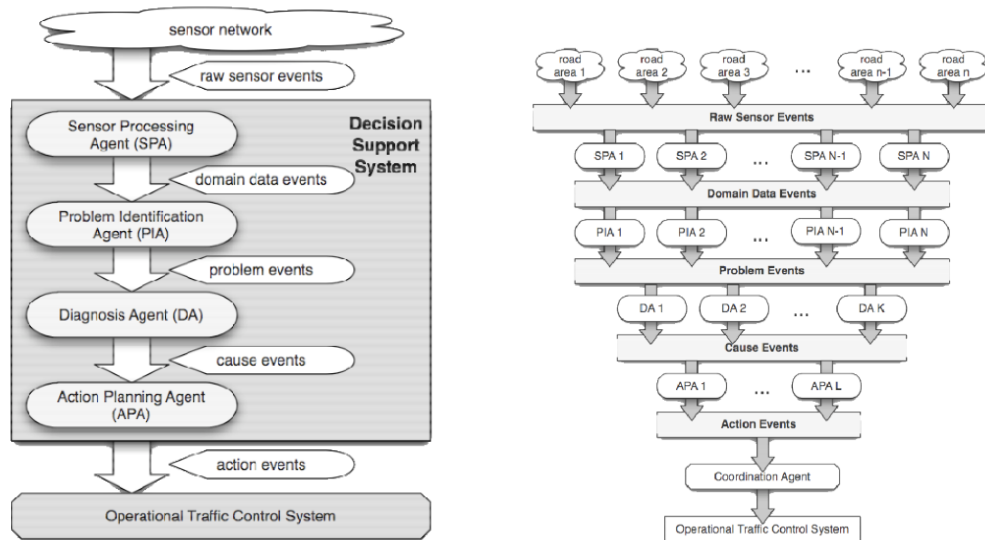


Figura 3: Architettura EDA

città di Malaga. Vi è un operatore umano (DM - Decision Maker) che controlla ogni linea ed un supervisore che prende decisioni sull'intera rete di trasporto pubblico. Ogni veicolo è dotato di GPS e radio ricetrasmittente. Il modello ad agenti viene modificato per modellare il nuovo sistema tecno-sociale:

- Data Agent (DA): Che si occupa della raccolta dati
- Action Implementation Agent (AIA): Che si occupa di eseguire le azioni scelte dal DM
- Line Management Agent (LMA): che si occupa dei modelli concettuali, della gestione della conoscenza, di avvisare, di informare il DM e proporre piani di azione.
- Altri agenti di servizio:
 - Coordination Facilitators (CF)
 - Directory Facilitators (DF)
 - User Interface Agent (AIA)
 - Peripheral Agent (PA)
 - Agent Management System (AMS)

L'architettura SOA apre la possibilità di disegnare nuovi scenari, fornendo un supporto di tipo informativo al DSS per quanto concerne l'utilizzo di informazioni in arrivo da altre fonti esterne all'infrastruttura dei trasporti; ad esempio conoscere il calendario delle partite di calcio permette di *prevedere* un intenso flusso di traffico da e verso lo stadio in determinati giorni ed orari. Analogamente si possono ricevere calendari contenenti i dati relativi a manifestazioni fieristiche e concerti. Incrociando queste nuove informazioni con i dati in arrivo dai sensori si possono valutare in modo diverso le modalità di dirigere i flussi di traffico, considerando non più solo le singole aree,

ma cercando di rendere globalmente più efficace l'intera rete. Per raggiungere questo obiettivo è necessario che vi siano dei **directory services** con delle capacità di ricerca semantica delle informazioni in essi contenute.

5 Agents for traffic simulation

Dall'università di Dresda [Helbing09] arriva la proposta di utilizzare sistemi multi agente per costruire un micro modello in grado di simulare il comportamento degli utenti fisici in condizioni di traffico elevato. Lo scopo di questo simulatore è di ricostruire le diverse modalità di comportamento degli automobilisti reali in condizioni di traffico: ricostruire la micro dinamica di movimento delle automobili in un ingorgo, in prossimità di un incrocio o quando il semaforo passa da verde a giallo. Ricostruire ed analizzare lo *stress* causato dal comportamento aggressivo delle auto vicine e le diverse possibili reazioni dei conducenti. Per raggiungere questo obiettivo gli agenti hanno simulato utenti con diversi livelli di esperienza al volante e diverse attitudini “mentali” che, pertanto, interagiscono con i comandi della vettura (acceleratore, sterzo, freno, ...) in modo eterogeneo.

6 Car-to-Car Gossiping

Con la diffusione su larga scala di dispositivi GPS e trasmettitori Wi-Fi inizia ad essere ipotizzabile la realizzazione di sistemi ove le autovetture siano in grado di interagire tra loro autonomamente scambiandosi informazioni relative alla propria tipologia, direzione, velocità, accelerazione ed alle condizioni ambientali di temperatura e dello stato della strada (ad esempio presenza di ghiaccio). Il dipartimento dei trasporti americano ha varato il progetto V2V che punta a ridurre del 72% il tasso di incidentabilità nelle strade americane. [V2V02] General Motors [GM06] ha già realizzato diversi

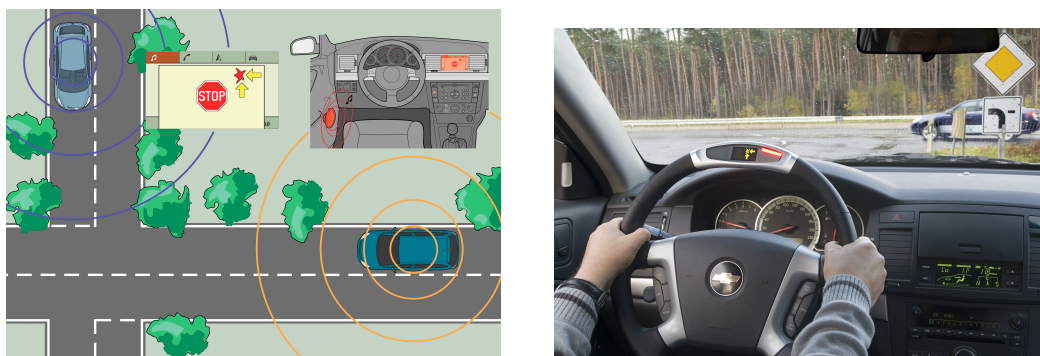


Figura 4: Probabile collisione all'incrocio

prototipi funzionanti (vedi Figure 4 e 5) che sono in grado di informare il conducente dell'approssimarsi di potenziali situazioni di pericolo prima che avvenga il contatto visivo. L'utilità del sistema viene enfatizzata in particolare quando il conducente è impossibilitato a vedere in anticipo il pericolo a causa della morfologia del terreno, di ostacoli, di barriere o di avverse condizioni atmosferiche. Attraverso specifici indicatori luminosi all'interno della vettura, un display, l'impianto audio e vibrazioni sui lati del sedile di guida il conducente viene immediatamente informato del pericolo e, se

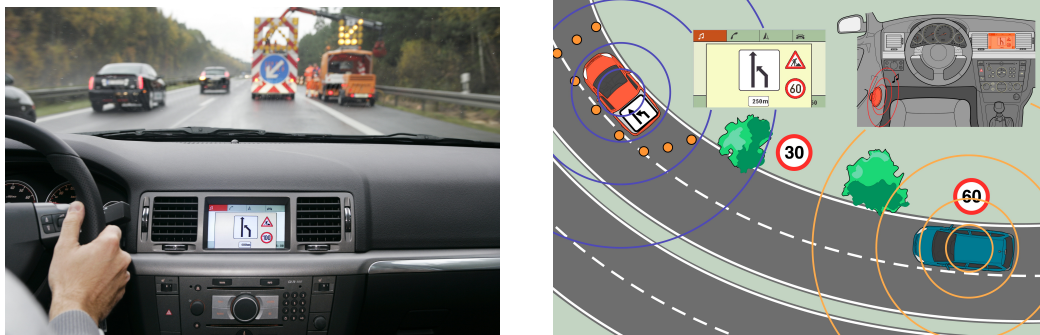


Figura 5: Avvicinamento ad una zona di lavori in corso

non vengono prese contromisure, viene azionato automaticamente il sistema frenante della vettura. Il sistema è stato chiamato “**sesto senso**” ed è in grado di segnalare:

- Avvicinamento ad un veicolo fermo *in emergenza* o di veicoli che hanno effettuato una frenata di forte intensità
- Avvicinamento ad una coda o a veicoli che viaggiano molto lentamente
- Cambio di corsia di un veicolo che segue o avvicinamento di un veicolo nell’angolo cieco (sorpasso)
- Approssimarsi di un veicolo di emergenza, *in emergenza*: tipologia di veicolo, direzione più eventuali messaggi da tale veicolo.
- Avvicinamento ad una zona di cantiere: comprensivo di informazioni relative alle modifiche alla circolazione collegate
- Avvertimento di probabile collisione all’intersezione in avvicinamento.

Un progetto simile è stato realizzato anche in Giappone [DSSS93] con la realizzazione di prototipi per auto e motocicli realizzato da Honda [Honda91].

L’utilizzo *sociale* di queste tecnologie permette una triplice utilità dello scambio di informazioni:

- L’aumento della sicurezza stradale
- La localizzazione degli ingorghi
- L’individuazione di percorsi di viaggio ottimali

Questo tipo di approccio permette ad un automobilista malizioso di poter mettere in atto comportamenti dannosi per la società. Nell’articolo [KLS08] si effettuano simulazioni per analizzare diversi comportamenti di agenti maliziosi che inviano false informazioni sul traffico e sulle condizioni delle strade per avvantaggiarsi a danno degli altri utenti del sistema. In particolare si mettono in evidenza due tipologie di comportamenti:

- Agenti maliziosi che vogliono raggiungere la propria destinazione il più presto possibile: cercheranno di rendere le strade che vogliono percorrere libere da altre auto. Per raggiungere questo risultato inseriscono false informazioni di

traffico indicando come congestionate le strade che esse vogliono percorrere, facendo credere agli altri agenti la presenza di falsi ingorghi essi verranno dirottati automaticamente su strade alternative.

- Agenti *vandali* o *terroristi* che vogliono creare più caos possibile rendendo il sistema inutilizzabile.

Una contromisura potrebbe essere rappresentata dall'introduzione di una *reputazione* per gli agenti. Quando si ricevono informazioni false la reputazione dell'agente che le ha immesse nella rete si abbassa. Questo meccanismo è però difficilmente applicabile in un ambiente così fortemente dinamico come il traffico veicolare, sia per quanto riguarda la volatilità delle informazioni, sia per l'impredicibilità e la variabilità dei contatti tra gli agenti. [Ber09]

Diversamente si potrebbe implementare un meccanismo di *consenso*: ogni agente verifica se le informazioni che ha ricevuto sono compatibili con quelle provenienti da un sottoinsieme di sensori della rete e valuta se le ipotesi formulate dall'agente sono realistiche. Solo se l'agente vi crede (*believes*) allora le scambia con gli altri agenti che incontra. L'obiettivo degli agenti è di raggiungere un consenso globale sulle ipotesi effettuate, seppure le condizioni di traffico possono essere estremamente dinamiche e rendere questo meccanismo inadeguato. Inoltre, un agente potrebbe mentire per un piccolo sottoinsieme dei suoi campioni rendendo molto difficile capire se sta immettendo informazioni alterate nel sistema.

L'articolo suggerisce di fissare un limite massimo di congestione ed ignorare i rallentamenti oltre una determinata soglia. Gli ingorghi fittizi generati per agevolare gli agenti maliziosi vengono presi in considerazione solo se inferiori alla soglia fissata. In questo modo si ottiene un sistema in **equilibrio di Nash**: *Nella teoria dei giochi rappresenta un profilo di strategie (una per ciascun giocatore) rispetto al quale nessun giocatore ha interesse ad essere l'unico a cambiare.* [Wikipedia10]

Viene dimostrato che nel sistema si raggiunge l'equilibrio solo se l'agente malizioso invia informazioni uguali al reale tempo medio di percorrenza di un arco e gli agenti normali scartano tutte le informazioni con tempi di percorrenza superiori al tempo medio. In questo modo il sistema risulta bloccato e non è in grado di scambiare informazioni sugli aumenti di traffico.

L'articolo propone pertanto di utilizzare congiuntamente due tecniche di neutralizzazione degli agenti perturbatori:

1. Il primo meccanismo viene introdotto negli agenti e consiste nel mantenere una **informazione storica** relativa agli archi. Essa viene utilizzata per aumentare i *believes* relativi ad ogni strada percorsa.
2. La seconda tecnica consiste nell'introduzione nella rete di **agenti trusted**. Per esempio ambulanze o auto della polizia, i cui dati sono sempre assunti dalla società come veri.

Dalle simulazioni effettuate emerge che l'introduzione di agenti trusted ha poca influenza sulla dinamica della rete ed invece impatta sulle prestazioni e sull'affidabilità dell'infrastruttura utilizzata. L'autenticazione e la verifica delle identità da parte di ogni agente peggiorano le prestazioni limitando la possibilità di scambio dati tra le vetture. E' risultato inoltre fondamentale affinare la gestione dei dati storici per evitare che gli agenti maliziosi possano influenzare sensibilmente l'infrastruttura. Per memorizzare le informazioni storiche di ogni arco è stato utilizzato un array di dimensione fissa, all'interno del quale le informazioni più recenti sovrascrivono quelle più

vecchie, ma quelle acquisite in prima persona dall'agente sono sempre ritenute prioritarie rispetto a quelle inviate da altri agenti *gossip*. Inoltre un agente malizioso non può *inondare* un altro agente sovrascrivendo tutte le celle disponibili per ogni strada, ma può inviare una sola informazione di traffico per ogni arco.

È stato anche dimostrato che se gli agenti maliziosi si coalizzano prendendo di mira uno specifico itinerario, ottengono un limitato effetto di perturbazione sugli altri agenti presenti nella rete. Si rimanda a successivi articoli per uno studio su tecniche più evolute messe in campo dagli agenti maliziosi.

7 Market based approach

Gli scenari futuribili, individuati da [Vasirani09], prevedono la realizzazione di sistemi intelligenti di trasporto attraverso l'integrazione fra infrastrutture intelligenti e veicoli in grado di interagire e muoversi autonomamente. La proposta si basa sulla presenza di “**intersection manager**” [Dresner08]: agenti che gestiscono le intersezioni della rete stradale in grado di negoziare e riservare slot per il passaggio dei veicoli. Il “**driver agent**” interagendo con l'intersection manager prenota (e paga) uno slot di passaggio per ogni intersezione che dovrà attraversare per raggiungere la destinazione. A seconda del budget stanziato dal driver per raggiungere la destinazione sarà possibile utilizzare percorsi più o meno rapidi (e costosi).

Questa modalità di gestione permette di ridurre contemporaneamente i tempi di percorrenza e la congestione della rete viaria. Attraverso un adattamento giornaliero del comportamento, gli utenti (che vogliono risparmiare denaro) e gli agenti che governano l'infrastruttura (che vogliono ridurre gli ingorghi), questi ultimi “invitano” gli utenti ad effettuare percorsi più esterni ma più economici per raggiungere le loro destinazioni. [VO08b] Questo risultato è stato raggiunto ponendo tutti gli autisti con lo stesso budget iniziale e non considerando la riduzione delle emissioni come un obiettivo della società.

Il lavoro di Vasirani è rivolto all'investigare diverse possibili strategie operative applicate dagli “intersection manager” per perseguire l'obiettivo della riduzione degli ingorghi. Le strategie possono essere suddivise in due tipologie: strategie che si applicano al singolo agente manager, oppure strategie che si applicano all'intera società di manager.

Esse possono essere suddivise in 3 macrocategorie:

ECO+ di tipo cooperativo: massimizzare il profitto della società dei manager (ed indirettamente minimizzare il tempo di viaggio dei driver).

ECO– di tipo competitivo: ove i manager competono tra loro per riservare slot ai driver.

ECO–ca: di tipo competitivo per gli assegnamenti degli slot, e con un sistema ad “aste” per il raggiungimento degli obiettivi di profitto.

8 Co-Fields

Applicando lo schema **car-agent — traffic light-agent** un gruppo di lavoro italiano [MCZ06] propone di realizzare un campo di forza, come ad esempio il campo gravitazionale, utilizzando una struttura dati distribuita. Essa è situata nell'ambiente ed ha il ruolo di mediare e coordinare le attività degli agenti in base alla configurazione

locale del campo. L'intensità del campo rappresenta l'intensità del traffico nell'area considerata. Conoscendo la distribuzione spaziale degli ingorghi e la loro *intensità* i car-agent possono costruire itinerari, utilizzando specifiche *driving policy*, che non attraversino le aree interessate dai rallentamenti. Analogamente i traffic-light agent possono coordinare le loro *green-light policy* per favorire il deflusso dalle aree critiche.

L'obiettivo di questo lavoro è di costruire un sistema in grado di regolare, ove possibile, il flusso del traffico per ridurre gli ingorghi e quindi minimizzare il tempo medio che un'auto impiega per raggiungere la propria destinazione. Per poter modificare i flussi di traffico veicolare si può intervenire sulla navigazione delle singole automobili oppure sui dispositivi che controllano le intersezioni. L'utilizzo dell'astrazione di agente per modellare queste entità appare del tutto naturale. Gli agenti si muovono in una ricostruzione virtuale dell'ambiente reale basato su artefatti (ad esempio mappe digitali) che possono essere modificati, aggiornati, arricchiti nella naturale evoluzione del sistema.

Conclusioni

In questa raccolta di articoli si sottolinea l'importanza strategica dei MAS nello studio, ma ancor più, nella modellazione dei sistemi socio-tecnologici. La capacità dei sistemi multiagente di ricostruire catene di intervento umane in ambienti virtuali li rende un supporto tecnologico fondamentale nella gestione e nel controllo delle infrastrutture complesse. Un altro aspetto di fondamentale importanza è l'intrinseca capacità dei MAS di operare in un ambiente geograficamente distribuito. L'agente è situato nell'ambiente ed interagisce con esso, attraverso l'uso di artefatti [Omicini08] che ne mediano l'azione.

Nell'ambito del controllo del traffico veicolare, oltre all'aspetto tecnologico, è necessario comprendere i pattern di comportamento degli utenti. Sia in condizioni di normalità, sia in presenza di *problemi*. La modellizzazione ed il controllo del comportamento dei veicoli, nelle diverse situazioni, ci permette di poter rendere più efficiente l'intera infrastruttura dei trasporti. La tecnologia fornisce il supporto indispensabile per effettuare l'interazione tra gli utenti (della stessa o di diverse tipologie di veicoli) e con l'infrastruttura (e chi la controlla), in modo efficace ed efficiente. Essa riveste un ruolo essenziale per poter intervenire in tempo reale sul comportamento di diverse tipologie di utenti della rete viaria.

L'informatizzazione dell'infrastruttura dei trasporti (strade, ponti, gallerie e dei veicoli che vi transitano), coinvolge profondamente molti aspetti della vita nella società moderna, ma assume sempre più un ruolo chiave per migliorare l'efficienza dell'intero *sistema* paese. I sistemi ad agenti sono in grado di far emergere il comportamento globale desiderato dal sistema pur partendo da azioni semplici ed operate in modo locale, ma possono anche essere utilizzati per trasferire la conoscenza tra gli utenti [Omicini09] e quindi veicolare modelli di comportamento virtuosi [SZ09].

Riferimenti bibliografici

- [AFS06] ENEA. *Modellistica delle Reti Complesse viste come aggregati Socio-Tecnologici*. 2006. URL: <http://www.afs.enea.it/cresco/SPIII/SPIII4/SPIII4.htm>.
- [Ber09] Cristian Bertocco. "Context-dependent reputation management in multi-agent systems". PhD.Thesis. Università di Padova, 2009.

- [Codacons09] Codacons. *Auto: il traffico brucia fino a 260 ore all'anno*. 2009. URL: <http://www.codacons.it/articolo.asp?idInfo=117209>.
- [CRESCO00] ENEA. *Progetto CRESCO*. 2000-2008. URL: <http://www.cresco.enea.it/CRESCOrev81.htm>.
- [CRESCO08] ENEA. *Rassegna stampa*. 2008. URL: <http://www.cresco.enea.it/Documenti/web/STAMPA/inaugurazione\%20cresco\%20-2008.pdf>.
- [Dresner08] K. Dresner e P. Stone. "A multiagent approach to autonomous intersection management". In: *Journal of Artificial Intelligence Research* (2008), pp. 591–656.
- [DSSS93] Universal Traffic Management Society of Japan. *Driving Safety Support System*. 1993-2010. URL: <http://www.utms.or.jp/english/system/dsss.html>.
- [FO07] A. Fernandez e S. Ossowski. "Role-based Discovery and Coordination of Semantic Transportation Services". In: *IEEE* (2007).
- [GM06] General Motors. *Sixth Sense*. 2006. URL: http://planer-motorshow.gmeuropearchive.info/shows/v2v_roadshow/.
- [Helbing09] D. Helbing A. Kesting M. Treiber. "Agents for Traffic Simulation". In: *Multi Agent System* (2009), pp. 325–356.
- [Honda91] Honda. *Advanced Safety Veichles*. 1991-2010. URL: <http://world.honda.com/ASV/>.
- [Impatience07] E. Frazzoli M. Pavone N. Bisnik e V. Isler. "Decentralized Vehicle Routing in a Stochastic and Dynamic Environment with Customer Impatience". In: *MIT* (2007).
- [JDO08] R. Ortiz J. Dunkel A. Fernández e S. Ossowski. "Event-Driven Architecture for Decision Support in Traffic Management Systems". In: *IEEE* (2008).
- [KLS08] S. Kraus, R. Lin e Y. Shavitt. "On Self-Interested Agents in Vehicular Networks With Car-to-Car Gossiping". In: *IEEE* (2008).
- [Lee00] S. Ghosh e T. Lee. *Intelligent Transportation System: New Principles and Architecture*. CRC, 2000.
- [MCZ06] M. Mamei M. Camurri e F. Zambonelli. "Urban Traffic Control with Co-Fields". In: *E4MAS* (2006).
- [Moretti10] Moretti. *Interview at MobilityTech*. A cura di Il Sole 24 Ore. 2010. URL: http://www.mobilitytech.it/_modules/download/download/101019\%20sole\%2024\%20ore.pdf.
- [Omicini08] A. Omicini, A. Ricci e M. Viroli. "Artifacts in the A&A Meta-Model for Multi-Agent Systems". In: *JAAMAS08* (2008).
- [Omicini09] A. Ricci et al. *Cognitive Stigmergy: A Framework Based on Agents and Artifacts*. DEIS, 2009.
- [Russo10] Maria Cristina Treu e Giuseppe Russo. *La Via delle Merci*. Politecnico di Milano e di Torino. 2010.

- [SZ09] T. Susi e T. Zienmke. *Social Cognition, Artefacts and Stigmergy: A Comparative Analysis of Theoretical Frameworks for the Understanding of Artefacts-mediated Collaborative Activity*. University of Skovde, Sweden, 2009.
- [TTI07] TTI. *Annual Urban Mobility Report*. Technical Report. Texas Transportation Institute, 2007.
- [V2V02] Research e Innovative Technology Administration (RITA) U.S. Department of Transportation (US DOT). *Vehicle-to-Vehicle (V2V) Communications for Safety*. 2002-2010. URL: <http://www.its.dot.gov/research/v2v.htm>.
- [Vasirani09] Matteo Vasirani. “Veichle-centric coordination for urban road traffic managment: A market-based multiagent approach”. PhD.Thesis. Universidad Rey Juan Carlos, 2009.
- [VO08a] M. Vasirani e S. Ossowski. “Decentralized Coordination Strategies for the Veichle Routing Problem”. In: *ACM* (2008).
- [VO08b] M. Vasirani e S. Ossowski. “Towards reservation-based intersection coordination: an economic approach”. In: *IEEE* (2008).
- [Wikipedia10] *Wikipedia*. 2010. URL: <http://it.wikipedia.org>.