



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PALERMO



# **Propagazione delle informazioni nelle VANET tramite Population Protocol**

Tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria Informatica

G. Di Liberto

Relatore: Prof. Giuseppe Lo Re

Correlatore: Ing. Antonio Bordonaro

# Propagazione delle informazioni nelle VANET tramite Population Protocol

*Tesi di Laurea di*

Giuseppe Di Liberto

*Relatore:*

Prof. Giuseppe Lo Re

*Correlatore:*

Ing. Antonio Bordonaro

---

## **Sommario**

Una delle criticità delle reti veicolari (VANET) riguarda l'assenza di protocolli universali validi per lo scambio efficiente di informazioni tra i nodi della rete. Questo problema è ancora più rilevante nelle reti che non presentano un'infrastruttura di supporto. Ad oggi, i principali protocolli di comunicazione non si adattano ai cambiamenti della rete, quindi non risultano ottimali in tutti gli scenari. Per raggiungere tale obiettivo, in questo lavoro di tesi si adotterà il modello dei Population Protocols, un approccio innovativo nel contesto delle VANET e poco esplorato in letteratura ma molto promettente per le sue proprietà intrinseche. Si propone, un sistema modulare efficiente di Data Dissemination basato sui Population Protocol utilizzando comunicazioni V2V. La valutazione sperimentale mostra che il sistema riesce a superare alcune attuali criticità, riuscendo ad adattarsi a scenari con diverse densità veicolari.

# Indice

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>1</b>
1.1	Vehicular ad hoc network . . . . .	2
1.2	Applicazioni VANET . . . . .	6
1.3	Obiettivo della tesi . . . . .	7
<b>2</b>	<b>Stato dell'arte</b>	<b>9</b>
2.1	Stack protocollare DSRC . . . . .	10
2.2	Data Dissemination . . . . .	13
2.3	Data Dissemination mediante cluster . . . . .	14
2.4	Probabilistic forwarding algorithm . . . . .	15
2.5	Delay-based Data Dissemination . . . . .	17
2.6	Pull-based Data Dissemination . . . . .	18
2.7	Adaptive Communication . . . . .	19
<b>3</b>	<b>Population Protocol</b>	<b>22</b>
3.1	Introduzione . . . . .	22
3.2	Definizione Population Protocol . . . . .	24
3.3	Esempi di Population Protocol . . . . .	27

---

3.4	Mediated e Community Protocol . . . . .	29
<b>4</b>	<b>Sistema proposto</b>	<b>31</b>
4.1	Introduzione all'architettura . . . . .	31
4.2	Population Protocol . . . . .	38
4.2.1	Stato del nodo . . . . .	39
4.2.2	Parametri Population Protocol . . . . .	40
4.2.3	Funzione di transizione . . . . .	41
4.3	Event Detection . . . . .	43
4.4	Application Module . . . . .	45
4.5	Adaptive Communication Module . . . . .	48
4.6	Analisi della convergenza . . . . .	52
4.6.1	Analisi della convergenza in presenza del GPS . . . . .	52
4.6.2	Analisi della convergenza in assenza del GPS . . . . .	55
4.7	Caso di studio . . . . .	55
<b>5</b>	<b>Valutazione sperimentale</b>	<b>59</b>
5.1	Metriche di valutazione . . . . .	59
5.2	Descrizione degli esperimenti . . . . .	62
5.3	Risultati ottenuti . . . . .	66
5.3.1	Scenari sparsi . . . . .	67
5.3.2	Scenari densi . . . . .	70
5.3.3	Riepilogo dei risultati ottenuti . . . . .	74
<b>6</b>	<b>Conclusioni</b>	<b>78</b>

# Capitolo 1

## Introduzione

Una delle più grandi sfide riguardanti l'innovazione digitale riguarda l'automatizzazione dei trasporti nel contesto degli *Intelligent Transport System* (ITS)[13]. Negli ultimi anni, si utilizzano, sempre più intensivamente, sistemi di assistenza alla guida, anche nelle auto più economiche. L'obiettivo è di aumentare la sicurezza stradale e migliorare l'esperienza di guida, aumentando quindi la percezione che il consumatore ha del prodotto.

Uno dei problemi di questi sistemi è che si concentrano soltanto su una piccola porzione dell'ambiente che circonda l'automobile. Alcuni esempi sono il mantentore di corsia, che controlla la segnaletica orizzontale, istante per istante, per mantenere l'auto all'interno della corsia, oppure il cruise control adattivo, che mantiene una certa velocità impostata dal conducente mantenendo una certa distanza di sicurezza o, ancora, la frenata automatica di emergenza, che rileva eventuali ostacoli e automaticamente rallenta l'automobile, fino a fermarla completamente se necessario. Gli esempi sopra citati, come già accennato, mostrano come i sistemi comunemente utilizzati si limitano ad una

piccola porzione di spazio che circonda l'automobile.

Le Vehicular Ad-hoc network definiscono un'infrastruttura che consente alle automobili, ovvero i nodi della rete, di comunicare tra di loro in modo tale da raggiungere determinati obiettivi che potrebbero essere legati alla sicurezza stradale o al comfort di guida. Dunque, le VANET migliorano l'efficienza non solo della singola vettura, ma di tutte le automobili della rete. Considerati i vantaggi derivati dall'uso delle VANET le case automobilistiche investono nella ricerca e nello sviluppo di queste tecnologie, oltretutto alcune di esse tra cui Renault, Volvo e Volkswagen sono attualmente partner del *Car 2 Car Communication Consortium* (C2CCC) che si occupa di aumentare la sicurezza e l'efficienza mediante i *Cooperative Intelligent Transport System* (C-ITS)[14] nelle VANET.

## 1.1 Vehicular ad hoc network

Le VANET (Vehicular ad hoc networks) [29] rappresentano un caso particolare delle più comuni MANET (*Mobile ad hoc networks*) [15], ovvero sistemi autonomi mobili interconnessi tra di loro in modalità wireless, che definiscono un grafo delle connessioni variabile nel tempo.

Le VANET sono costituite da veicoli interconnessi che scambiano informazioni e comunicano sfruttando tecnologie wireless a corto raggio come le WLAN (*Wireless Local Area Network*) e il 4G LTE [12]. Nuove tecnologie, come il 5G [17], potranno aumentare la larghezza di banda e diminuire la latenza dei messaggi.

Ogni veicolo di una VANET è dotato di una OBU (*On Board Unit*)[28, 41]

che si occuperà di gestire le comunicazioni con gli altri veicoli e di salvare i dati.

Una caratteristica molto importante delle VANET è l'elevata mobilità e flessibilità della rete, e proprio per queste caratteristiche è necessario adottare opportune tecniche che garantiscano buone prestazioni nonostante l'alta variabilità della rete. Questa è una delle caratteristiche che più differenzia le VANET dalle MANET, queste ultime infatti sono caratterizzate da una bassa mobilità dei nodi e da pochi cambiamenti nella topologia.

Esistono due differenti architetture VANET: V2I (*Vehicle to Infrastructure*) e V2V (*Vehicle to Vehicle*). L'architettura V2I prevede l'uso di un'infrastruttura fissa composta da RSU (*Road Side Units*), ovvero unità fisse affidabili installate sul tessuto stradale che hanno il compito di fornire informazioni ai nodi, un esempio è riportato in Figura 1.1 [29]. Il ruolo degli RSU è fondamentale in quanto, in quest'architettura, i veicoli non comunicano direttamente fra di loro ma possono scambiare informazioni soltanto attraverso gli RSU. Bisogna quindi considerare che, in assenza degli RSU le comunicazioni potrebbero essere interrotte, causando disservizi, o ancora peggio, creando dei "punti ciechi" dove potrebbero avvenire incidenti. Si sottolinea che l'uso degli RSU permette di creare un'architettura di rete più affidabile, poiché le informazioni provenienti da essi hanno un buon grado di attendibilità, inoltre potrebbe evitare che malintenzionati possano impersonificare vetture delle forze dell'ordine. Gli RSU permettono di fornire servizi che necessitano di una connessione ad Internet, ad esempio la ricerca delle stazioni di servizio più vicine e i relativi costi, informazioni su negozi oltre a migliorare le prestazioni delle comunicazioni nelle aree coperte.

La principale limitazione delle architetture V2I è legata ai costi di installazione e manutenzione, infatti gli RSU devono essere installati in modo capillare per garantire una comunicazione costante con i nodi adiacenti.

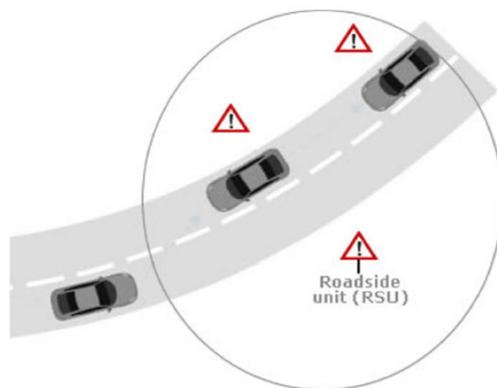


Figura 1.1: Esempio di Road Side Units (RSU) e raggio di azione.

L'architettura V2V (Vehicle to Vehicle) non prevede l'uso di RSU ma i nodi, entro una certa distanza, possono comunicare direttamente. In genere, questa architettura è soggetta a cambiamenti più rapidi nel grafo delle connessioni ma potenzialmente può essere molto scalabile. Si noti che questo approccio è molto suscettibile alla densità dei nodi, infatti in aree altamente popolate da nodi le informazioni saranno scambiate prima e in modo più efficace mentre in aree poco dense le prestazioni potrebbero peggiorare.

Il principale vantaggio delle VANET con architettura V2V è che possono essere adottate in qualsiasi ambiente, in quanto non necessitano di un'architettura fissa.

Le reti V2V, di contro, potrebbero essere soggette al problema della congestione di pacchetti, soprattutto nel caso di reti con un'alta densità di nodi,

dove questo fenomeno è più probabile. Nelle aree scarsamente dense di nodi, invece, si potrebbero riscontrare prestazioni molto inferiori poiché potrebbe non avvenire uno scambio di informazioni per diversi minuti. Un ulteriore problema rispetto alle reti V2I potrebbe risiedere in un attacco di impersonificazione, dove un veicolo malintenzionato fa credere agli altri nodi di essere un veicolo con determinati privilegi o autorizzazioni (per esempio, un mezzo delle forze dell'ordine).

È utile sottolineare che, usando un approccio ibrido, possono essere sfruttate sia comunicazioni V2I che V2V così da mitigare i problemi specifici di entrambi gli approcci. La Figura 1.2 [38] mostra una panoramica delle tre architetture appena discusse.

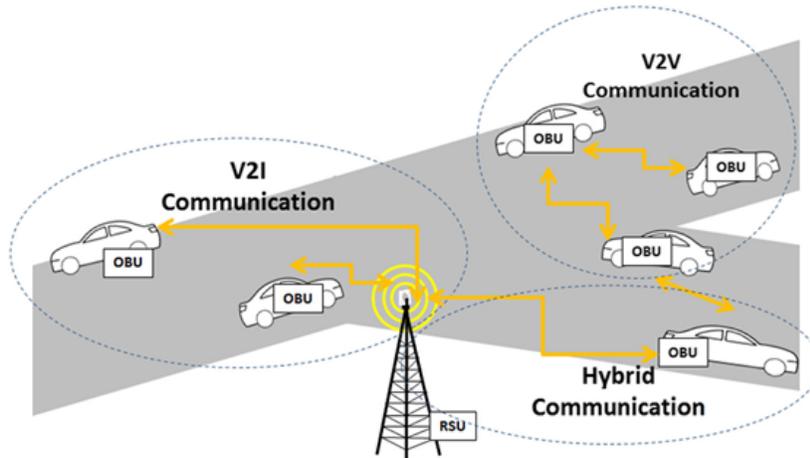


Figura 1.2: Esempio dei tre tipi di comunicazioni nelle VANET.

Di fondamentale importanza per le VANET sono: lo stack DSRC, i protocolli WAVE e IEEE 802.11p che hanno contribuito alla standardizzazione di queste reti, essi saranno approfonditi nel capitolo successivo.

## 1.2 Applicazioni VANET

Le VANET consentono di affrontare e risolvere molti dei problemi in ambito veicolare[21]. Oltre ai già citati problemi legati alla sicurezza [23], le VANET sono spesso impiegate nell' Intelligent Transportation Application [32], ITS che comprende una gamma di applicazioni come il sistema di posizionamento globale (GPS), l'osservazione del traffico, l'analisi dei congestionamenti, la gestione del traffico ed altre. Ad esempio, un RSU potrebbe monitorare il traffico veicolare e inviare le informazioni ottenute ad un'autorità centrale, che le analizzerà per controllare il flusso del traffico. In caso di incidente stradale, i veicoli vicini condivideranno questi dati tra di loro o mediante gli RSU che, a loro volta diffonderanno queste informazioni ai veicoli in arrivo. Inoltre gli RSU, in caso di emergenza, potrebbero comunicare con l'autorità di competenza. Un altro tipo di applicazione delle reti VANET sono le *comfort application*. Per esempio, le VANET consentono ai nodi di connettersi ad internet in modo che i passeggeri dei sedili posteriori possano giocare o trasferire musica, usufruire di servizi di intrattenimento. Propagando le informazioni (ad esempio: "strada chiusa") i veicoli precedenti potranno effettuare dei cambiamenti nel percorso migliorando i tempi di guida.

Un grande vantaggio nell'uso delle reti VANET è relativo alla cooperazione tra i veicoli della rete. Ciò potrebbe ridurre il numero di incidenti stradali, che risulta essere un fenomeno molto frequente. Inoltre, può essere usata per avvisare i veicoli di potenziali pericoli presenti, come "ostacoli nella

carreggiata" o "restringimento della strada".

Infine i *Location-based Services* consistono in servizi che usano le coordinate GPS per esempio per trovare stazioni di rifornimento, per notificare la presenza di veicoli in stato di emergenza come vetture delle forze dell'ordine.

### 1.3 Obiettivo della tesi

Nelle VANET, in particolare nelle architetture V2V, uno dei principali aspetti da affrontare riguarda gli algoritmi di *Data Dissemination*[27, 30, 35], che permettono di diffondere le informazioni fra i nodi della rete. Una soluzione potrebbe consistere nell'adattare gli algoritmi di routing progettati per le MANET e riutilizzarli nelle VANET. Poiché queste reti sono profondamente differenti (alta mobilità, topologia molto variabile, ecc.) queste soluzioni non risultano essere il metodo più efficiente.

L'obiettivo di questo lavoro di tesi è la definizione di un algoritmo distribuito che permette ai nodi di una VANET di diffondere efficientemente informazioni sul verificarsi di determinati eventi e che sfrutti soltanto comunicazioni V2V.

Il sistema proposto garantirà ai nodi della rete di avere una visione globale dell'ambiente in modo che possa sfruttare queste informazioni per migliorare l'esperienza di guida. Per raggiungere questo obiettivo, si valuterà l'adozione del modello distribuito dei Population Protocols che rappresenta una delle alternative più interessanti poiché, per le sue caratteristiche intrinseche, risulta essere molto scalabile e richiede poca potenza computazionale. Poiché,

attualmente, non sono stati proposti approcci al Data Dissemination nelle VANET mediante l'uso dei Population Protocol, risulta essere una via molto promettente che potrebbe permettere di ottenere ottime prestazioni rispetto ad altri approcci comunemente utilizzati.

In breve, i Population Protocol, consistono in una popolazione di nodi che, cooperando ed interagendo fra di loro, riescono ad eseguire una computazione globale di alto livello e, quando l'algoritmo avrà raggiunto la convergenza, tutti i nodi della rete produrranno in output lo stesso valore.

Il lavoro di tesi è strutturato nel seguente modo.

Nel capitolo 2 sono discussi i principali approcci al data dissemination valutandone pregi e difetti e facendo, per ognuno di essi, un breve confronto con la soluzione proposta.

Nel capitolo 3 sono presentati e discussi i Population Protocol.

Nel capitolo 4 è descritto il sistema proposto e un opportuno algoritmo basato sui Population Protocol.

Il capitolo 5 descrive la valutazione sperimentale condotta sul sistema proposto e presenta i risultati ottenuti.

Il capitolo 6 contiene le conclusioni e i possibili sviluppi futuri.

# Bibliografia

- [1] Ryosuke Akamatsu et al. «Adaptive delay-based geocast protocol for data dissemination in urban VANET». In: 2014 seventh international conference on mobile computing and ubiquitous networking (ICMU). IEEE. 2014, pp. 141–146.
- [2] Oluwaseyi Akinlade. «Adaptive transmission power with vehicle density for congestion control». Tesi di dott. University of Windsor (Canada), 2018.
- [3] Dana Angluin et al. «Computation in networks of passively mobile finite-state sensors». In: Distributed computing 18.4 (2006), pp. 235–253.
- [4] Wilmer Arellano e Imad Mahgoub. «TrafficModeler extensions: A case for rapid VANET simulation using, OMNET++, SUMO, and VEINS». In: 2013 High Capacity Optical Networks and Emerging/Enabling Technologies. IEEE. 2013, pp. 109–115.
- [5] James Aspnes e Eric Ruppert. «An Introduction to Population Protocols». In: (2007).
- [6] James Aspnes e Eric Ruppert. «An introduction to population protocols». In: Middleware for Network Eccentric and Mobile Applications (2009), pp. 97–120.
- [6] Songnan Bai et al. «Vehicular multi-hop broadcasting protocol for safety message dissemination in VANETs». In: 2009 IEEE 70th vehicular technology conference fall. IEEE. 2009, pp. 1–5.
- [7] Bordonaro, A., Concone, F., De Paola, A., Lo Re, G., & Das, S. K. (2021, August). Modeling efficient and effective communications in VANET through population protocols. In 2021 IEEE International Conference on Smart Computing (SMARTCOMP) (pp. 305-310). IEEE.
- [8] Safdar Hussain Bouk et al. «Hybrid adaptive beaconing in vehicular ad hoc networks: a survey». In: International Journal of Distributed Sensor Networks 11.5 (2015), p. 390360.
- [9] Ioannis Chatzigiannakis, Othon Michail e Paul G Spirakis. «Mediated population protocols». In: International Colloquium on Automata, Languages, and Programming. Springer. 2009, pp. 363–374.
- [10] Nathalie Dessart et al. «Population protocol over wireless sensor networks». In: IEEE Local Computer Network Conference. IEEE. 2010, pp. 799–805.
- [11] V DhilipKumar, D Kandar e CK Sarkar. «Enhancement of inter-vehicular communication to optimize the performance of 3G/4G-VANET». In: 2013 International Conference on Optical Imaging Sensor and Security (ICOSS). IEEE. 2013, pp. 1–5.

- [13] George Dimitrakopoulos e Panagiotis Demestichas. «Intelligent transportation systems». In: IEEE Vehicular Technology Magazine 5.1 (2010), pp. 77–84.
- [14] Andreas Festag. «Cooperative intelligent transport systems standards in Europe». In: IEEE communications magazine 52.12 (2014), pp. 166–172.
- [15] Silvia Giordano et al. «Mobile ad hoc networks». In: Handbook of wireless networks and mobile computing (2002), pp. 325–346.
- [16] Rachid Guerraoui e Eric Ruppert. Even small birds are unique: Population protocols with identifiers. Rapp. tecn. 2007.
- [17] Rasheed Hussain, Fatima Hussain e Sherali Zeadally. «Integration of VANET and 5G Security: A review of design and implementation issues». In: Future Generation Computer Systems 101 (2019), pp. 843–864.
- [18] Jakub Jakubiak e Yevgeni Koucheryavy. «State of the art and research challenges for VANETs». In: 2008 5th IEEE Consumer Communications and Networking Conference. IEEE. 2008, pp. 912–916.
- [19] John B Kenney. «Dedicated short-range communications (DSRC) standards in the United States». In: Proceedings of the IEEE 99.7 (2011), pp. 1162–1182.
- [20] Abderrahmane Lakas e Moumena Shaqfa. «Geocache: sharing and exchanging road traffic information using peer-to-peer vehicular communication». In: 2011 IEEE 73rd Vehicular Technology Conference (VTC Spring). IEEE. 2011, pp. 1–7.
- [21] Michael Lee e Travis Atkison. «Vanet applications: Past, present, and future». In: Vehicular Communications 28 (2021), p. 100310.
- [22] Lei Liu et al. «A data dissemination scheme based on clustering and probabilistic broadcasting in VANETs». In: Vehicular Communications 13 (2018), pp. 78–88.
- [23] Mohamed Nidhal Mejri, Jalel Ben-Othman e Mohamed Hamdi. «Survey on VANET security challenges and possible cryptographic solutions». In: Vehicular Communications 1.2 (2014), pp. 53–66.
- [24] Othon Michail, Ioannis Chatzigiannakis e Paul G Spirakis. «Mediated population protocols». In: Theoretical Computer Science 412.22 (2011), pp. 2434–2450.
- [25] Yves Mocquard et al. «Counting with population protocols». In: 2015 IEEE 14th International Symposium on Network Computing and Applications. IEEE. 2015, pp. 35–42.
- [26] Atanu Mondal e Sulata Mitra. «Secure data dissemination in VANET- a pull based approach». In: 2015 IEEE international conference on communication, networks and satellite (COMNESTAT). IEEE. 2015, pp. 60–67.

- [27] Tamer Nadeem, Pravin Shankar e Liviu Iftode. «A comparative study of data dissemination models for VANETs». In: 2006 Third Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking & Services. IEEE, 2006, pp. 1–10.
- [28] Matteo Petracca et al. «On-Board Unit hardware and software design for Vehicular Ad-hoc Networks». In: Roadside Networks for Vehicular Communications: Architectures, Applications, and Test Fields. IGI Global, 2013, pp. 38–56.
- [29] Baraa T Sharef, Raed A Alsaqour e Mahamod Ismail. «Vehicular communication ad hoc routing protocols: A survey». In: Journal of network and computer applications 40 (2014), pp. 363–396.
- [30] Xia Shen et al. «Data dissemination in VANETs: A scheduling approach». In: IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 15.5 (2014), pp. 2213–2223.
- [31] Jaskaran Preet Singh e Rasmeet S Bali. «A hybrid backbone based clustering algorithm for vehicular ad-hoc networks». In: Procedia Computer Science 46 (2015), pp. 1005–1013.
- [32] Surmukh Singh e Sunil Agrawal. «VANET routing protocols: Issues and challenges». In: 2014 Recent Advances in Engineering and Computational Sciences (RAECS). IEEE, 2014, pp. 1–5.
- [33] Christoph Sommer, Reinhard German e Falko Dressler. «Bidirectionally coupled network and road traffic simulation for improved IVC analysis». In: IEEE Transactions on mobile computing 10.1 (2010), pp. 3–15.
- [34] Christoph Sommer et al. «Veins: The open source vehicular network simulation framework». In: Recent advances in network simulation. Springer, 2019, pp. 215–252.
- [35] Pratibha Tomar, Brijesh Kumar Chaurasia e GS Tomar. «State of the art of data dissemination in VANETs». In: International journal of computer theory and engineering 2.6 (2010), p. 957.
- [36] Ozan K Tonguz, Nawaporn Wisitpongphan e Fan Bai. «DV-CAST: A distributed vehicular broadcast protocol for vehicular ad hoc networks». In: IEEE Wireless Communications 17.2 (2010), pp. 47–57.
- [37] András Varga e Rudolf Hornig. «An overview of the OMNeT++ simulation environment». In: Proceedings of the 1st international conference on Simulation tools and techniques for communications, networks and systems & workshops. 2008, pp. 1–10.
- [38] Julia Silva Weber, Miguel Neves e Tiago Ferreto. «VANET simulators: an updated review». In: Journal of the Brazilian Computer Society 27.1 (2021), pp. 1–31.

- [39] Nawaporn Wisitpongphan et al. «Broadcast storm mitigation techniques in vehicular ad hoc networks». In: *IEEE Wireless Communications* 14.6 (2007), pp. 84–94.
- [40] Nian Xia e Chu-Sing Yang. «Vehicular communications: Standards and challenges». In: *International Conference on Internet of Vehicles*. Springer. 2017, pp. 1–12.
- [41] Qiong Yang et al. «Development of on-board unit in vehicular ad-hoc network for highways». In: *2014 International Conference on Connected Vehicles and Expo (ICCVE)*. IEEE. 2014, pp. 457–462.
- [42] Linjuan Zhang et al. «Smartgeocast: Dynamic abnormal traffic information dissemination to multiple regions in vanet». In: *2013 9th international wireless communications and mobile computing conference (IWCMC)*. IEEE. 2013, pp. 1750–1755.
- [43] Gaglio S., Lo Re G., Martorella G., Peri D. A middleware to develop and test vehicular sensor network applications, (2019) 2019 AEIT International Conference of Electrical and Electronic Technologies for Automotive, AEIT AUTOMOTIVE 2019, DOI: 10.23919/EETA.2019.8804533
- [44] Gaglio S., Lo Re G., Morana M., Ruocco C., Smart assistance for students and people living in a campus, (2019) Proceedings - 2019 IEEE International Conference on Smart Computing, SMARTCOMP 2019, DOI: 10.1109/SMARTCOMP.2019.00042
- [45] Lo Re G., Peri D., Vassallo S.D., Urban air quality monitoring using Vehicular Sensor Networks (2014) *Advances in Intelligent Systems and Computing*, DOI: 10.1007/978-3-319-03992-3\_22
- [46] A. Bordonaro, A. De Paola, G. Lo Re, VPP: A Communication Schema for Population Protocols in VANET, 2021 20th International Conference on Ubiquitous Computing and Communications (IUCC/CIT/DSCI/SmartCNS);
- [47] Agate V., De Paola A., Lo Re G., Morana M. A Simulation Software for the Evaluation of Vulnerabilities in Reputation Management Systems (2021) *ACM Transactions on Computer Systems*, 37 (1-4), art. no. 3458510 DOI: 10.1145/3458510
- [48] Agate V., De Paola A., Lo Re G., Morana M. DRESS: A distributed RMS evaluation simulation software, (2020) *International Journal of Intelligent Information Technologies*, 16 (3), DOI: 10.4018/IJIT.2020070101
- [49] Agate V., De Paola A., Lo Re G., Morana M. A Platform for the Evaluation of Distributed Reputation Algorithms, (2019) *Proceedings of the 2018 IEEE/ACM 22nd International Symposium on Distributed Simulation and Real Time Applications, DS-RT 2018*, art. no. 8601020, pp. 182 – 189, DOI: 10.1109/DISTRA.2018.8601020

- [50] Agate V., De Paola A., Lo Re G., Morana M., Vulnerability evaluation of distributed reputation management systems, (2017) ValueTools 2016 - 10th EAI International Conference on Performance Evaluation Methodologies and Tools, pp. 235 – 242, DOI: 10.4108/eai.25-10-2016.2266868
- [51] Agate V., De Paola A., Gaglio S., Lo Re G., Morana M., A framework for parallel assessment of reputation management systems, (2016) ACM International Conference Proceeding Series, 1164, pp. 121 – 128, DOI: 10.1145/2983468.2983474
- [52] Agate V., De Paola A., Lo Re G., Morana M., A simulation framework for evaluating distributed reputation management systems, (2016) Advances in Intelligent Systems and Computing, 474, pp. 247 – 254, DOI: 10.1007/978-3-319-40162-1\_27