



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

FACOLTA' DI INGEGNERIA
DELL'INFORMAZIONE, INFORMATICA E
STATISTICA

Corso di Laurea Magistrale in
Ingegneria delle Comunicazioni

STUDIO DI FATTIBILITÀ E PROGETTAZIONE DI UNO SMART
ENVIRONMENT PER L'INFOMOBILITÀ IN AMBIENTE
AUTOMOTIVE BASATO SULLA RETE DI COMUNICAZIONE
CELLULARE

Relatore

Chiar.ma Prof.ssa
Maria-Gabriella Di Benedetto

Laureando

Luca Graziano
Matricola 1363398

Correlatore

Ing. Alessandro Tosti
Telecom Italia S.p.A.

ANNO ACCADEMICO 2012-2013

Indice

Indice.....	i
Indice delle Figure	iii
Indice delle Tabelle.....	iv
Introduzione	1
1. Lo sviluppo di uno smart environment per la creazione di Big Data in ambienti ITS.....	2
1.1. L' infomobilità a supporto della sicurezza stradale in Europa.....	2
1.2. La gestione delle informazioni sul traffico automobilistico in Italia	6
1.3. Le potenziale di utilizzo dei Big Data a supporto dell'Infomobilità.....	10
1.3.1. <i>Big data: definizione e potenzialità di utilizzo</i>	10
1.3.2. <i>Prime esperienze applicative dei Big Data nel settore dell'infomobilità</i>	15
1.4. Trasformare la rete di telecomunicazione in uno smart environment	17
1.4.1. <i>Descrizione del sistema</i>	18
2. Il confronto prestazionale dell'approccio V2V con quello V2I2V per via simulativa.....	22
2.1. Due approcci a confronto	22
2.2. Approccio V2V	23
2.2.1. <i>Introduzione</i>	23
2.2.2. <i>Protocollo 802.11p</i>	24
2.2.3. <i>Strumenti di simulazione utilizzati</i>	31
2.2.3.1. Sumo	32
2.2.3.2. Mixim, Veins, TraCI	37
2.2.4. <i>Caso d'uso 1: pioggia</i>	39
2.2.4.1. <i>Ipotesi assunte</i>	40
2.2.4.2. <i>Risultati ottenuti</i>	41
2.2.4.3. <i>Commento</i>	45
2.2.5. <i>Caso d'uso 2: incidente</i>	47
2.2.5.1. <i>Ipotesi assunte</i>	48
2.2.5.2. <i>Risultati ottenuti</i>	50
2.2.5.3. <i>Commento</i>	52

2.3.	Approccio V2I2V.....	53
2.3.1.	<i>Introduzione</i>	53
2.3.2.	<i>Le modalità di trasmissione</i>	56
2.3.3.	<i>Strumenti di simulazione utilizzate</i>	59
2.3.4.	<i>Descrizione delle simulazioni</i>	61
2.3.5.	<i>Risultati ottenuti</i>	62
2.3.6.	<i>Commento</i>	67
3.	Discussione dei risultati	70
3.1.	Introduzione	70
3.2.	Confronto dei risultati ottenuti	71
4.	Conclusioni e prospettive future d'indagine	75
	Bibliografia	77

Indice delle Figure

Figura 1: Architettura di sistema.....	19
Figura 2: Spettro della banda e dei canali DSRC in USA (Jiang e Delgrossi, 2008).....	26
Figura 3: Concetti di Independent Services Set - ISS e Extended Service Set – ESS (Jiang e Delgrossi, 2008).....	27
Figura 4: Il format del data frame dell'IEEE 802.11 (Jiang e Delgrossi, 2008).....	28
Figura 5: Standard DSRC e communication stack (Jiang e Delgrossi, 2008).....	31
Figura 6: Topologia della rete stradale costruita.....	33
Figura 7: Organizzazione dei file per la simulazione in Sumo	34
Figura 8: File .nod.xml.....	34
Figura 9: File .typ.xml.....	35
Figura 10: File .edg.xml.....	35
Figura 11: File .con.xml.....	36
Figura 12: File .sumo.cfg.....	37
Figura 13: File .rou.xml	41
Figura 14: % macchine avvisate al variare della soglia, traffico intenso - 1200 veh/h (Caso d'uso Pioggia).....	42
Figura 15: % macchine avvisate al variare della distanza, traffico intenso - 1200 veh/h (Caso d'uso Pioggia).....	43
Figura 16: % macchine avvisate al variare della soglia, poco traffico - 360 veh/h (Caso d'uso Pioggia).....	43
Figura 17: % macchine avvisate al variare della distanza, poco traffico - 360 veh/h (Caso d'uso Pioggia).....	44
Figura 18: % macchine avvisate al variare della soglia, traffico rurale o notturno - 180 veh/h (Caso d'uso Pioggia).....	44
Figura 19: % macchine avvisate al variare della distanza, traffico rurale o notturno - 180 veh/h (Caso d'uso Pioggia).....	45
Figura 20: % macchine avvertite, velocità 13,5 m/s (Caso d'uso Pioggia).....	46
Figura 21: % macchine avvertite, velocità 30 m/s (Caso d'uso Pioggia).....	46
Figura 22: Esempio file .rou.xml, caso d'uso incidente.....	49
Figura 23: % macchine avvisate in funzione della densità di traffico, velocità 13,5 m/s (Caso d'uso Incidente).....	50
Figura 24: % macchine avvisate al variare della distanza per le tre densità di traffico, velocità 13,5 m/s (Caso d'uso Incidente).....	51

Figura 25: % macchine avvisate in funzione della densità di traffico, velocità 30 m/s (Caso d'uso Incidente).....	51
Figura 26: % macchine avvisate al variare della distanza per le tre densità di traffico, velocità 30 m/s (Caso d'uso Incidente).....	52
Figura 27: Architettura di sistema.....	54
Figura 28: Fasi del protocollo OMA-DM (OMA, 2008)	57
Figura 29: Architettura per la gestione delle Trap (OMA, 2011)	58
Figura 30: Fasi di upload e download (V2I2V)	60
Figura 31: Potenza disponibile in funzione della distanza e sensibilità del ricevitore	63
Figura 32: Frequenza di bit disponibile in funzione della probabilità di errore per bit.....	64
Figura 33: Frequenza di bit disponibile in funzione della distanza ($P_b=10^{-6}$)	65
Figura 34: Tempo di download	66
Figura 35: Tempo totale (upload + download)	67

Indice delle Tabelle

<i>Tabella 1: Aspetti, caratteristiche e sfide connessi alla gestione di grandi dataset (Nessi, 2012)</i>	12
Tabella 2: Tempo di diffusione dell'allarme a 2700 metri (in secondi).....	47
Tabella 3: Prestazioni V2V – Caso d'uso Pioggia	71
Tabella 4: Prestazioni V2V – Caso d'uso Incidente	71
Tabella 5: Tempi V2V – Caso d'uso Pioggia	72
Tabella 6: Tempi V2V – Caso d'uso Incidente.....	73
Tabella 7: Confronto degli approcci V2V e V2I2V	74

Introduzione

Il progetto di tesi è uno dei frutti della collaborazione fra il laboratorio ACTS dell'Università la Sapienza e la Telecom s.p.a.

Il progetto si pone l'obiettivo di proporre un nuovo approccio per la gestione dei servizi di infomobilità mediante la trasformazione della rete di telecomunicazione cellulare in uno smart environment capace di acquisire le informazioni sulle condizioni del traffico stradale direttamente dai sensori già presenti a bordo dei veicoli, accumularli sotto forma di Big Data e mettere i dati a disposizione degli sviluppatori di applicazioni in modo che essi possano correttamente adoperarli per generare i messaggi da redistribuire ai veicoli al fine di gestire le criticità e i flussi di traffico.

Tale architettura è incentrata sulla volontà di sfruttare a pieno le potenzialità offerte dalla rete di comunicazione cellulare e si pone il duplice obiettivo di introdurre significativi miglioramenti nelle prestazioni dei servizi di infomobilità e di fornire alla rete di comunicazione cellulare nuove funzionalità capaci di renderla maggiormente remunerativa.

Il primo capitolo è dedicato ad offrire una panoramica dello stato dell'arte nel settore dell'infomobilità sia a livello Europeo che Nazionale e alla presentazione della architettura che costituisce la proposta di questo lavoro.

L'introduzione di un nuovo approccio alla generazione di un servizio ha bisogno di essere sostenuta mediante una prima valutazione per via simulativa delle prestazioni che esso può fornire e soprattutto da un confronto fra queste ultime e quelle che già sono rese disponibili da altri approcci già disponibili sul mercato. Per questo motivo, nel secondo capitolo, sono indagate le capacità prestazionali dell'architettura proposta e quelle raggiungibili attraverso un approccio del tipo V2V (Vehicle To Vehicle) caratterizzato dall'impiego del protocollo IEEE802.11p, specifico per le comunicazioni fra veicoli in movimento. Tutte le valutazioni saranno fatte con riferimento a due possibili use cases che sono stati individuati come di maggiore interesse:

- la gestione degli incidenti;
- la gestione delle criticità legate ad avverse condizioni meteo.

I risultati ottenuti sono confrontati e commentati nel corso del terzo capitolo mentre nel quarto capitolo sono tratte le conclusioni sul lavoro svolto e sono indicati possibili sviluppi futuri.

1. Lo sviluppo di uno smart environment per la creazione di Big Data in ambienti ITS

1.1. L' infomobilità a supporto della sicurezza stradale in Europa

In tutte le Nazioni economicamente avanzate negli ultimi decenni si è assistito ad un notevole incremento della domanda di mobilità sia di persone che di merci. L'aumento dei volumi di traffico, soprattutto stradali, ha portato ad un esacerbamento dei fenomeni di congestione, con conseguenti impatti negativi sull'ambiente, la qualità della vita e la sicurezza del trasporto. Il costo pagato giornalmente dalla collettività in termini di perdite di tempo, inquinamento e sicurezza è enorme e il rischio è che la domanda di trasporto in continua crescita possa rendere tale costo non più sostenibile.

La sfida che tutti i Paesi industrializzati si pongono è di garantire ad ogni cittadino e alle merci la possibilità di viaggiare in modo sicuro, efficiente e compatibile con l'ambiente, utilizzando tutti i modi di trasporto disponibili. Le esperienze condotte in questi anni in numerosi Paesi Europei, negli Stati Uniti ed in Giappone, hanno permesso di verificare che questo obiettivo non può essere raggiunto solo attraverso la realizzazione di nuove infrastrutture, che sono comunque necessarie e previste. Occorre anche intervenire direttamente sulla domanda di trasporto, distribuendo i flussi di traffico in modo equilibrato tra le varie modalità, ottimizzando l'utilizzo delle infrastrutture per permettere spostamenti più sicuri, veloci ed economici, e rilanciando il ruolo del trasporto marittimo e ferroviario.

L'applicazione ai trasporti dei metodi e delle tecnologie proprie dell'informatica e delle comunicazioni ha permesso di sviluppare sistemi capaci di affrontare in modo "intelligente" i problemi della mobilità e del trasporto nella loro globalità: i Sistemi di Trasporto Intelligenti (ITS– Intelligent Transportation Systems). Per ITS si intende l'insieme delle procedure, dei sistemi e dei dispositivi che consentono, attraverso la raccolta, l'elaborazione e la distribuzione di informazioni, di migliorare il trasporto e la mobilità di persone e merci, nonché la verifica e quantificazione dei risultati raggiunti. Le possibili applicazioni dei Sistemi di Trasporto Intelligenti sono molteplici ed essenzialmente riconducibili al concetto generale di "Infomobilità", termine nato per indicare i cosiddetti "servizi informativi per gli utenti in mobilità", e che tecnicamente individua l'insieme dei sistemi tecnologici costituiti da apparati

mobili, unità centrali ed elementi distribuiti sul territorio che permettono la raccolta e lo scambio di informazioni tra soggetti in movimento ed applicazioni informatiche. La stessa Commissione Europea ha definito l'Infomobilità come "accesso continuo, interattivo ed intelligente ad informazioni multimediali per supportare le esigenze nel campo dei trasporti", finalizzato a migliorare l'efficienza, la qualità, la sicurezza e l'impatto della mobilità dei veicoli, delle persone e delle merci. Le applicazioni (ovvero i servizi) di Infomobilità sono realizzati attraverso l'integrazione tra le diverse tecnologie di comunicazione fissa e mobile, di localizzazione, di acquisizione e di trattamento delle informazioni basate su dati georeferenziati. Di seguito si accenna brevemente alle più comuni tipologie di servizio, che sono oramai presenti nella quotidianità:

- la gestione del traffico e della mobilità;
- la gestione ed il monitoraggio del trasporto pubblico di persone;
- la gestione ottimizzata delle flotte di trasporto;
- l'informazione collettiva/individuale all'utenza;
- la pianificazione degli spostamenti;
- la gestione ed il monitoraggio del trasporto merci;
- il pagamento automatico del trasporto;
- il controllo avanzato del veicolo e la navigazione;
- la gestione delle emergenze e degli incidenti.

L'introduzione dei Sistemi di Trasporto Intelligenti consente di affrontare i problemi della mobilità in modo nuovo, ossia con un approccio sistemico. Infatti, tali sistemi, fondati sull'interazione fra Informatica e Telecomunicazioni, consentono di trasformare i trasporti in un "sistema integrato", in cui informazione, gestione e controllo operano in congiuntamente ottimizzando l'uso delle infrastrutture, dei veicoli e delle piattaforme logistiche.

Le prime attività di Ricerca e Sviluppo sui Sistemi ITS risalgono alla metà degli anni 80, principalmente negli Stati Uniti ed in Giappone. A partire dai primi anni 90, anche la Commissione Europea ha finanziato numerosi programmi di ricerca e, successivamente, di implementazione su applicazioni ITS, in tutti i Paesi dell'Unione Europea, a supporto anche dei piani di sviluppo adottati dalle politiche nazionali. Un ruolo importante per la diffusione dei sistemi ITS è stato svolto dalle Associazioni ITS Nazionali, organismi pubblico-privati che riuniscono i principali attori (industrie, organi istituzionali, amministrazioni pubbliche, enti di ricerca ed utenti) coinvolti nello sviluppo e realizzazione dei Sistemi ITS nei singoli Stati. Attraverso la promozione di tavoli di discussione comune, le Associazioni ITS hanno

contribuito a creare le condizioni per facilitare la collaborazione fra le imprese e i decisori pubblici, l'adozione di standard e architetture condivise, con un approccio "user oriented" finalizzato ad agevolare l'utilizzo e la penetrazione di mercato dei nuovi sistemi.

L'applicazione dei sistemi ITS realizzati nel corso degli anni, sia a livello urbano che extraurbano, ha permesso di valutare in modo tangibile i benefici apportati da tali tecnologie.

La Commissione Europea, già nel 2001 nel Libro Bianco "La politica europea dei trasporti fino al 2010: il momento delle scelte" (Commissione Europea, 2001), evidenziava una riduzione dei tempi di spostamento del 20% ed aumenti della capacità della rete del 5-10% a seguito dell'introduzione delle prime applicazioni di ITS. Inoltre rilevava un miglioramento in termini di sicurezza del 10-15% grazie alle strategie coordinate di informazione e controllo, e un aumento anche delle percentuali di sopravvivenza, dovuto ai sistemi automatici di segnalazione degli incidenti e di gestione delle situazioni di emergenza. Questi risultati positivi hanno fornito sin da subito una valida dimostrazione dei vantaggi che i Sistemi ITS possono apportare, in una logica di sviluppo sostenibile, all'ambiente e al miglioramento dell'efficienza, della produttività e, soprattutto, della sicurezza dei trasporti, a fronte di investimenti relativamente modesti e, comunque, di ordini di grandezza percentualmente molto inferiori a quelli necessari alla realizzazione di nuove infrastrutture. Gli ITS sono stati così individuati sin da subito come lo strumento principe per l'attuazione delle politiche di mobilità.

Forte dei risultati statistici ottenuti e con particolare riferimento all'aspetto della sicurezza dei trasporti su gomma, l'Unione Europea per il decennio successivo (2001/2010) ha dunque ritenuto di potersi dare un obiettivo ambizioso: il dimezzamento del numero delle vittime su strada (Commissione Europea, 2001). Tale obiettivo tuttavia è stato raggiunto solo in parte. Secondo quanto evidenziato nel final report della Commissione Europea – Direzione Generale Mobilità e Trasporti (Commissione Europea, 2013), infatti, le vittime della strada sono diminuite del 42% dal 2001 ma nel 2010 i morti sulle strade europee sono stati circa 31.000 morti mentre il numero annuo di feriti a seguito di incidenti stradali è stato di circa 1.500.000, realizzando un decremento percentuale inferiore a quello misurato per il caso di decessi. Per tali ragioni il nuovo obiettivo della UE di ridurre ulteriormente il numero delle vittime del traffico del 50% nel periodo 2010-2020 rappresenta un grande sfida che richiede l'impiego di molteplici strumenti capaci di avere un effetto positivo sulla sicurezza del traffico. Tra questi gli ITS ed in particolare i sistemi per la gestione e distribuzione di informazioni sulle condizioni del traffico assumono un ruolo significativo.

E' ampiamente riconosciuto che gli incidenti sulla strada in una certa misura possono essere evitati mediante una tempestiva segnalazione agli automobilisti dei tratti di strada congestionati, degli incidenti e più in generale di tutta quella serie di situazioni ambientali che possono influire sulla sicurezza.

Le informazioni a disposizione degli utenti della strada variano molto fra i diversi stati Membri: in termini di contenuto, di formato e di qualità. Mentre nella maggior parte degli Stati membri (17), le informazioni chiave sono disponibili almeno per le autostrade, in 3 Stati membri il contenuto al momento disponibile è insufficiente per creare servizi di informazione sul traffico relativi alla sicurezza stradale. Inoltre in almeno 7 stati (sostanzialmente i meno ricchi e più piccoli dell'Unione) il contenuto è limitato o la sua disponibilità non è chiara.

Nella maggior parte degli Stati Membri le informazioni sul traffico sono codificate in un particolare formato denominato DATEX e sono concentrate in uno o più sistemi centralizzati. Solo i Paesi meno ricchi non dispongono ancora di un nodo DATEX. L'ampia disponibilità e le nuove installazioni di TMC (Traffic Message Channel) suggerisce che il TMC può garantire, nel breve periodo, le migliori performance per la fornitura di informazioni sul traffico relative alla sicurezza per gli utenti della strada su tutto il territorio dell'Unione Europea.

In quasi tutti gli Stati membri, i servizi TMC sono gratuiti per l'utente finale ma i servizi erogati previa iscrizione e basati su Internet mobile sono attualmente disponibili in almeno 19 Stati membri, con una copertura in espansione di anno in anno.

Nella maggior parte degli Stati membri sono sia gli enti pubblici che le organizzazioni private a raccogliere, aggregare e convalidare i dati sul traffico in parallelo. Riguardo invece alla fornitura di servizi, mentre le autorità stradali in alcuni Stati membri hanno deciso di lasciarla a privati (che applicano modelli di business come abbonamento o servizi venduti a "pacchetto"), altri paesi membri considerano importante avere una fonte pubblica di informazione per gli utenti della strada. Anche se la diffusione di questi diversi approcci non segue un chiaro raggruppamento geografico si può genericamente dire che le parti private sembrano giocare un ruolo dominante negli stati del sud-est dell'Unione.

I dati riportati (Commissione Europea, 2013) dimostrano che sebbene passi importanti sono stati svolti nella maggioranza dei paesi europei, l'eterogeneità in termini di disponibilità dei contenuti, di formati e di canali di redistribuzione delle informazioni sul traffico comportano la sussistenza di problemi di incompatibilità e interoperabilità ancora irrisolti. Tale situazione di fatto impedisce che una parte importante degli utenti della strada possa beneficiare di quegli avvertimenti universali di criticità e pericolo che consentirebbero loro di aumentare l'attenzione

durante la guida e necessita di essere adeguatamente affrontata per poter raggiungere un livello di servizio minimo ma universale dei servizi di informazione per la sicurezza stradale nell'UE.

La determinazione della UE risolvere queste criticità è testimoniata dalla sezione Priority Action C della Direttiva ITS (Commissione Europea, 2010) che si propone di migliorare significativamente la situazione sul medio termine andando potenzialmente ad interessare l'intera catena del valore di un tale servizio di informazioni sul traffico: autorità stradali, centri di informazione sul traffico, dati di traffico commerciale / fornitori di informazioni, operatori stradali privati, le società di telecomunicazioni, gli organismi di radiodiffusione, i fornitori di servizi di informazione sul traffico, i club automobilistici pubblici e privati, le associazioni di utenti e i servizi d'emergenza.

1.2. La gestione delle informazioni sul traffico automobilistico in Italia

L'Italia è uno dei paesi europei con la più alta densità di traffico interno. Il traffico viene distribuito in modo non uniforme sulla rete di trasporto che è costituita da 156 porti, una infrastruttura ferroviaria di 19.472 km, una rete stradale (statale, regionale, provinciale e comunale) di una estensione pari a circa 840.000 km, una rete autostradale di 6.588 km (di cui 5724,4 km a pedaggio) e 98 aeroporti. Nel 2010 il volume di passeggeri-km per distanze superiori a 50 km (Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 2009) era di 918.560 milioni, ciò è indice di un sistema di mobilità forte di un paese produttivo e vitale ma è anche un campanello d'allarme che segnala quanto l'intero sistema sia prossimo alla saturazione. Tale situazione, di per sé preoccupante per il sistema dei trasporti nel suo complesso, è anche gravata da uno squilibrio pesante che evidenzia una concreta possibilità di collasso della mobilità su strada: il 91,87% dei viaggi di lunghezza superiore ai 50 km si svolgono infatti su strada, mentre il restante 8,13% è suddiviso tra ferrovie (5,94%), trasporti aerei (1,71%), corsi d'acqua (0,48%). Sempre nel 2010, il traffico relativo al trasporto delle merci per percorsi di oltre 50 km all'interno del territorio Italiano ha raggiunto il volume di 211.354 milioni tonnellate-km/anno, con il 63,28% della domanda incentrata sulle strade, mentre il resto è stato distribuito fra le linee ferroviarie (13,11%) e corsi d'acqua (23,14%). La percentuale del trasporto merci per via aerea è stata invece quasi insignificante (0,46%). Anche per quanto riguarda il trasporto merci per distanze inferiori ai 50km (categoria che comprende quasi tutta la distribuzione urbana delle merci) la percentuale del trasporto su strada è pari a oltre il 90% (Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 2011).

I dati di traffico attuali per l'Italia confermano quindi il dominio assoluto del trasporto su strada, nonostante il fatto che l'infrastruttura non può ancora soddisfare pienamente la domanda, con effetti negativi a catena in termini di congestione del traffico, di inquinamento ambientale e di sicurezza.

Ad aggravare ulteriormente la situazione è il fatto che la domanda di trasporto su strada è influenzata da significativi squilibri regionali poiché i flussi di traffico sono essenzialmente concentrati su poche arterie e nodi critici attorno alle principali aree metropolitane e industriali del paese. Il problema del traffico è particolarmente grave nelle aree urbane che ospitano più del 50% della popolazione, dove ha sede più del 70% delle attività produttive e dove circola più del 60% dei veicoli. La migrazione della popolazione dalle grandi città verso zone più periferiche (fenomeno particolarmente intenso negli ultimi due decenni) ha anche portato ad un aumento del numero dei pendolari da lavoro, con la conseguenza di accrescere il problema del traffico sulle vie di accesso ai centri urbani.

Per dare un valore numerico di quanto tutte le criticità fin qui esposte abbiano ripercussioni in termini di sicurezza stradale diciamo che nel 2009 hanno avuto luogo 215.405 incidenti stradali, causando 4.237 morti e 307.258 lesioni per un costo sociale di circa 28 miliardi di euro (Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 2011).

In linea con gli altri paesi europei, l'Italia ha deciso di adottare un approccio di 'sistema' per affrontare le sfide in corso di aumento della domanda di mobilità e gestire al meglio mezzi e piattaforme logistiche in una prospettiva multimodale.

I sistemi di trasporto intelligenti (ITS) svolgono un ruolo cruciale in questo approccio strategico e il Piano Generale dei Trasporti e della Logistica 2001 (Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 2001) li considera come una delle chiavi principali per il raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità della mobilità che sono alla base del piano stesso.

Le linee guida del Piano di mobilità hanno successivamente assegnato un ruolo essenziale per gli ITS, e descrivono tali sistemi come strumento base per il raggiungimento di una piena integrazione tra le modalità di trasporto e le reti sia a livello nazionale che internazionale, in particolare in verso l' Europa e il vicino Mediterraneo.

Per quanto riguarda la logistica il recente Piano Logistico Nazionale 2011-2020 (Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 2010) riconosce a sua volta il ruolo fondamentale interpretato dagli ITS per lo sviluppo del settore dedicando a questo argomento la linea strategica numero 8 dal titolo: 'Piattaforma Telematica, sistemi ICT e progetto Galileo'.

Il settore ITS è attivo in Italia dal 1980 ma è decollato nel corso del decennio successivo, rispecchiando l'andamento di crescita negli altri grandi paesi industrializzati. Lo Stato, gli enti locali, le agenzie, gli istituti di ricerca, le università italiane e i gestori dei sistemi pubblici e privati hanno partecipato a tutti i programmi quadro di sviluppo e ricerca della Commissione europea, con risultati significativi.

Alla vigilia delle manifestazioni sportive dei mondiali di calcio "Italia 90", il Parlamento italiano ha autorizzato l'allora Ministero dei Lavori Pubblici, in collaborazione con il Ministero dell'Interno, a istituire un centro di coordinamento delle informazioni sulla regolarità e la sicurezza del traffico. Il successivo Decreto Ministeriale 154/90 costituì e regolò il CCISS (Centro Coordinamento Informazioni Sicurezza Stradale) e poi ha stabilito le condizioni per il effettivo avvio operativo. Questo organismo è ad oggi il principale attore sulla scena dell'ITS italiano.

Il CCISS opera oggi con l'aiuto di una centrale operativa aggiornata che è stata attivata nell'aprile del 2009. Questa riceve, elabora, memorizza e invia al pubblico tutte le informazioni di infomobilità (incidenti, ritardi, eventi statici (lavori stradali) e eventi dinamici (congestione, eventi meteorologici, etc) che disturbano il flusso regolare del traffico stradale).

Le attività del Centro sono sostenute da: polizia stradale, carabinieri, ANAS e gestori della rete autostradale oltre che dalla RAI e dall'ACI.

Eventi di traffico vengono intercettati dalle forze di polizia presenti a livello locale o dagli enti gestori o proprietari delle infrastrutture stradali nonché tramite la rete di sensori e telecamere TV distribuite lungo la rete stradale. Questi eventi sono scomposti nei loro caratteri essenziali e quindi inseriti - prevalentemente in modalità automatica - nella piattaforma CCISS RTTI (nativa DATEX) e ritrasmessi attraverso la radio, la TV, telefono, internet, le reti mobili e attraverso i sistemi di navigazione satellitare su cui girano sistemi TMC e RDS.

Con più di 700.000 item di informazioni raccolte in un anno e trasmesse attraverso 16.000 bollettini radiofonici, 7.000 bollettini televisivi, 700.000 contatti telefonici on-demand, applicazioni iPhone e Android, un sito web che ha ricevuto circa 10 milioni di visite solo nel mese di agosto 2011 e più di 6.000 ore di dirette radiofoniche dedicate, le CCISS rappresentano un contenitore naturale di informazioni sulla mobilità e uno strumento che è potenzialmente in grado di amplificare gli effetti della maggior parte delle applicazioni ITS in Italia (Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 2011).

Un limite della piattaforma CCISS RTTI è però quello di distribuire le informazioni ai conducenti in modalità broadcast risultando così incapace di differenziare il contenuto delle segnalazioni in base alle reali esigenze di ciascun utente.

In Italia sono disponibili altri sistemi ITS più efficienti sotto questo aspetto, quelli legati ai navigatori satellitari. Le principali ditte produttrici di navigatori satellitari hanno infatti arricchito le funzionalità dei loro dispositivi che ora non sono più esclusivamente in grado di fornire un servizio di individuazione di percorsi stradali e di assistenza per la geo-localizzazione durante il percorso. Sia se implementati su hardware dedicato, sia se sviluppati come applicazioni per cellulari, questi sistemi sono ormai in grado di fornire al conducente svariate informazioni sul traffico, sul meteo e sulle condizioni stradali in generale filtrando esclusivamente quelle del viaggio che in quel preciso momento sta compiendo. Si tratta di un grosso vantaggio rispetto alla condizione precedentemente descritta in quanto si evita di innescare un overload informativo sul conducente al quale le informazioni che realmente interessano giungono insieme immerse in una quantità ben maggiore di informazioni completamente non correlate con il suo piano di viaggio. Il grosso svantaggio che però questi sistemi hanno rispetto alla piattaforma CCISS RTTI è legato invece all'aspetto della qualità e dell'affidabilità delle informazioni sul traffico che sono in grado di manipolare. Tutti questi sistemi infatti si basano su un approccio di tipo "social" per la creazione dei contenuti informativi. Sono infatti gli stessi utenti a fornire al sistema le segnalazioni di criticità che riscontrano durante i loro spostamenti, creando così una sorta di "community" che si scambia informazioni sul traffico. Questa modalità di originare i contenuti informativi determina una serie di criticità sulla qualità del servizio all'utente. Ad esempio per avere una informazione istantanea e capillare c'è bisogno di un alto tasso di penetrazione del servizio e di un'alta disponibilità degli utenti a farsi carico di trasmettere le segnalazioni durante il viaggio, il che costituisce per altro un elemento di distrazione per i conducenti e quindi un fattore che va nella direzione opposta all'aumento della sicurezza sulle strade.

In più l'assenza di una unità centrale di controllo delle informazioni a disposizione del sistema rende difficile il loro aggiornamento in tempo reale nel senso che spesso risulta non sufficientemente la capacità di rimuovere l'informazione di una criticità su uno specifico tratto stradale quando la causa che l'ha generata sia stata in realtà già risolta.

Un tipico caso delle conseguenze della difficoltà di aggiornamento è ad esempio la segnalazione degli "autovelox mobili". La loro presenza in un determinato punto della rete stradale viene immediatamente segnalata dal primo utente che li avvista ma poi nessuno

provvede a cancellare tale segnalazione nel momento in cui vengono spostati. Il risultato è che sui tratti stradali solitamente più interessati da questi tipi di strumenti di controllo della velocità l'utente viene continuamente allertato da parte del suo navigatore della presenza di autovelox nei paraggi anche se di autovelox in realtà non ce ne sono. Questi continui falsi allarmi possono diventare un serio problema di sicurezza poiché spingono a modificare repentinamente la propria velocità anche quando non necessario e sono comunque un elemento di notevole distrazione per il conducente.

Proposito di questo progetto è anche quello di trovare una struttura per i servizi ITS che consenta di trovare soluzioni alla carenza di affidabilità di questi sistemi e contestualmente di superare l'eccessiva rigidità di quelli broadcast.

1.3. Le potenziale di utilizzo dei Big Data a supporto dell'Infomobilità

1.3.1. Big data: definizione e potenzialità di utilizzo

Negli ultimi anni il concetto di Big Data si è affermato tra i principali temi del dominio dell'ICT, sia per le opportunità di business ad esso connesso che per le sfide significative che ha posto alla ricerca scientifica. Nell'ambito del settimo Programma Quadro lanciato dalla Comunità Europea, ad esempio, sono stati finanziati ben 81 progetti di ricerca che indirizzano un vasto set di problematiche connesse ai Big Data inerenti la creazione ed il processing dei contenuti, l'analisi e l'elaborazione in tempo reale.

Come si evidenzia nel White Paper lanciato dal Nessi (Networked European Software and Services Initiative) nel dicembre del 2012, Big Data è una nozione che racchiude in un solo termine diversi aspetti che spaziano da una dimensione tecnologica ad un set di modelli economici. Più in dettaglio il Nessi definisce Big Data come un termine che comprende l'uso di tecniche per catturare, processare, analizzare e visualizzare dataset le cui dimensioni non li rendono accessibili e gestibili attraverso tecnologie IT standard. Per estensione, la piattaforma, gli strumenti e i software usati a tali fini sono chiamati "tecnologie Big Data".

Secondo il McKinsey Global Institute (2011), la definizione di Big Data è intenzionalmente soggettiva e incorpora una definizione dinamica delle dimensioni di un dataset che consentono di configurarlo come "Big Data". Pertanto si assume che i requisiti dimensionali di un dataset qualificabile come "big data" evolvono a seguito dello sviluppo tecnologico. Il McKinsey Global Institute (2011) evidenzia, inoltre, che la definizione di Big Data può variare

da settore a settore, in funzione del tipo di strumenti software in uso e delle dimensioni dei dataset tipici di una particolare industria. Per tali ragioni i big data in molti settori di business possono spaziare da poche dozzine di terabytes a multipli petabytes (migliaia di terabytes).

In una prospettiva d'impresa i Big data tipicamente si riferiscono ai seguenti tipi di data (Oracle, 2012):

- i dati “tradizionali” d'impresa che includono le informazioni sui clienti gestite attraverso sistemi CRM (Customer Relationship Management), i dati transazionali gestiti dagli ERP (Enterprise Resource Planning), le transazioni generate dai siti di e-commerce e i dati della contabilità generale;
- i dati prodotti da macchine e sensori, che includono i Call Detail Records (CDR), i weblogs, i contatori intelligenti, i sensori di produzione, gli equipment log, i trading Data Systems;
- i dati “social” che includono i feedback ricevuti dai clienti, i dati provenienti siti di micro-blogging come Twitter o i dati provenienti delle piattaforme di social media quali Facebook.

L'attenzione crescente nei confronti dei Big data e della possibilità di gestirli ha origine in primo luogo nell'affermazione, avvenuta nel corso dell'ultimo decennio, di tecnologie scalabili ed efficienti per la memorizzazione dei dati, che ha consentito il superamento di uno dei principali limiti tecnologici che i gestori di dati erano chiamati a fronteggiare. A ciò si aggiunge la rapida e consistente crescita dei dati prodotti dovuta all'uso di Internet, alla diffusione dei sensori e dei processi automatizzati, ma soprattutto alla diffusione dei devices di connettività e al successo mondiale delle piattaforme a supporto del social network. Player come Google, Amazon, Facebook e Twitter per primi hanno fronteggiato il crescente volume di dati e progettato soluzioni ad hoc per gestirli. In seguito anche rispetto a tali tecnologie si è sviluppato il comparto dell'open source. Due ulteriori fattori che hanno stimolato la diffusione dei big data sono:

- la disponibilità di soluzioni cloud based che hanno ridotto drasticamente il costo della memorizzazione, ed hanno trasformato l'hardware in commodity;
- lo sviluppo di una nuova generazione di tecnologie di database che seguono diverse logiche di progettazione e si basano su modalità più efficienti per supportare il processamento parallelo massivo (es. noSQL databases e Hadoop map-reduce platform). La gestione di grandi quantità di dati richiede infatti la loro distribuzione su più server.

Di seguito si riporta la tabella elaborata dal Nessi (2012) in cui vengono sintetizzate le principali caratteristiche e i problemi connessi alla gestione di diversi tipi di grandi dataset ed in che modo le tecnologie Big Data possono aiutare a risolverli.

ASPETTI	CARATTERISTICHE	SFIDE E RISPOSTE TECNOLOGICHE
Volume	L'aspetto più evidente dei Big Data concerne il grande incremento dei dati generati negli ultimi anni. Si tratta comunque dell'aspetto che presenta nella pratica minori criticità	L'espansione di Internet ha stimolato la produzione di dati a livello globale. Una risposta a questa situazione è stata la virtualizzazione dello storage in data centre, amplificata da una significativa contrazione del costo di possesso attraverso la generalizzazione delle soluzioni basate su cloud. L'approccio del database nSQL è una risposta alla memorizzazione e interrogazione di un elevato volume di dati distribuiti.
Velocità	Questo aspetto concerne la produzione crescente dei dati. Al crescere della produzione dei dati il processo di raccolta deve avvenire in tempi sempre più contenuti.	La crescita quotidiana del numero dei devices connessi (ad es. gli smartphone) impatta non solo sul volume dei dati ma anche sulla velocità di elaborazione e trasmissione. Le piattaforme di processamento dei dati in tempo reale sono considerate dalle imprese globali come un requisito per la loro competitività.
Varietà	Con la moltiplicazione delle fonti di dati si verifica anche l'esplosione dei formati che spaziano dalle informazioni strutturate al testo libero	La necessità di raccogliere e analizzare dati non strutturati o semi strutturati entra in conflitto con i tradizionali modelli di dati relazionali e i linguaggi di interrogazione. Questa realtà ha rappresentato un forte incentivo alla creazione di nuovi tipi di data store in grado di supportare modelli di dati flessibili.
Valore	Questo aspetto altamente soggettivo si riferisce al fatto che fino a poco tempo fa, grandi quantità di dati venivano registrati (spesso per fini di archiviazione o regolatori) ma non sfruttati.	Le tecnologie big data sono viste come fattori abilitanti la creazione di valore da dati altrimenti non completamente sfruttati. In sostanza, la sfida è trovare un modo per trasformare dati grezzi in informazioni a valore aggiunto, sia internamente alle imprese che in vista di nuove prospettive di business.

Tabella 1: Aspetti, caratteristiche e sfide connessi alla gestione di grandi dataset (Nessi, 2012)

Secondo il report sui Big Data pubblicato a fine 2011 dal McKinsey Global Institute, le regioni più sviluppate quali l'Europa, hanno il più alto potenziale di creazione di valore dall'uso dei Big Data. Infatti, un uso appropriato dei Big Data non solo dischiude un elevato potenziale di competitività e crescita per le singole imprese ma può addirittura favorire incrementi nella produttività, nell'innovazione e nella competitività di interi settori ed economie. Una prima quantificazione dell'impatto economico dei Big Data è stata elaborata dal Centre for Economics

and Business Research (CEBR) che stima per la sola economia del Regno Unito un valore generato dai Big Data di 216 miliardi di sterline e circa 58.000 nuovi posti di lavoro nei prossimi 5 anni.

Il McKinsey Global Institute ha individuato cinque modalità applicative ad alto valore aggiunto dei Big Data con importanti implicazioni per la progettazione, organizzazione e gestione delle organizzazioni:

- creare trasparenza rendendo i big data più facilmente accessibili ed in tempi rapidi agli stakeholder rilevanti;
- utilizzare i big data per scoprire i bisogni, raccogliere dati sulle prestazioni più accurate e dettagliate al fine di migliorarle;
- utilizzare i Big Data per segmentare la popolazione e customizzare le azioni ed i prodotti in funzione dei suoi bisogni specifici;
- supportare i processi decisionali attraverso algoritmi automatizzati, minimizzando i rischi, e portando alla luce informazioni preziose che altrimenti rimarrebbero nascoste;
- definire nuovi modelli di business, prodotti e servizi.

Affinché tuttavia tali potenzialità possano concretizzarsi alcune importanti sfide tecnologiche devono essere adeguatamente indirizzate. Concentrandosi sulle fasi dell'analisi di Big Data il Computing Community Consortium nel suo white paper "Challenges and Opportunities with Big Data" lanciato nel 2011 ha evidenziato che ciascuna di essa introduce delle sfide che necessitano di essere appropriatamente indirizzate dal sistema scientifico. In particolare in merito alla fase di *acquisizione dei dati e della registrazione* un'importante sfida è rappresentata dalla necessità di definire i filtri da applicare alla grande mole di informazioni raccolte in modo da non perdere informazione utile. E' necessario in particolare sviluppare la ricerca sulla riduzione dei dati ed in particolare sulla possibilità di processare in modo intelligente i dati grezzi al fine di raggiungere dimensioni che ne consentano la gestione da parte dell'utente senza perdere informazioni significative. Inoltre occorre sviluppare tecniche di analisi online che consentano di processare dati in streaming senza dover necessariamente procedere prima con la loro memorizzazione. La seconda grande sfida concerne invece la possibilità di generare automaticamente i metadati corretti per descrivere quali dati sono registrati e come sono registrati e misurati.

Riguardo la fase di *estrazione e pulizia dell'informazione* una sfida tecnica molto significativa è rappresentata dalla necessità di disporre di processi di estrazione dell'informazione che estraggano le informazioni richieste dalle fonti individuate ed esprimano tali informazioni in una forma strutturata adatta per l'analisi.

L'elevata eterogeneità del flusso di dati rende particolarmente complessa anche la fase di *integrazione, aggregazione e rappresentazione dei dati*. Per un'analisi su larga scala efficace le attività di localizzazione, identificazione, comprensione e citazione dei dati dovrebbe avvenire in modo completamente automatizzato. Sino ad oggi numerosi studi sull'integrazione dei dati forniscono già una serie di risposte ai problemi evidenziati, tuttavia per raggiungere una *error-free difference resolution* automatizzata la strada è ancora piuttosto lunga. Anche per le analisi più semplici su un unico dataset, la progettazione del database più appropriato rappresenta una questione importante. In genere ci sono diversi modi alternativi per memorizzare le stesse informazioni ma non tutti si rilevano i più adatti rispetto a finalità specifiche.

Riguardo la fase di *processamento delle query, di data modeling e di analisi* occorre evidenziare che i Big Data si basano su metodi per l'interrogazione e il mining molto diversi dalle analisi statistiche tradizionali su piccoli campioni. I Big Data sono spesso rumorosi, dinamici, eterogenei, inaffidabili e inter-relati. Un problema con le analisi correnti di Big Data concerne lo scarso coordinamento tra sistemi database che memorizzano i dati e forniscono interrogazioni SQL e i pacchetti per l'analisi che realizzano varie forme di processamenti non – SQL, quali il data mining e le analisi statistiche. Ad oggi gli analisti devono affrontare il tedioso processo di esportare i dati dal database, realizzare i processi non-SQL e reinserire i dati nel database. Un accoppiamento stretto tra i linguaggi dichiarativi per le query e le funzionalità di tali pacchetti andranno a beneficio sia dell'espressività che delle prestazioni dell'analisi.

In merito, infine, all'ultima fase dell'*interpretazione* è necessario creare le condizioni per consentire all'utente di verificare i risultati prodotti dal computer vista la numerosità delle possibili fonti di errori. Questa attività rappresenta una sfida significativa nel caso dei Big Data visto il livello di complessità che li contraddistingue. La sfida in particolare consiste nella necessità di creare sistemi con una ricca paletta di visualizzazioni in grado di consentire all'utente di valutare il risultato delle query e il processo di elaborazione del risultato e di poter comprendere la provenienza del dato.

Alle sfide propriamente tecnologiche il McKinsey Global Institute (2011) affianca ulteriori temi quali:

- la necessità di definire appropriate policy volte a regolamentare la gestione sui dati assicurando il rispetto della privacy, della sicurezza, della proprietà intellettuale e dell'affidabilità dei dati;
- le difficoltà nell'individuazione di talenti in grado di cogliere il valore dei big data e sfruttarne le potenzialità e di promuovere un cambiamento organizzativo in favore di una maggiore strutturazione dei flussi di lavoro e della creazione delle condizioni per l'ottimizzazione dell'uso dei big data a supporto dei processi decisionali;
- gli ostacoli all'accesso di dati provenienti da fonti multiple dovuti alla diffidenza di molte organizzazioni alla condivisione dei dati;
- le caratteristiche strutturali di alcune industrie, caratterizzate da una scarsa intensità competitiva e trasparenza delle performance, in cui le barriere allo sfruttamento dei benefici dei big data risultano maggiori. Questo è ad esempio il caso del settore pubblico in cui la scarsa competitività tende ad impattare negativamente sull'efficienza e la produttività rallentando il processo di gestione e valorizzazione dei Big Data.

1.3.2. Prime esperienze applicative dei Big Data nel settore dell'infomobilità

I Big Data assumono un ruolo strategico in tutti i settori produttivi ed in particolare in quelli ad elevato contenuto informativo quale il settore bancario e finanziario, quello sanitario, oltre a dischiudere importanti opportunità di creazione di valore da parte del sistema pubblico non solo da un punto di vista economico ma anche sociale. La gestione dei Big Data rappresenta ad esempio un asset importante per la creazione delle cosiddette "smart cities": la raccolta di dati attraverso il ricorso a sensori integrata al trasporto dei dati, le transazioni finanziarie, la localizzazione degli utenti, l'interazione sui social network fornirà una dimensione completamente nuova di pensare al funzionamento di una città. Gestire i dati in modo efficace apre un vasto campo di opportunità per le città, contribuendo al miglioramento dei servizi per il cittadino, abilitando strategie di trasporto context sensitive e "on demand", ottimizzando la gestione della domanda energetica, un approccio più olistico e preventivo ai servizi sanitari, etc.

Concentrandoci sul settore dei trasporti, l'affermazione dei Big Data e delle analisi rappresenta un'importante opportunità per rendere i veicoli e le infrastrutture molto più smart.

Una prima esperienza di utilizzo dei Big Data per la guida intelligente, riportata dal Big Data Insight Group (2012), è quella della casa automobilistica di svedese Volvo.

L'impresa infatti disloca centinaia di strumenti di monitoraggio sulla vettura che registrano le frequenze di rumore e vibrazione dei componenti e le condizioni – sia ecologiche che connesse alla guida – alle quali è soggetto il veicolo. In questo modo è possibile effettuare in fase di manutenzione dei check diagnostici per tutti i componenti. Le informazioni raccolte sono essenziali oltre che a fornire un servizio di assistenza al cliente ad alto valore aggiunto, ai fini di testing e perfezionamento dei modelli di autoveicoli in quanto consentono di identificare i fattori di debolezza di ogni particolare modello. La Volvo è in fatti in grado di effettuare una cross analysis delle misure di performance dei componenti con i dati di geo-localizzazione e le condizioni di guida al fine di individuare i fattori di criticità di ciascun componente in qualsiasi condizione ambientale.

Altre interessanti potenzialità dei Big Data sono connesse alla possibilità di combinare i sistemi di navigazione satellitare e GPS ed i dati relativi al traffico forniti in tempo reale. Un interessante progetto su tale tema è stato sviluppato dall'Università di Newcastle nell'ambito del progetto europeo "Euro Compass 4D"¹. Il progetto mira alla creazione di un sistema che consente agli autisti su strade del centro cittadino di identificare la velocità di crociera ideale per evitare di doversi fermare lungo il percorso. In questo modo si assicura un traffico sempre scorrevole che evita situazioni di congestionamento ed al contempo benefici ambientali visto che la produzione più significativa di polveri inquinanti avviene al mento della ripartenza del veicolo. Il punto di forza di tale progetto risiede nella possibilità oggetto di sperimentazione di acquisire le informazioni sul traffico direttamente dal guidatore.

Particolare attenzione viene infine prestata agli strumenti di comunicazione a supporto dello scambio di informazioni tra veicolo e veicolo (V2V) e veicolo e infrastruttura (V2I). Il più citato beneficio connesso alla comunicazione V2V concerne la prevenzione delle collisioni. La comunicazione tra veicoli consente lo scambio di informazioni tra posizione e velocità consentendo agli autisti di poter tempestivamente intervenire per prevenire gli incidenti. Anche la comunicazione V2I è riconosciuta come in grado di offrire un servizio simile, consentendo di informare ad esempio gli automobilisti sullo status del traffico con dei supporti elettronici dislocati sulle strade. Altri potenziali utilizzi di questa forma di comunicazione evidenziati dagli esperti di settore sono a fine pubblicitario ma anche di sicurezza pubblica consentendo l'accesso

¹ <http://www.ncl.ac.uk/press.office/press.release/item/satnav-to-ease-congestion-in-our-cities#.UZUb10pz5CB>

alle autorità ad informazioni in tempo reale relative agli eccessi di velocità o ad altre infrazioni (Young, 2013). Tra le prime applicazioni che sfruttano la comunicazione V2I rientrano ad esempio OnStar di GM e i sistemi ConnectedDrive di BMW. Entrambe le case automobilistiche dotano le vetture di sistemi intelligenti di segnalazione di incidenti che attivano automaticamente una chiamata ai servizi di emergenza in caso di incidente. I sistemi forniscono una localizzazione precisa e i dettagli della vettura. Nel caso della BMW il call center operativo contatta immediatamente il conducente per avere informazioni sulle lesioni riscontrate e sul posizionamento dei passeggeri nella vettura.

Un limite di questo approccio può essere identificato in una rigidità nell'utilizzo delle informazioni disponibili, nel senso che l'informazione inviata dall'automobilista viene utilizzata per offrire un servizio esclusivamente al medesimo utente.

Il lavoro svolto in questo progetto di tesi sarà proprio mirato a comparare alcuni aspetti delle capacità prestazionali dei modelli V2V e V2I ipotizzando per quest'ultimo una architettura di sistema che consenta, sfruttando le potenzialità fornite dalla rete di telefonia mobile, l'aggregazione di tutti i dati raccolti dai veicoli al fine di trarne una serie di informazioni insorgenti di interesse per la gestione del traffico e la redistribuzione di queste ultime ai conducenti in maniera dinamica e flessibile.

1.4. Trasformare la rete di telecomunicazione in uno smart environment

Il progetto alla base di questo lavoro, sviluppato insieme a Telecom Italia, mira allo sviluppo di una piattaforma in cui l'autoveicolo è visto come una entità in grado di fornire un'ampia gamma di dati e di convogliarle attraverso la rete di telefonia mobile ad un unico centro di elaborazione che provvede ad aggregarle in BigData in modo da poter rendere disponibili tali informazioni a quanti vorranno utilizzarli per l'implementazione di servizi di infomobilità. L'intento è quello di accrescere le funzionalità della rete di telecomunicazioni arricchendola di una capacità di sensing sullo stato del traffico veicolare e generare così nuove opportunità di business e di creazione di valore. In tutti i sistemi ITS attualmente in uso il ruolo giocato dalla rete di telecomunicazione è infatti limitato al mero trasporto delle informazioni verso gli autoveicoli, generate da applicazioni che lavorano ad un più alto livello di astrazione.

Il modello che qui si vuole indagare rende invece la rete di TLC un aggregatore dei dati sul traffico ed un provider di informazioni necessarie alle applicazioni ITS, consentendo così di

trasformare la rete in un sistema assimilabile ad un SDK (Software Development Kit) su cui costruire i veri e propri servizi di assistenza al traffico veicolare.

Nel suo complesso l'intera struttura formata dagli autoveicoli, dalla rete di telefonia mobile, dai dispositivi per la memorizzazione e l'elaborazione dei big data potrà consentire di trasformare un autoveicolo in uno smart-environment, ossia in un microcosmo in cui una moltitudine di dispositivi intelligenti interagiscono al fine di rendere l'ambiente più sicuro e confortevole per i viaggiatori. Gli operatori di telefonia potrebbero così entrare in un nuovo mercato e farlo imponendosi con un ruolo decisivo per l'implementazione dei servizi.

Le nuove potenzialità della rete mobile in termini di business individuate andranno però suffragate da valutazioni sulle capacità prestazionali dell'architettura in questione. In particolare bisognerà verificare la capacità di svolgere l'intera elaborazione in tempi compatibili con le esigenze dettate dalla natura stessa dei fenomeni reali su strada e stimare quanto queste siano competitive nei confronti delle prestazioni raggiungibili mediante diverse architetture di sistema, quali in particolare le comunicazioni Vehicol to Vehicol (V2V). A tal riguardo, obiettivo del lavoro di tesi è in la realizzazione di simulazioni atte a comparare le prestazioni in termini di tempi di trasmissione del sistema ideato, basato sostanzialmente su una architettura del tipo V2I2V (Vehicol to Infrastructure to Vehicol), con quelle ottenibili mediante un modello del tipo V2V (Vehicol to Vehicol), rappresentato mediante l'apposito protocollo IEEE 802.11p.

1.4.1. Descrizione del sistema

L'architettura su cui si intende sviluppare questo progetto è composta da una molteplicità di elementi che implementando ciascuno una distinta funzionalità concorrono alla realizzazione di una unica piattaforma da mettere a disposizione degli sviluppatori di applicazioni di ITS.

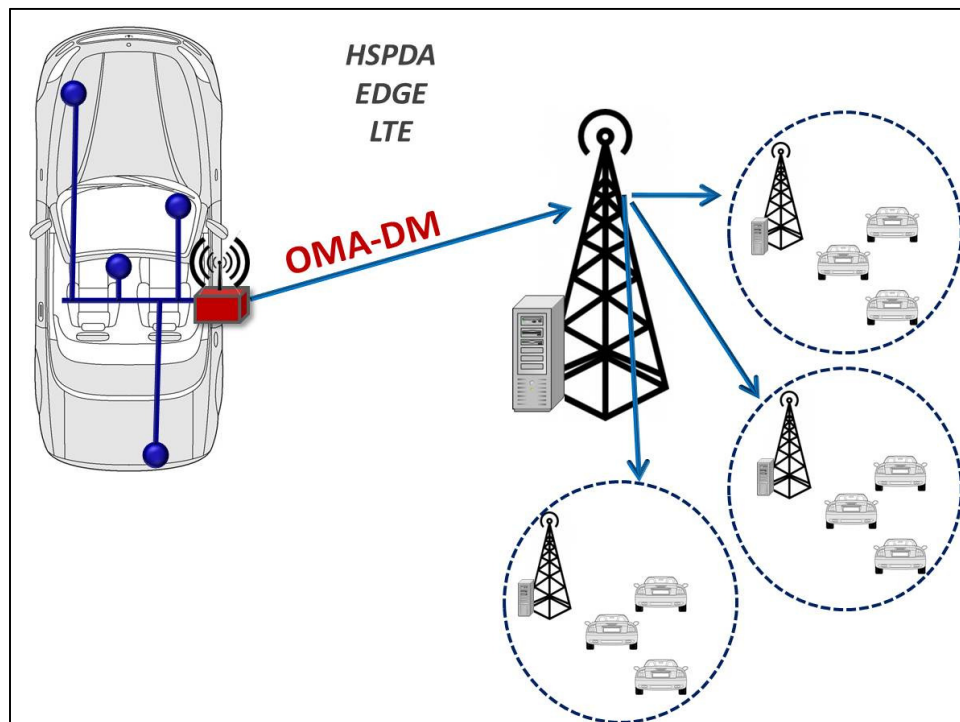


Figura 1: Architettura di sistema

I singoli dati sul veicolo vengono acquisiti dai numerosi sensori di cui sono dotati i moderni autoveicoli. Esempi tipici della capacità di sensing già disponibile all'interno di un autoveicolo sono il sensore degli airbag, di accensione dei fari, di freno a mano innestato ecc...

Tutti questi segnali sono convogliati su di un unico bus sul quale si prevede di interfacciare (mediante un accordo di Telecom con le principali case automobilistiche) un wireless router in grado di convogliare attraverso la rete mobile questi dati alla Base Station costituita dal trans-ricevitore della cella su cui il veicolo sta transitando.

In questo punto della catena trasmissiva avviene il processo di aggregazione ed elaborazione dei dati provenienti da tutti i veicoli che determina la creazione dei BigData e l'aggiornamento in tempo reale. Questa operazione di organizzazione dei dati provenienti dai singoli autoveicoli comporta l'inserimento di un sistema informatico di Cloud Computing che in una prima fase è possibile ipotizzare interamente accentrato in una unica unità ma che, in seguito, dovrebbe essere sviluppato in modo che il peso computazionale sia dislocato su diversi dispositivi distribuiti in più punti della rete realizzando il concetto di Cloud Computing distribuito.

La necessità di introdurre il paradigma del Cloud Computing distribuito all'interno di una architettura di questo tipo nasce dal dover trovare opportune risposte alla possibile insorgenza di due tipologie di criticità:

- La creazione di un unico nodo di elaborazione renderebbe il sistema per nulla robusto all'evenienza di un guasto. La caduta di questo nodo determinerebbe infatti l'arresto di tutte le funzionalità del sistema;
- Anche in caso di perfetto funzionamento del nodo di elaborazione esso costituirebbe comunque un potenziale collo di bottiglia che in caso di picchi di traffico rallenterebbe il flusso di elaborazione sull'intera rete.

Esistono inoltre motivazioni di carattere commerciale che incentivano l'adozione di un approccio di questo tipo:

- L'architettura centralizzata può essere realizzata da qualunque player del settore dei servizi di infomobilità (in particolare tutti gli sviluppatori di applicazioni basate su un approccio di tipo "social") mentre l'architettura distribuita può essere prerogativa solo di chi possiede rete di raccolta ed elaborazione informazioni capillare;
- Questo nuovo paradigma di servizio distribuito e di architettura distribuita rende l'operatore mobile non più un mero fornitore di connettività (pipe) ma permette all'operatore di entrare nella catena del valore del servizio finale ponendolo in relazione diretta con chi fornirà il servizio finale.

Una volta ottenuti i BigData, si prevede di metterli a disposizione, attraverso la stesura di apposite API, degli IT provider che si occuperanno di sviluppare le applicazioni. Quest'ultimi trarranno dalla massa di informazioni fornite, quelle più utili per gli automobilisti (ad esempio: incidenti o code su un determinato arco stradale, presenza di nebbia, segnalazione di zone di parcheggio ecc..) e si occuperanno anche di decidere quali di queste informazioni trasferire a ciascun utente al fine di gestire al meglio le criticità rilevate. E' infatti di estrema rilevanza prevedere una redistribuzione intelligente degli allarmi e delle segnalazioni in modo mirato su aree geografiche ritenute di interesse per la gestione di ogni specifica criticità. Una prima ipotesi consiste nell'utilizzare tecnologie diffusive della rete mobile quali il Cell Broadcast attraverso semplici contenuti testuali o embms per la diffusione di contenuti multimediali, tecniche che consentono di informare rapidamente tutti gli utenti che si trovano all'interno di una certa area di copertura del servizio.

Il passo successivo potrebbe essere quello di prevedere meccanismi che consentano di selezionare sottogruppi di veicoli ai quali fornire il servizio in forme differenziate in base alle loro effettive necessità .

Consideriamo lo scenario in cui, attraverso l'elaborazione dei BigData, l'applicazione rilevi la presenza di un incidente in uno specifico punto della rete stradale. L'informazione della presenza di una o più auto ferme lungo la strada costituisce una importantissima risorsa per la sicurezza di tutti quei veicoli che si trovano a transitare in prossimità del punto dell'impatto. Per questi veicoli dunque la disponibilità e la tempestività dell'informazione sono dirimenti. Per veicoli che invece al momento dell'incidente si trovano in celle adiacenti a quella da cui è coperto il tratto di strada interessato la necessità di ricevere istantaneamente il segnale d'allarme risulta meno pressante ma l'informazione è ancora molto importante perché potrebbe ad esempio consentire un cambiamento del percorso stabilito col vantaggio di non essere bloccati dalla coda generata dall'incidente. Potrebbe rivelarsi di grande importanza anche differenziare il contenuto informativo trasferito ai veicoli che ricadono in questa seconda casistica poiché spingendo tutte le macchine a non percorrere il tratto di strada bloccato le si potrebbe indurre a spostarsi in blocco sui tratti di strada adiacenti col risultato di minimizzare la coda immediatamente dietro il punto dell'impatto ma trasferendo il disagio sulle strade che fungono da percorso alternativo. Infine consideriamo una terza categoria di autoveicoli, quelli che al momento dell'incidente si trovano in celle molto lontane dal luogo dell'incidente ed il cui percorso di viaggio non prevede il transito in tratti stradali interessati dalla deviazione dei flussi di traffico. Per i conducenti di tali veicoli ricevere il segnale di un allarme che non ha nessuna relazione con il loro percorso di viaggio non è soltanto inutile ma potrebbe paradossalmente rivelarsi una fonte di pericolo poiché la sua ricezione potrebbe portare ad un abbassamento della loro attenzione alla guida.

L'architettura da noi ipotizzata consente una gestione dinamica di questi aspetti mediante la messa a disposizione degli sviluppatori della totalità dei Big Data aggiornati in tempo reale. La loro disponibilità consente infatti di elaborare le strategie di distribuzione degli allarmi tenendo conto non solo del singolo dato ma dello stato della rete stradale nel suo complesso. La differenziazione del contenuto informativo intra-cella è consentita dalla caratteristica del wireless router di essere univocamente identificabile e indirizzabile in quanto dotato di una sim-card. Conseguentemente la rete mobile lo riconosce come un qualunque dispositivo cellulare.

2. Il confronto prestazionale dell'approccio V2V con quello V2I2V per via simulativa

2.1. Due approcci a confronto

L'ipotesi di trasformazione della rete di telecomunicazione in una piattaforma di sviluppo per servizi di infomobilità, sfruttando la possibilità di raccogliere direttamente dai veicoli le informazioni sul traffico, rielaborarli e metterli a disposizione dei veri e propri sviluppatori dei servizi, ha bisogno di essere sostenuta mediante una prima valutazione per via simulativa delle prestazioni che essa può fornire in una serie di casi d'uso che possano essere ritenuti sufficientemente significativi. C'è bisogno dunque di identificare una serie use cases su cui porre a confronto le due possibili tipologie di architetture: V2V e V2I2V.

La nostra scelta è ricaduta su due casi d'uso:

- presenza di pioggia lungo il tragitto;
- incidente.

Questi due casi d'uso appaiono di particolare significatività in quanto rappresentativi di un'ampia gamma di altri possibili servizi.

Lo use case legato al verificarsi di un incidente può essere infatti interpretato come esemplificativo di tutti quei contesti in cui si ha la necessità di trasmettere ai conducenti l'informazione di un singolo evento avvenuto lungo la strada. Un singolo evento che però ha la caratteristica di avere un forte impatto invalidante sullo scorrimento del traffico lungo uno specifico tratto di strada e dunque fa nascere la necessità di avvisare prima possibile i veicoli che sopraggiungono in quel punto per salvaguardare innanzitutto l'incolumità dei viaggiatori, ma anche per evitare il formarsi di ingorghi e code.

Il secondo use case che andremo ad indagare può invece essere visto come un esempio di tutta una classe di situazioni nelle quali l'informazione che si vuole indirizzare verso i conducenti è meno puntuale e riguarda l'avviso di avverse condizioni di viabilità su una area abbastanza diffusa. Sotto questa categoria potrebbero essere inclusi tutti i casi di avverse condizioni meteorologiche o anche di pessimo stato del manto stradale. Tutte queste criticità hanno in comune il fatto di essere spazialmente diffuse e dunque potenzialmente rilevate e segnalate da molti utenti anche molto distanti fra loro. Per questo sarà necessario prevedere una forma di intelligenza in grado di raggruppare le informazioni per capire quando le segnalazioni di questo tipo sono da ritenersi affidabili. E' infatti impossibile pensare che in questi casi

ciascuna singola segnalazione sia riportata a tutti gli utenti poiché questi si troverebbero ad essere continuamente inondati da allarmi, che spesso potrebbero anche non essere per loro rilevanti, con grande rischio di generare un inutile distoglimento della loro attenzione dalla guida.

2.2. Approccio V2V

2.2.1. Introduzione

Per quanto concerne l'approccio V2V si è deciso di testare l'utilizzo del protocollo IEEE 802.11p appositamente predisposto per questo tipo di comunicazioni.

In questo paragrafo saranno dunque descritte le ipotesi, gli strumenti software utilizzati e i risultati ottenuti dalle simulazioni. E' importante sottolineare sin da ora che, come ampiamente discusso nel precedente capitolo, lo scopo di questo lavoro non è testare la bontà dello specifico protocollo utilizzato bensì porre a confronto due diversi approcci alla realizzazione di servizi di infomobilità.

Questo risulterà più evidente quando si entrerà nel dettaglio dei parametri da valutare durante le simulazioni ma si può anticipare però che non si porrà l'attenzione sui parametri tipici della valutazione di un sistema di TLC in senso stretto (ad esempio: valutazione del throughput complessivo o dei tempi medi di stazionamento dei pacchetti nelle code al variare del carico di traffico offerto alla rete, ecc...) ma si andranno a misurare grandezze relative alla bontà del servizio percepibile dall'utente finale, valutando le prestazioni in base al numero di utenti che si riescono effettivamente a raggiungere, le tempistiche e le modalità. Ciò vuol dire che le simulazioni saranno effettuate mantenendo costanti i parametri di trasmissione (potenza di emissione, sensibilità del ricevitore, ecc..) e variando grandezze come la densità di traffico e la velocità dei veicoli. Questo tipo di approccio sarà successivamente mantenuto per dare una misura delle prestazioni che si possono invece raggiungere attraverso una architettura di rete che preveda la presenza di una infrastruttura centrale in grado di raccogliere, elaborare e ritrasmettere le informazioni ricevute da tutti i nodi della rete. Questo secondo gruppo di simulazioni sarà presentato nel paragrafo 2.3.

In questo paragrafo sarà inizialmente fornita una descrizione di massima dei meccanismi di comunicazione previsti dal protocollo IEEE 802.11p e degli strumenti software utilizzati per le simulazioni. Successivamente si entrerà più specificatamente nel dettaglio delle ipotesi sotto

le quali si è deciso di simulare. Verranno infine esposti e commentati i risultati ottenuti riferendosi prima allo use case legato alla pioggia e poi a quello relativo all'incidente.

2.2.2. Protocollo 802.11p

Il Protocollo 802.11p costituisce una variante del protocollo 802.11 prodotta per gestire le specifiche criticità delle comunicazioni fra veicoli. Le applicazioni di sicurezza basate sulla comunicazione diretta fra gli autoveicoli possono essere realizzate esclusivamente se è possibile avere tempi di connessione molto bassi prima che un veicolo possa effettivamente trasmettere il proprio messaggio ad un altro incontrato lungo la strada. Questo vale anche per le applicazioni non strettamente legate alla sicurezza poiché anch'esse hanno bisogno di avere efficienti prestazioni in termini di tempo di configurazione della connessione fra i veicoli e RDS (Road Side Station) che forniscono i vari servizi (ad esempio l'aggiornamento di mappe stradali) poiché il tempo durante il quale i veicoli in marcia transitano nell'area di copertura della Road Side Station è molto limitato. Inoltre la rapidità dei movimenti dei veicoli e la complessità dell'ambiente stradale rappresentano sfide anche al livello fisico dei protocolli utilizzati.

Come riportano Jiang e Delgrossi(2008) il processo di standardizzazione dell' 802.11p WAVE trae origine dall'allocazione di 75Mhz dello spettro DSRC (Dedicated Short Range Communications) a 5.95 GHz all'uso esclusivo per le comunicazioni Vehicle- to -Vehicle e Vehicle-to-Infrastructure, fatta dalla Federal Communication Commission (FCC). Le regole per l'uso dello spettro sono state sviluppate sulla base di un ampio lavoro di testing e analisi delle comunicazioni wireless in ambiente mobile svolte dal gruppo di lavoro denominato ASTM E2213-03. I risultati del lavoro di questo gruppo furono raccolti in un documento denominato: Standard specifications for Telecommunications and Information Exchange Between Road Side and Vehicle Systems- 5.9GHz Band Wireless Access in Vehicular Ambient (WAVE)/Dedicated Short Range Communications (DSRC) Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. Il protocollo 802.11p ha conservato la compatibilità tecnica con quanto specificato in questo documento (IEEE 2010).

L'inserimento dello standard DSRC all'interno dello spazio dell'IEEE 802.11 ha portato WAVE a diventare uno standard internazionale applicabile non solo negli USA ma anche in altre parti del mondo.

Le modifiche all'impianto del protocollo 802.11 (varato nel 2007) introdotte per adattarlo al caso specifico delle comunicazioni veicolari sono state raccolte in un Emendament denominato: Wireless Access in Vehicular Environment (WAVE) (IEEE, 2010).

Questo emendamento, approvato nel giugno 2010, introduce delle specificazioni che riguardano il livello fisico e il livello MAC (Medium Access Control) del protocollo.

Lo scopo di questo emendamento è quello di fornire il minimo set di specifiche necessario a garantire l'interoperabilità fra dispositivi wireless che devono comunicare in ambienti in grado potenzialmente di variare rapidamente ed in situazioni nelle quali la comunicazione deve essere completata in tempi più brevi di quanto possibile con reti IEEE 802.11 sia con infrastruttura che ad hoc.

In particolare l'emendamento si occupa dei casi in cui i tempi sono minori di quelli richiesti per eseguire l'associazione e l'autenticazione per collegarsi ad un BSS (Basic Service Set) nella maniera prevista dallo standard 802.11.

Riprendendo la descrizione dello standard effettuata da Jiang e Delgrossi (2008), per quanto riguarda il livello fisico, la filosofia con cui è stato disegnato il protocollo 802.11p è stata quella di minimizzare i cambiamenti dell'impianto generale introducendo esclusivamente quelli strettamente necessari a far sì che i dispositivi possano effettivamente realizzare la comunicazione fra veicoli in rapido movimento lungo le strade. Pertanto si è partiti dalle specifiche dell'IEEE 802.11a che già prevedeva una frequenza di lavoro a 5GHz che poteva abbastanza facilmente essere spostata fino ai 5.9GHz già allocati negli U.S.A. La volontà di introdurre il minor quantitativo possibile di novità a livello fisico è facilmente intuibile considerando che mentre a livello MAC le modifiche implicano sostanzialmente l'aggiornamento a livello software, cosa abbastanza semplice da realizzare, stravolgimenti del livello fisico determinerebbero la necessità di ridisegnare interamente le tecnologie dei dispositivi. Pertanto il protocollo IEEE 802.11p conserva la prerogativa dell'802.11a di essere basato sullo schema di modulazione OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing). Sono state tuttavia introdotte variazioni riguardanti tre aspetti:

- il miglioramento delle performance richieste ai ricevitori;
- una ridefinizione dell'ampiezza dei canali;
- una revisione delle maschere di emissione.

Riguardo al primo aspetto le modifiche sono state necessarie poiché alcune campagne di misura avevano mostrato come l'ambiente stradale può essere molto più difficoltoso di altri sotto il punto di vista della interferenza inter-canale soprattutto in condizioni di traffico intenso.

Per questo l'emendamento 802.11p introduce alcune richieste sulle performance del ricevitore nella capacità di separazione dei canali adiacenti.

La ridefinizione dell'ampiezza dei canali invece risponde a due necessità: il mantenimento della compliance con quanto normato negli U.S dalla F.C.C. e la necessità di adeguare i tempi di guardia alle specificità dell'ambiente di trasmissione veicolare.

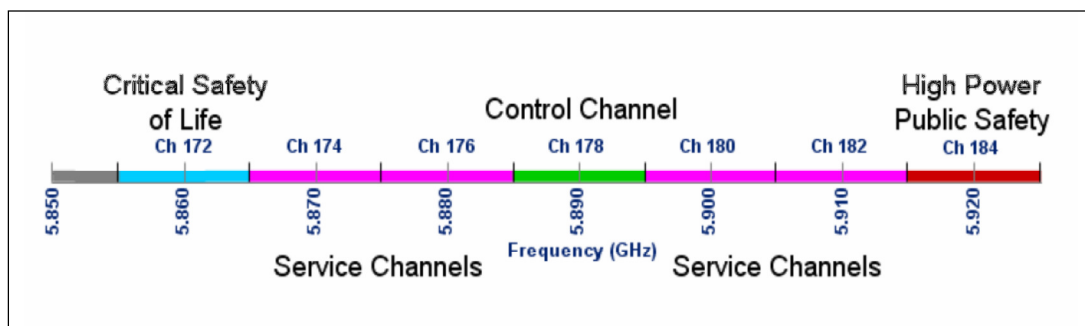


Figura 2: Spettro della banda e dei canali DSRC in USA (Jiang e Delgrossi, 2008)

La figura 2 mostra la suddivisione dello spettro DSRC in 7 canali, ciascuno dei quali di ampiezza 10MHz. I canali evidenziati in viola sono liberamente disponibili per qualunque tipologia di servizio mentre i canali 172 e 184 sono adibiti all'uso esclusivo per servizi di sicurezza, il canale 178 è impiegato come canale di controllo.

La necessità di modificare le maschere di emissione originariamente previste è legata ancora alla necessità di aderire alle regole dettate dall'FCC. Quest'ultima, infatti, aveva stabilito quattro maschere per lo spettro DSRC a 5.9 GHz che prevedono vincoli sostanzialmente più stringenti rispetto a quelli imposti dall'IEEE 802.11a.

A livello MAC l'IEEE 802.11p conserva la tecnica di accesso CSMA/CA ma sono modificate le modalità con cui vengono aggregati i dispositivi in gruppi all'interno dei quali essi possono comunicare. L'unità base di aggregazione di questi gruppi, prevista dall'IEEE 802.11p è il BSS (Basic Service Set). Le radio all'interno di ciascun BSS possono liberamente comunicare fra loro mentre vengono filtrate tutte le trasmissioni provenienti da dispositivi agganciati a BSS differenti.

Il meccanismo attraverso il quale sono aggregati i dispositivi nell'802.11p implica la necessità di prevedere un overhead che risulta eccessivamente pesante per l'ambiente DSRC. Le modifiche apportate dall'IEEE 802.11p a livello MAC hanno proprio come obiettivo la riduzione del peso dell'overhead e l'introduzione di modalità di configurazione dei gruppi di

dispositivi più efficienti. Il fine è dunque di semplificare le operazioni di creazione e mantenimento dei BSS in modo da renderne possibile l'utilizzo nelle comunicazioni fra veicoli in movimento.

Per poter meglio spiegare perché ci sia bisogno in ambiente veicolare di un approccio più snello e per poter comprendere le modalità con cui esso viene ottenuto Jiang e Delgrossi (2008) forniscono una panoramica dei meccanismi previsti nello standard IEEE 802.11. e successivamente una descrizione delle modifiche introdotte dall'emendamento 802.11p.

Come già accennato precedentemente col termine BSS viene indicato un insieme di radio IEEE 802.11 ancorate al medesimo Access Point (AP) e configurate in modo da poter comunicare fra loro. L'autenticazione e l'associazione di una radio ad un BSS avvengono mediante una serie di steps che iniziano con l'ascolto del canale da parte della radio medesima al fine di rilevare i beacons emessi dall'Access Point. Una volta terminata l'intera procedura interattiva esse risultano unite al BSS identificato dall'Access Point. questo consente loro l'accesso alle risorse e ai servizi forniti dall'AP mentre le isola da tutte le trasmissioni delle radio agganciate ad altri BSS vicini.

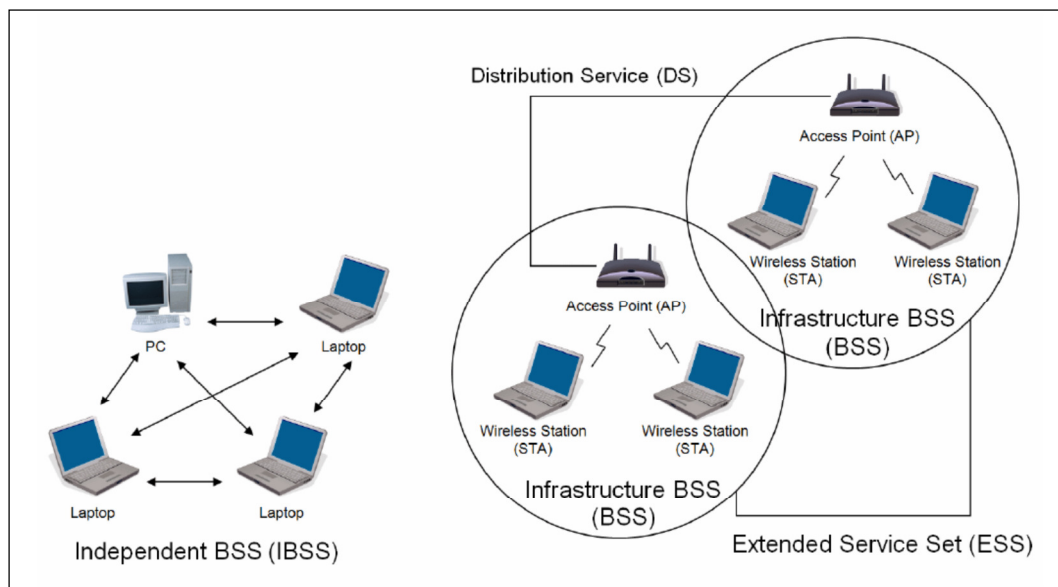


Figura 3: Concetti di Independent Services Set - ISS e Extended Service Set – ESS (Jiang e Delgrossi, 2008)

La figura 3 mostra come lo standard 802.11 consenta anche l'aggregazione di diversi BSS in una struttura denominata ESS (Extended Service Set). Le comunicazioni fra i diversi BSS avvengono mediante un meccanismo chiamato Distribution Service.

Ogni BSS può essere individuato dagli utenti attraverso il Service Set Identification (SSID), un identificativo la cui lunghezza è compresa fra 0 e 32 Bytes univocamente legato all'Access Point al quale il BSS è agganciato.

A differenza del SSID, il BSSID (Basic Service Set Identification) è il nome attribuito al BSS per il riconoscimento a livello MAC e per questo ha un campo lungo 48-bit come l'indirizzo MAC. Il BSSID deve essere condiviso da tutti i dispositivi che fanno parte del BSS e deve mantenere con esso una corrispondenza univoca. Il metodo utilizzato per garantire questa proprietà consiste semplicemente nell'utilizzare come BSSID l'indirizzo MAC dell'Access Point.

Ogni dispositivo può quindi effettuare la verifica del BSSID dei frames ricevuti per attuare, a livello MAC, il filtraggio di tutte le radiocomunicazioni provenienti da dispositivi che non sono membri del suo stesso BSS.

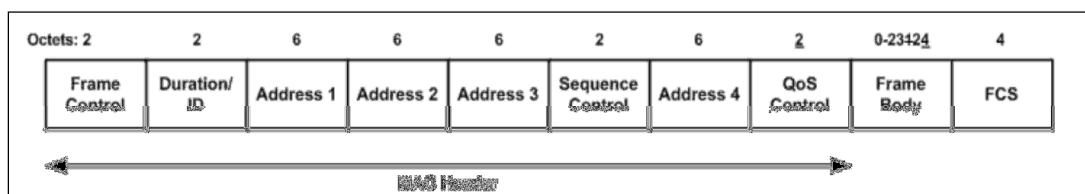


Figura 4: Il format del data frame dell'IEEE 802.11 (Jiang e Delgrossi, 2008)

In figura 4 è riportata la struttura dei data frame del protocollo IEEE 802.11. Essa comprende quattro campi indirizzo utilizzati per trasportare:

- il source address (SA);
- il destination address (DA);
- il transmitting address (TA);
- il receiving address (RA);
- il BSSID.

Si tratta dunque di riportare cinque diversi identificativi su quattro campi e questo è reso possibile dal fatto che l'uso dei quattro campi d'indirizzo differisce in funzione del valore assunto dai bit "To DS" (Distribution Service) e "From DS" contenuto nel campo Frame

Control. Ognuno dei quattro valori che questi due bit possono congiuntamente assumere definisce una diversa tipologia di frame per la quale i campi possono essere di volta in volta interpretati come identificativi diversi. Per i messaggi in ricezione comunque il BSSID, quando presente, è contenuto nel campo Address 1 ed è quindi verificando questo campo che ogni dispositivo può accertarsi che il frame in questione sia stato originato da una radio appartenente al suo stesso BSS.

Il protocollo IEEE 802.11 prevede anche l'esistenza di un BSSID jolly che è composto da tutti 1. Il suo utilizzo è però limitato esclusivamente alle operazioni di ricerca degli Access Point raggiungibili e dunque non è sfruttabile per la trasmissione di frame contenenti informazione.

I meccanismi di aggregazione dei dispositivi a livello MAC fin qui descritti comportano un eccessivo dispendio di tempo e questo li rende inutilizzabili in un protocollo mirato alla comunicazione fra veicoli in movimento. Le comunicazioni in contesti in cui i dispositivi hanno una mobilità molto elevata, in particolar modo se riguardano la sicurezza dei veicoli e dei loro passeggeri, devono garantire che lo scambio di dati avvenga in maniera pressoché istantanea perché la segnalazione di un allarme sia efficace e consenta di evitare il pericolo. Le tempistiche necessarie all'ascolto del canale per la rilevazione dei beacons, all'individuazione degli Access Point raggiungibili e al completamento di una fase di handshake (scambio di segnali tra due strumenti all'inizio della comunicazione al fine di assicurare la sincronizzazione) molto lunga, non sono compatibili con l'ambiente delle comunicazioni fra veicoli in movimento.

Per questo tipo di comunicazioni è essenziale che tutti i dispositivi operino di default, sul medesimo canale e siano configurati con lo stesso BSSID per poter immediatamente trasmettere e ricevere. La realizzazione di questi obiettivi è l'oggetto delle modifiche introdotte dal protocollo IEEE 802.11p e lo strumento utilizzato per adattare i meccanismi previsti dall'802.11 alle esigenze delle comunicazioni veicolari è l'introduzione del termine "Wave mode". Viene introdotto un nuovo tipo di BSS: il WBSS (Wave BSS). Ogni stazione può annunciare la creazione di un WBSS semplicemente emettendo un unico beacon che viene gestito nei livelli superiori a quelli di competenza del protocollo IEEE 802.11. Il beacon di annuncio di un WBSS è contenuto in un beacon frame e quando ricevuto da un secondo utente è in grado di fornirgli tutte le informazioni necessarie per poter comprendere la tipologia del WBSS che rappresenta e i servizi che esso può erogarli. Questo secondo dispositivo può in fine, sulla base di un solo beacon ricevuto, decidere se è interessato ad aggregarsi al WBSS e, nel

caso, farlo semplicemente riconfigurandosi come suo membro, senza aver bisogno di ulteriori interazioni.

L'aver saltato tutte le fasi di associazione e autenticazione dei dispositivi produce il doppio vantaggio di aver minimizzato i tempi necessari alla realizzazione delle precondizioni necessarie alla vera e propria trasmissione delle informazioni fra i veicoli e di consentire di avere un overhead estremamente basso per il setup del WBSS.

Il protocollo 802.11p prevede anche una estensione dell'uso del BSSID jolly che può essere utilizzato anche da stazioni che abbiano già aderito ad un WBSS (configurandosi col suo BSSID specifico) per trasmettere in modalità broadcast a tutti i dispositivi vicini. Questi frames potranno essere ricevuti correttamente anche da quelle stazioni che sono configurate in WBSS differenti da quella cui appartiene il nodo che ha trasmesso.

L'introduzione di questo meccanismo, che consente di inviare e ricevere data frames con il BSSID jolly al di fuori del proprio BSS, è particolarmente utile nel caso di trasmissione di informazioni urgenti come quelle legate alle applicazioni di sicurezza poiché consente di scavalcare il meccanismo del Distribution Set per riuscire a trasmettere immediatamente anche a dispositivi configurati in altri BSS.

L'introduzione di queste modifiche alle regole di instaurazione dei collegamenti fra le diverse radio consente in definitiva la trasmissione immediata in modalità broadcast dei data frames in maniera tale che, senza alcun preventivo passo di handshake, tutte le stazioni nel raggio di copertura possano correttamente riceverli a patto di essere in ascolto sullo stesso canale. Questo aspetto limiterebbe le possibilità di ottenere una piena interoperabilità con quanto già normato dalla FCC negli U.S.A. La FCC infatti aveva già stabilito una suddivisione della banda dedicata ai servizi DSRC in sette canali. Sotto questo punto di vista lo standard IEEE 802.11p è limitato dal fatto di appartenere alla famiglia 802.11 che, essendo strettamente orientata alla standardizzazione dei livelli MAC e PHY, lavora su un unico canale logico. Per tanto tutte le funzioni necessarie alla gestione dei canali DSRC sono demandate allo standard operante al livello superiore: il protocollo IEEE 1609.

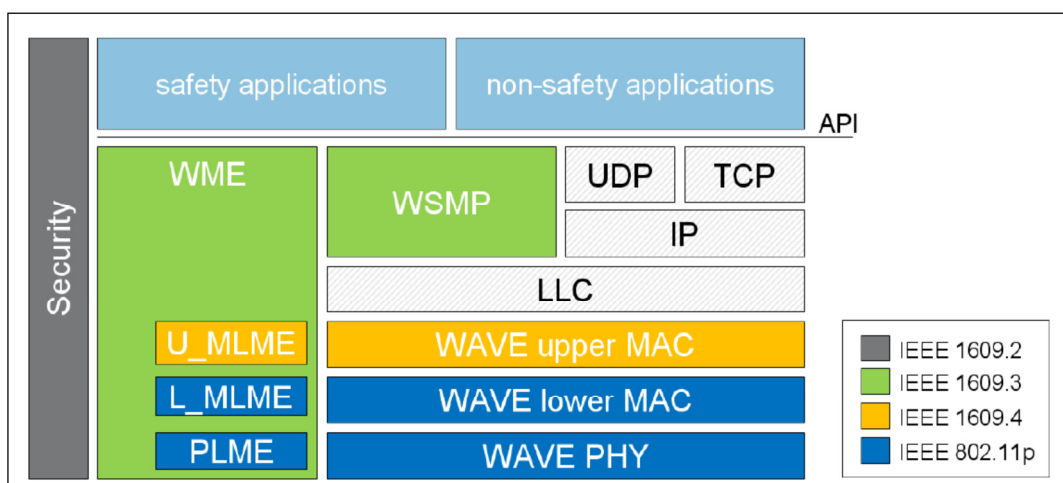


Figura 5: Standard DSRC e communication stack (Jiang e Delgrossi, 2008)

La gestione delle connessioni in modalità WAVE è svolta dal protocollo IEEE 1609.3 mentre l'IEEE 1609.4 gestisce le operazioni dei livelli superiori attraverso i multiple channel, senza aver bisogno di conoscere i parametri relativi al livello fisico. Come sarà evidenziato nel seguito, per la natura degli eventi che si vorranno simulare, si sono implementati due differenti moduli in c++ che, lavorando a livello di applicazione, avranno proprio il MAC 1609.4 come diretta interfaccia per la simulazione degli use cases della gestione dell'incidente e della presenza di avverse condizioni meteo lungo uno specifico tratto di strada.

Prima di addentrarci nei dettagli delle simulazioni effettuate, nel prossimo paragrafo saranno brevemente introdotte le caratteristiche degli strumenti software che si è deciso di adoperare.

2.2.3. Strumenti di simulazione utilizzati

Lo scenario di nostro interesse è quello dalla trasmissione di allarmi fra veicoli in movimento sulla rete stradale. In questo caso particolare i nodi della rete di telecomunicazione sono gli autoveicoli su strada e per poter correttamente testare le capacità della rete di rendere possibile l'implementazione di servizi di sicurezza affidabili occorre effettuare le simulazioni attribuendo ai nodi una mobilità il più possibile aderente alle reali condizioni di mobilità su strada. Si è pertanto deciso di adoperare un simulatore di traffico veicolare scegliendo tra i diversi disponibili quello più agevolmente collegabile al vero e proprio simulatore per le reti di comunicazione. Come simulatore di reti si è deciso di utilizzare OMNeT poiché dotato di una

apposita libreria sviluppata per il protocollo IEEE 802.11p. La scelta del simulatore di traffico veicolare è ricaduta invece su SUMO. Nei prossimi sottoparagrafi sarà fornita una agile descrizione di questo prodotto, dei moduli di raccordo che consentono l'uso congiunto con OMNet e della specifica libreria sviluppata per quest'ultimo che implementa il protocollo 802.11p.

2.2.3.1. Sumo

SUMO è un simulatore di traffico veicolare sviluppato principalmente presso l'Institute of Transportation Systems del German Aerospace Center. Si tratta di un software open source distribuito con la licenza GPL (General Public License) attraverso la piattaforma SourceForge.

Il suo nome è l'acronimo di Simulation of Urban MObility e questo indica il fatto che la sua principale vocazione sia quella di consentire lo studio dei flussi di traffico in aree urbane. A questo scopo il simulatore fornisce tutta una serie di strumenti che consentono di generare i flussi di traffico su reti stradali dalle topologie acquisibili da diverse piattaforme (Visum, OpenDRIVE, MATsim...) o generate direttamente all'interno della piattaforma stessa, ponendo l'attenzione a tutte quelle specificità del traffico urbano come la presenza di autobus di linea e impianti semaforici.

La principale caratteristica che ha reso questo prodotto utilizzabile ai fini di questo lavoro consiste nella possibilità di collegare SUMO al simulatore di reti di telecomunicazioni OMNeT all'interno del quale i veicoli possono essere interpretati come nodi di una rete di telecomunicazioni che seguono il modello di mobilità stabilito in SUMO.

Per i nostri fini inoltre non si è cercato di importare una reale rete stradale, si è preferito generarne una che avesse la topologia più semplice possibile ma che fosse al contempo sufficiente allo studio degli use case di nostro interesse. In particolare lo studio delle prestazioni raggiungibili attraverso comunicazioni V2V per servizi di sicurezza relativi alla diffusione dell'informazione di pericolo causato da incidente o da avverse condizioni meteo non richiedeva l'esigenza di gestire i complessi incroci dei flussi di traffico tipici di un ambiente cittadino ma più semplicemente la possibilità di generare il traffico lungo una singola strada e verificare con quali prestazioni si riesce a trasferire l'informazione ai veicoli utilizzando il protocollo IEEE 802.11p. La rete che si è costruita prevede inoltre la presenza di una seconda strada che è stata utilizzata per verificare, nel caso di incidente, l'effettiva acquisizione

dell'informazione da parte dei veicoli sopraggiungenti mediante un loro cambiamento di percorso al fine di evitare la coda.

In definitiva la rete che si è costruita presenta la topologia riportata in figura 6.

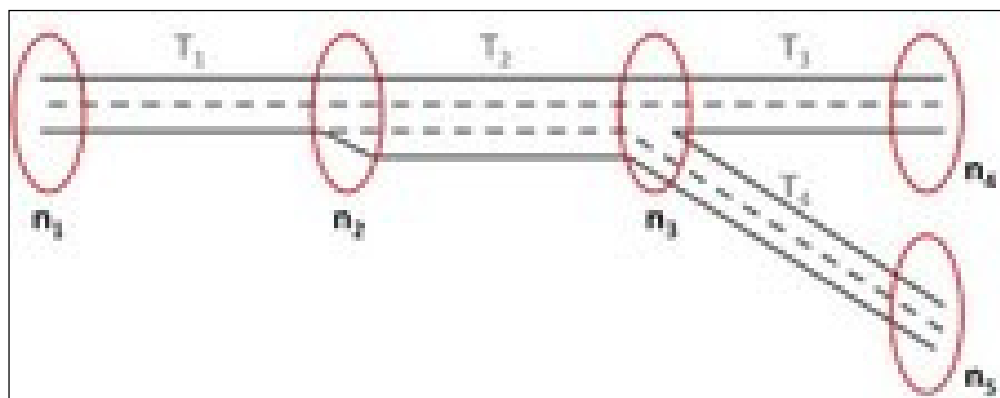


Figura 6: Topologia della rete stradale costruita

La generazione di una rete in SUMO prevede la creazione di quattro file scritti in linguaggio xml. Viene poi fornito un eseguibile (netconvert.exe) che può essere richiamato da riga di comando passandogli come parametri i path dei quattro file contenenti le indicazioni topologiche della rete e che restituisce in output il file attraverso il quale il simulatore le interpreta correttamente.

Il modo in cui tutti i file in gioco vengono denominati prevede l'utilizzo di una doppia estensione: cui la prima identifica il contenuto del file mentre la seconda (uguale per tutti) è quella vera e propria di ".xml" che consente la corretta identificazione delle righe di codice come scritte in linguaggio xml.

Il file ".net.xml" che viene generato dal modulo netconvert.exe contiene dunque solo le caratteristiche della rete in una forma correttamente interpretabile da SUMO. Per poter simulare la mobilità dei veicoli su tale rete c'è bisogno di preparare un altro file con estensione ".rou.xml" all'interno del quale vengono specificate le caratteristiche dei flussi di traffico.

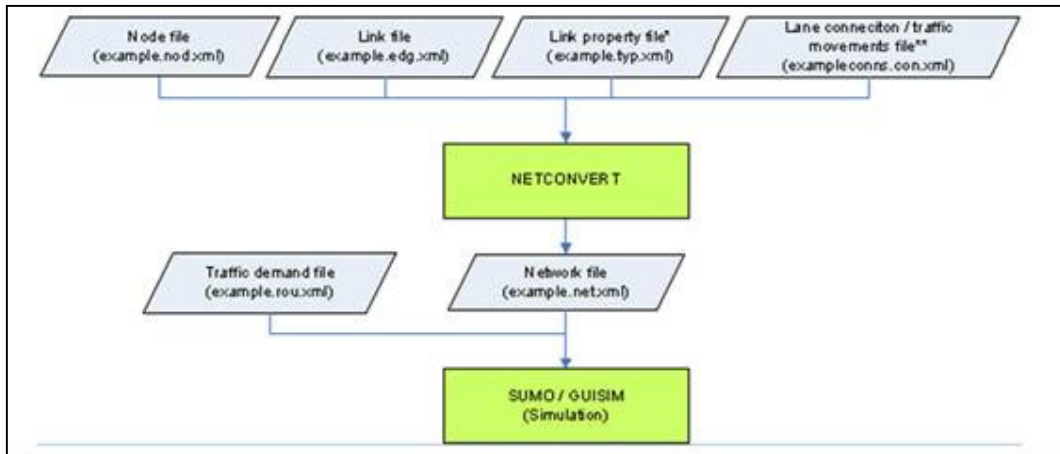


Figura 7: Organizzazione dei file per la simulazione in Sumo

Descriviamo ora più nel dettaglio i quattro file che consentono di inserire le caratteristiche topologiche della rete stradale.

File .nod.xml

Nel file .nod.xml vengono dichiarati i nodi della rete specificandone un ID univoco e la loro posizione indicandone le coordinate x e y come su un qualunque asse cartesiano. Il valore delle coordinate è espresso in metri. Il linguaggio xml fa uso dei TAG come strumento di programmazione. Per lo specifico caso dei nodi si utilizza il tag <nodes></nodes> per aprire e chiudere il file mentre per introdurre i valori specifici di ogni nodo si utilizza il tag <node></node>. Un generico file.nod.xml avrà dunque il seguente aspetto:

```

1
2 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
3 <nodes>
4 <node id="n1" x="-1000.0" y="1000.0" />
5 <node id="n2" x="1000.0" y="1000.0" />
6 <node id="n3" x="1500.0" y="1000.0" />
7 <node id="n4" x="2500.0" y="1000.0" />
8 <node id="n5" x="2000.0" y="500.0" />
9
10 </nodes>
  
```

Figura 8: File .nod.xml

File .typ.xml

Nel file .typ.xml vengono specificate le tipologie dei tratti stradali. In particolare vengono definiti un valore “priority” che attribuisce una precedenza di indirizzamento dei flussi stradali e un parametro “speed” che indica la massima velocità ammessa su quel collegamento.

Il file creato nel nostro caso risulta essere il seguente:

```
1
2  <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
3  <types>
4      <type id="a" priority="3" numLanes="2" speed="30.10"/>
5      <type id="b" priority="3" numLanes="3" speed="30.10"/>
6      <type id="c" priority="3" numLanes="1" speed="30.10"/>
7
8  </types>
```

Figura 9: File .typ.xml

File .edg.xml

Nel file edg.xml vengono definiti i collegamenti fra i nodi attribuendo a ciascuno di essi un ID univoco, specificando i nodi che interconnette e indicandone la tipologia attraverso gli ID definiti nel file typ.xml.

Nel nostro caso il file edg.xml è il seguente:

```
1
2  <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
3  <edges>
4
5      <edge id="T1" from="n1" to="n2" type="a"/>
6      <edge id="T2" from="n2" to="n3" type="b"/>
7      <edge id="T3" from="n3" to="n4" type="a"/>
8      <edge id="T4" from="n3" to="n5" type="c"/>
9
10 </edges>
```

Figura 10: File .edg.xml

File .con.xml

Il file .con.xml è quello in cui si abilitano gli effettivi passaggi da un tratto stradale indicando da quale corsia del tratto precedente è possibile portarsi nelle corsie di quelli successivi. È sostanzialmente il file in cui vengono indicati i sensi di marcia consentiti ai veicoli e nel nostro caso assume il seguente aspetto:

```
1
2 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
3 <connections >
4
5 <connection from="T1" to="T2" fromLane="0" toLane="1"/>
6 <connection from="T1" to="T2" fromLane="1" toLane="2"/>
7 <connection from="T1" to="T2" fromLane="0" toLane="0"/>
8 <connection from="T2" to="T3" fromLane="1" toLane="0"/>
9 <connection from="T2" to="T3" fromLane="2" toLane="1"/>
10 <connection from="T2" to="T4" fromLane="0" toLane="0"/>
11
12 </connections>
```

Figura 11: File .con.xml

Per poter correttamente eseguire una simulazione su SUMO c'è poi bisogno di un ultimo file sumo.cfg nel quale vengono sostanzialmente inseriti i parametri con cui si vuole effettuare la simulazione: i nomi dei file della rete e dell'elenco dei flussi di traffico e la durata della simulazione.

Un ulteriore importante parametro che deve essere specificato in questo file è denominato "time-to-teleport". Si tratta di definire un tempo massimo di attesa per i veicoli nei pressi di un nodo congestionato dal traffico. Il simulatore SUMO in situazioni di questo tipo provvede infatti a "tele-trasportare" tali veicoli alla loro destinazione finale perché non contribuiscano a loro volta a congestionare quel nodo di rete. L'inserimento di un qualunque valore negativo disattiva questo meccanismo.

```

1 <?xml version="1.0" encoding="iso-8859-1"?>
2 <configuration>
3   <input>
4     <net-file value="S1.net.xml"/>
5     <route-files value="S1_b.rou.xml"/>
6   </input>
7   <time>
8     <begin value="0"/>
9     <end value="4000"/>
10    <step-length value="0.1"/>
11 </time>
12   <time-to-teleport value="-1"/>
13 </configuration>
14

```

Figura 12: File .sumo.cfg

Una volta richiamato il modulo netconvert.exe con argomenti i path dei file sin qui descritti si ottiene un file .netc.cfg che è il file che andrà effettivamente inserito all'interno del progetto OMNeT per poter integrare i due simulatori.

Nel progetto andrà anche importato il file in cui si definiscono i flussi di autoveicoli che si vogliono generare sulla rete stradale appena creata. Il file in questione avrà come estensione .rou.xml. e vista la nostra esigenza di testare due diversi scenari (l'incidente e le cattive condizioni meteo lungo una certo tratto di strada) ne sono stati creati due distinti. E' proprio in questi file che si definiscono i parametri attraverso cui si caratterizza lo scenario in cui si vogliono misurare le prestazioni raggiungibili mediante il protocollo IEEE 802.11p (traffico scarso/intenso, velocità di percorrenza dei veicoli...). I due file .rou.xml contengono gli ingressi che si vorranno variare da simulazione a simulazione e saranno pertanto illustrati quando si descriveranno con maggior dettaglio i parametri usati per ciascuna simulazione.

2.2.3.2. Mixim, Veins, TraCI

Descriviamo adesso brevemente le librerie e i diversi strumenti utilizzati per poter simulare su OMNeT il protocollo IEEE 802.11p in maniera congiunta alla mobilità su rete

stradale creata sul simulatore SUMO. Iniziamo con l'introdurre la libreria MIXIM², un framework di modellizzazione per OMNeT creato per le reti wireless mobili e fisse. La libreria offre modelli dettagliati di propagazione delle onde radio e numerosi protocolli wireless. Anche questa libreria è disponibile gratuitamente sulla piattaforma SourceForce ed è principalmente diretta alla fornitura di modelli molto dettagliati di rete wireless fino al livello MAC. Mixim fornisce infatti i moduli necessari all'implementazione di molti protocolli ed in particolare comprende anche la realizzazione del protocollo 802.11p di nostro interesse.

Un'altra libreria che è stato necessario utilizzare è Veins³, un framework open source specifico per l'esecuzione di simulazioni di reti veicolari attraverso SUMO e OMNeT.

Si tratta dello strumento che offre la concreta opportunità di far cooperare i due simulatori mediante l'utilizzo di appositi moduli software che consentono di far implementare un server denominato TraCI⁴ Server (**Traffic Control Interface**). Tale server implementa un protocollo TCP attraverso il quale OMNeT può ricevere correttamente le informazioni sulla mobilità dei nodi generate da SUMO. Il server viene messo in ascolto mediante un apposito modulo script in python denominato "sumo-launchd.py" che viene lanciato dalla command window MinGW fornita da OMNeT fornendogli come parametro il path dell'eseguibile sumo.exe. Una volta lanciato questo script, ogni qual volta si farà girare la simulazione di un progetto OMNeT comprendente: i) il file net.xml della rete costruita tramite SUMO, ii) il file rou.xml che specifica i flussi di traffico da generare e iii) un ulteriore file launchd.xml nel quale sono esplicitamente indicati i nomi dei file net.xml e rou.xml che SUMO dovrà far girare, automaticamente la mobilità dei veicoli gestita dal simulatore SUMO sarà resa disponibile alla simulazione OMNeT che potrà così interpretare le posizioni assunte dalle macchine sulla rete stradale come posizioni dei nodi della rete di telecomunicazione.

Altra caratteristica molto utile di TraCI è che prevede un'apposita API sviluppata in C++ attraverso la quale viene reso disponibile un gran numero di funzioni che consentono di generare, modificare e monitorare la mobilità dei veicoli su SUMO dall'interno del progetto OMNeT. Si può ad esempio generare un nuovo veicolo con un dato percorso da compiere, modificare il percorso qualora le esigenze della rete lo richiedano, ricevere informazioni sulla sua posizione e sulla sua velocità a run-time, durante la simulazione OMNeT.

² <http://mixim.sourceforge.net/>

³ <http://veins.car2x.org/>

⁴ http://sourceforge.net/apps/mediawiki/sumo/index.php?title=Tutorials/TraCI4Traffic_Lights

2.2.4. Caso d'uso 1: pioggia

Il primo caso d'uso che si intende indagare riguarda la trasmissione dell'informazione di pioggia lungo un determinato tratto stradale. Si vogliono verificare le prestazioni con cui si riescono ad avvertire del potenziale pericolo i veicoli che stanno per sopraggiungere nel tratto interessato. Si tratta di uno scenario che in realtà indaga molteplici possibili avversità che possono creare ostacolo alla viabilità come ad esempio nebbia, fondo stradale sconnesso, ecc. L'aspetto importante, da un punto di vista algoritmico, nel gestire situazioni di questo tipo riguarda la necessità di dover dimensionare una soglia al fine di evitare il diffondersi di falsi allarmi. Con ciò si vuole dire che, nel caso in cui non si voglia trasmettere l'informazione di un evento critico (come ad esempio un incidente) ma di una condizione avversa, non è possibile considerare come allarme un singolo messaggio ricevuto ma è più saggio verificare l'informazione ritenendola veritiera solo quando la si sia rilevata mediante la segnalazione di più di un utente. In particolare la rete che la Telecom è interessata a testare prevede l'impiego di un router posizionato su ciascun veicolo attraverso cui acquisire ad esempio il segnale del tergicristallo attivato, elaborare le informazioni ricevute da tutti i veicoli in modo tale da poter decidere se è il caso di diffondere o meno il messaggio di allarme per avverse condizioni meteo su quello specifico tratto della rete stradale. Ovviamente non può essere il rilevamento di un singolo segnale di accensione dei tergicristalli a far partire la segnalazione, poiché potrebbe semplicemente trattarsi di una attivazione dovuta ad altre cause e una eventuale trasmissione dell'informazione costituirebbe un falso allarme che distoglierebbe inutilmente l'attenzione dell'autista del veicolo dalla guida. Un analogo ragionamento è ovviamente meno stringente ma ugualmente valido nel caso di comunicazione diretta da veicolo a veicolo dei segnali di pericolo. I falsi allarmi sono più limitati poiché ciascun veicolo è coinvolto solo dalle trasmissioni effettuate da veicoli vicini. Tuttavia la possibilità di falsi allarmi permane proprio perché nel caso di trasmissione diretta manca una supervisione della topologia della rete stradale e dunque il messaggio di allarme reale emanato su un tratto stradale può rivelarsi un falso allarme per una macchina che lo riceve su un altro tratto stradale anche se distante poche centinaia di metri.

Nel caso quindi di trasmissione di generici allarmi per condizioni avverse lungo il tragitto sarà bene che ciascun ricevitore verifichi il numero di messaggi d'allarme ricevuti e decida, attraverso una apposita soglia, se essi sono sufficienti ad attivare una segnalazione di pericolo all'autista.

2.2.4.1. Ipotesi assunte

Per la natura stessa degli use case che si vogliono integrare tutte le simulazioni sono state pensate in un ambiente extraurbano e per effettuare le simulazioni sono stati previsti tre scenari di traffico differenziati in base alla “densità” di veicoli su strada:

- traffico intenso: veh/hour 1200 (un veicolo ogni 3 secondi);
- poco traffico: veh/hour 360 (un veicolo ogni 10 secondi);
- traffico rurale o notturno: veh/hour 180 (un veicolo ogni 20 secondi).

Considerare scenari di rete stradale ancora più scarica o più congestionata significava uscire dalla ragionevole utilità del servizio che si vuole testare. Per macchine ancora più distanziate fra loro sussistono altri metodi informativi di tipo broadcast mentre si è considerato che autisti viaggianti a meno di tre secondi l’uno dall’altro osservano le stesse condizioni di viabilità senza la necessità che esse gli siano comunicate attraverso una rete di TLC.

Per ciascuno dei tre scenari di traffico si è poi considerato il caso di strade percorribili con due diversi limiti di velocità:

- strada extraurbana: 13.5 m/s (circa 50 km/h);
- autostrada: 30 m/s (circa 110 km/h).

Come mostrato in precedenza la topologia della rete stradale che si è creata prevede l’esistenza di due strade e per simulare il caso di pioggia si è deciso di considerarle entrambe interessate dal fenomeno a partire da un certo punto del playground in poi. In particolare l’inizio del tratto interessato da pioggia è stato posto a 2700 m dall’origine della rete stradale. Si è poi deciso di considerare un tratto stradale a senso unico poiché si vuole studiare il caso di pericoli distribuiti su un’area estesa e pertanto i veicoli che procedessero nel senso di marcia opposto lancerebbero i loro messaggi di pericolo appena entrati nella zona interessata, in pratica a troppa distanza dalle macchine nel flusso che si vuole testare.

Sulla base di tutte queste ipotesi si è provveduto a generare quindi il flusso di traffico sulla rete mediante la creazione di un apposito file .rou.xml

```

1 </xml version="1.0" encoding="UTF-8" />
2 <routes>
3   <vType accel="2.0" decel="4.0" id="CarA" length="7.0" minGap="2.5" maxSpeed="30.0" sigma="0.5"/>
4   <route id="route" edges="T1 T2 Tai Tif"/>
5
6   <flow id="type1" color="1,0,0" begin="3" end="3800" vehsPerHour="1200" >
7     <routeDistribution id="routedist1">
8       <vType accel="2.0" decel="4.0" id="CarB" length="7.0" minGap="2.5" maxSpeed="30.0" sigma="0.5"/>
9       <route id="route01" edges="T1 T2 Tai Tif" probability="0.5"/>
10      <route id="route02" edges="T1 T2 T4" probability="0.5"/>
11    </routeDistribution>
12
13  </flow>
14 </routes>
15

```

Figura 13: File .rou.xml

Si può vedere come si sia creata una distribuzione di traffico in base alla quale ciascun veicolo generato può intraprendere con probabilità 0.5 uno dei due percorsi possibili verso la fine dello scenario. I parametri "maxSpeed" e "VehsPerHour" sono stati variati di simulazione in simulazione per costruire i diversi scenari di traffico e di viabilità descritti in precedenza.

Come tempo di simulazione si è utilizzato il valore di 4000 secondi poiché, visti i valori di densità di traffico in gioco, si ottiene un numero di autoveicoli non troppo basso da rendere inaffidabili le percentuali calcolate e non troppo elevato da appiattirle rendendo difficile l'apprezzamento delle variazioni.

2.2.4.2. Risultati ottenuti

In questo paragrafo vengono riportati i grafici dei valori ottenuti dalle simulazioni dei diversi scenari.

Il primo scenario esposto è quello del traffico intenso per il quale è prevista una densità di traffico pari a 1200 veicoli per ora.

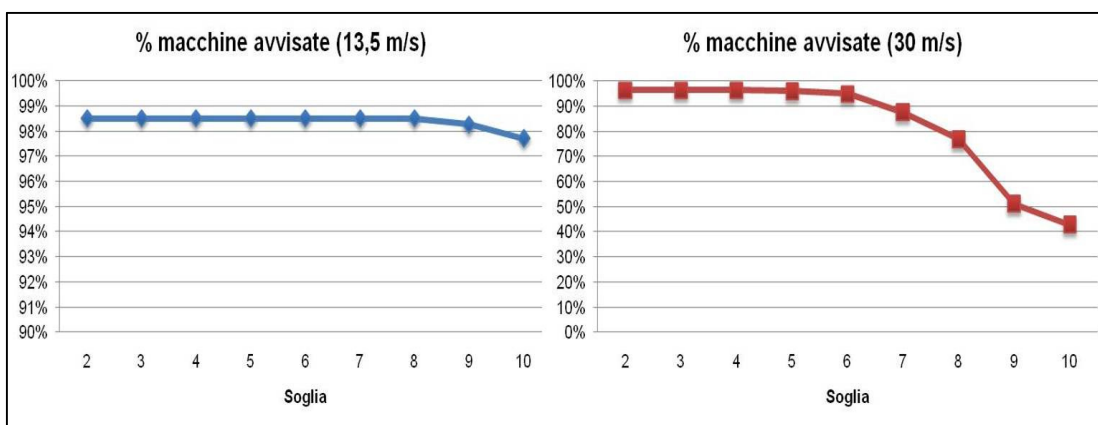


Figura 14: % macchine avvistate al variare della soglia, traffico intenso - 1200 veh/h (Caso d'uso Pioggia)

Nei grafici è riportato l'andamento della percentuale delle macchine avvistate della criticità presente su strada prima che esse siano giunte all'interno del tratto interessato, in funzione della soglia. Il significato del valore della soglia è il numero di messaggi di allarme che devono giungere al ricevitore di ciascun veicolo prima di decidere che è stata realmente rilevata una criticità e quindi segnalare all'autista il pericolo.

Nei grafici seguenti è invece rappresentata la percentuale delle macchine avvistate in base alla distanza alla quale il numero di allarmi ricevuti ha raggiunto la soglia. Ciascuna barra dell'istogramma rappresenta la percentuale di macchine avvistate nei range di:

- meno di 500 metri;
- fra 500 e 1000 metri;
- oltre 1000 metri;

riferita sempre al totale delle macchine sul playground.

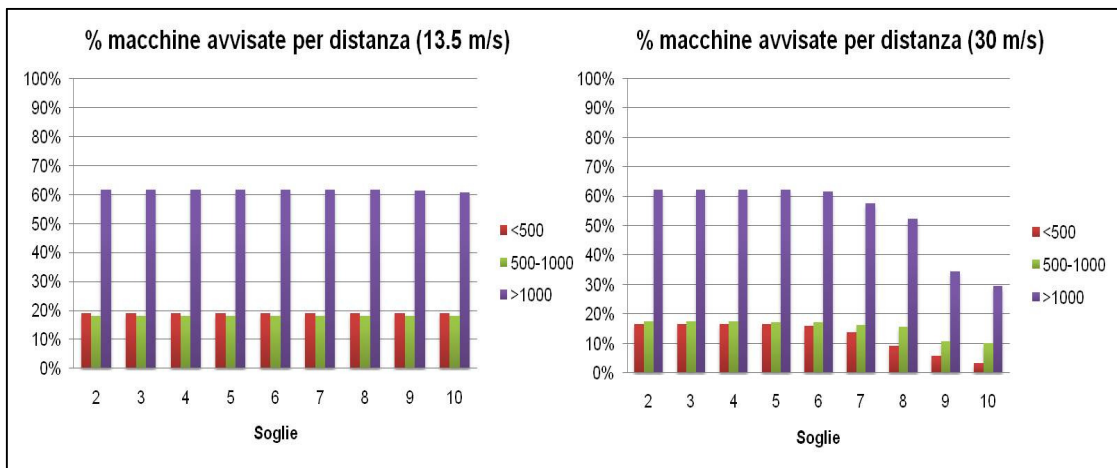


Figura 15: % macchine avvistate al variare della distanza, traffico intenso - 1200 veh/h (Caso d'uso Pioggia)

Di seguito sono presentati gli stessi grafici ottenuti però per il secondo scenario, poco traffico: veh/hour 360 (un veicolo ogni 10 secondi).

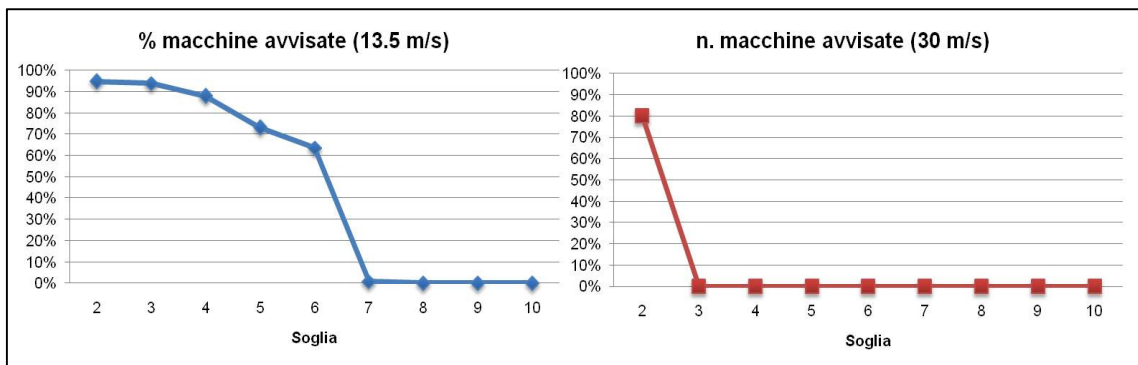


Figura 16: % macchine avvistate al variare della soglia, poco traffico - 360 veh/h (Caso d'uso Pioggia)

Da questi grafici si inizia a vedere come le prestazioni tendano a peggiorare quando il traffico è meno intenso e a parità di traffico con l'aumentare della velocità. Anche in relazione a questo secondo scenario di poco traffico riportiamo la ripartizione della percentuale di macchine avvistate in funzione della distanza.

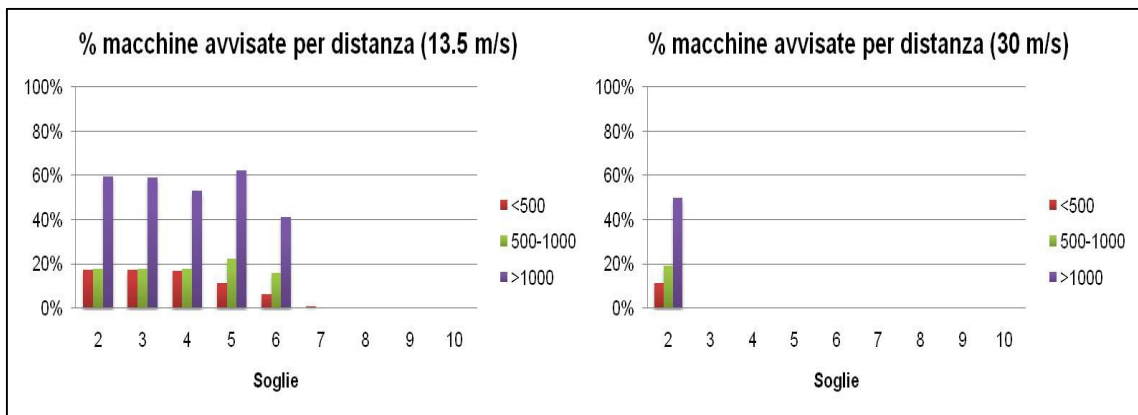


Figura 17: % macchine avvistate al variare della distanza, poco traffico - 360 veh/h (Caso d'uso Pioggia)

L'ultimo scenario proposto è quello che prevede la minore densità di traffico: traffico rurale o notturno: veh/hour 180 (un veicolo ogni 20 secondi).

In questo caso sono riportati esclusivamente i grafici relativi alla percorrenza a velocità minore poiché alla velocità più sostenuta nessuna macchina veniva raggiunta dall'informazione indipendentemente dal valore della soglia.

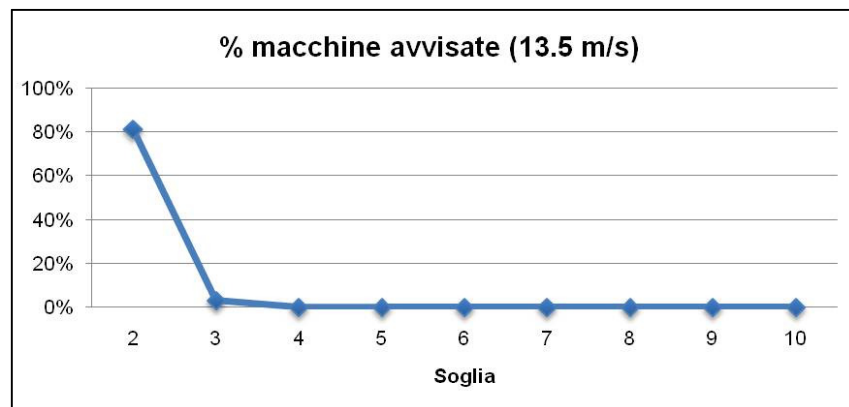


Figura 18: % macchine avvistate al variare della soglia, traffico rurale o notturno - 180 veh/h (Caso d'uso Pioggia)

Anche per la velocità di 13.5 m/s in realtà soltanto con una soglia pari a due (il minimo considerato) si hanno percentuali apprezzabili poiché con la soglia a 3 si passa già a valori molto prossimi allo zero.

Anche per quest'ultimo scenario è riportato di seguito il grafico con la percentuale di macchine avvisate in ciascun range di distanza dal tratto con criticità di pioggia.

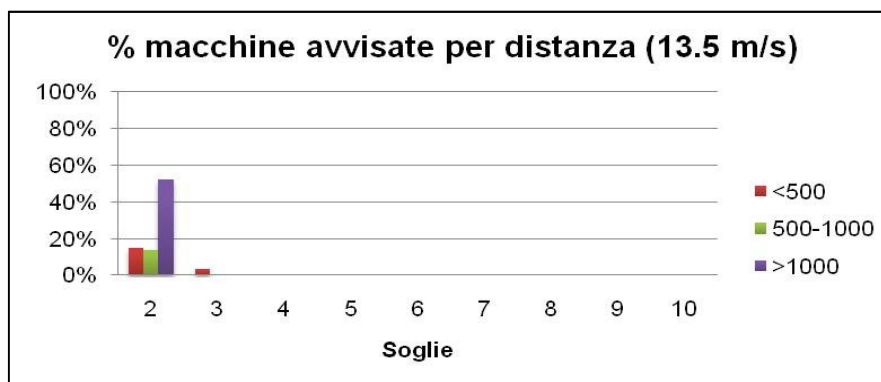


Figura 19: % macchine avvisate al variare della distanza, traffico rurale o notturno - 180 veh/h (Caso d'uso Pioggia)

2.2.4.3. Commento

Una prima analisi dei dati ottenuti ci porta ad evidenziare come una struttura di rete basata sul paradigma V2V consente l'ottenimento di prestazioni apprezzabili solo nello scenario con maggior traffico. Solo in questo scenario infatti le percentuali di macchine che si riescono a informare sono tali da consentire un dimensionamento in grado di porre ragionevolmente al riparo dall'eccesso di falsi allarmi. Già nel secondo scenario i risultati ottenuti risultano particolarmente negativi soprattutto per la velocità di percorrenza di 30 m/s per la quale risulta già non praticabile una soglia pari a tre poiché si riuscirebbero a raggiungere soltanto il 3% dei veicoli.

Il terzo scenario risulta invece del tutto impossibile da affrontare mediante un approccio V2V basato sul protocollo IEEE 802.11p, considerando che nella condizione di percorrenza a velocità più elevata non si riesce a segnalare il pericolo a nessuna vettura anche con la soglia pari a due (il minimo considerato per questo use case).

Questo comportamento è in accordo con la natura del protocollo IEEE 802.11p che è pensato per comunicazioni short range e dunque era prevedibile che le prestazioni del sistema tendessero a peggiorare col diminuire della densità di traffico e quindi con l'aumentare della distanza fra i veicoli. Un confronto visivo e diretto si può effettuare osservando i seguenti due grafici in cui sono stati riportati gli andamenti delle prestazioni in funzione della soglia, accorpandoli in base alla velocità di percorrenza. Mediante una semplice ispezione di questi

grafici è immediato cogliere come, una volta fissata la velocità di percorrenza, si ottengono prestazioni valide soltanto in condizioni di alta densità di traffico.

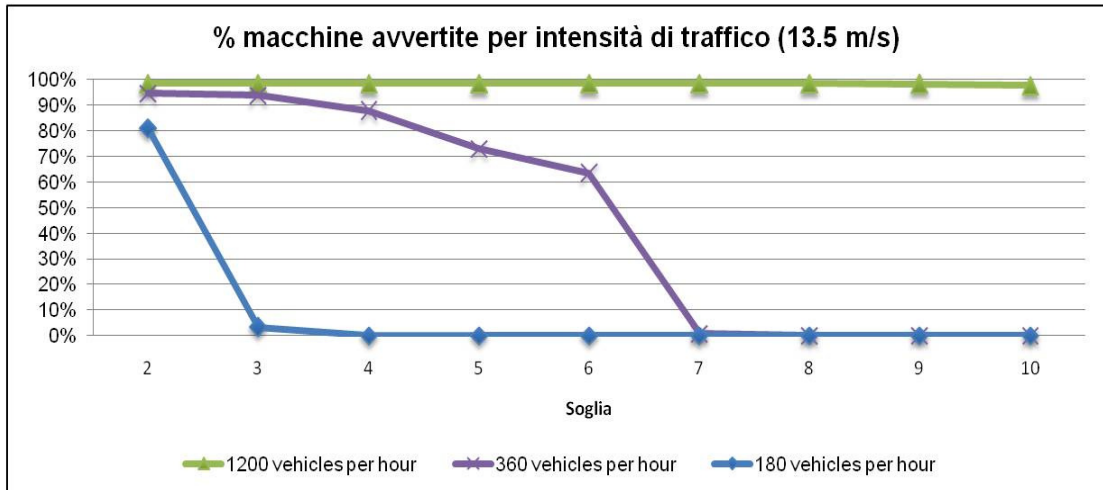


Figura 20: % macchine avvertite, velocità 13,5 m/s (Caso d'uso Pioggia)

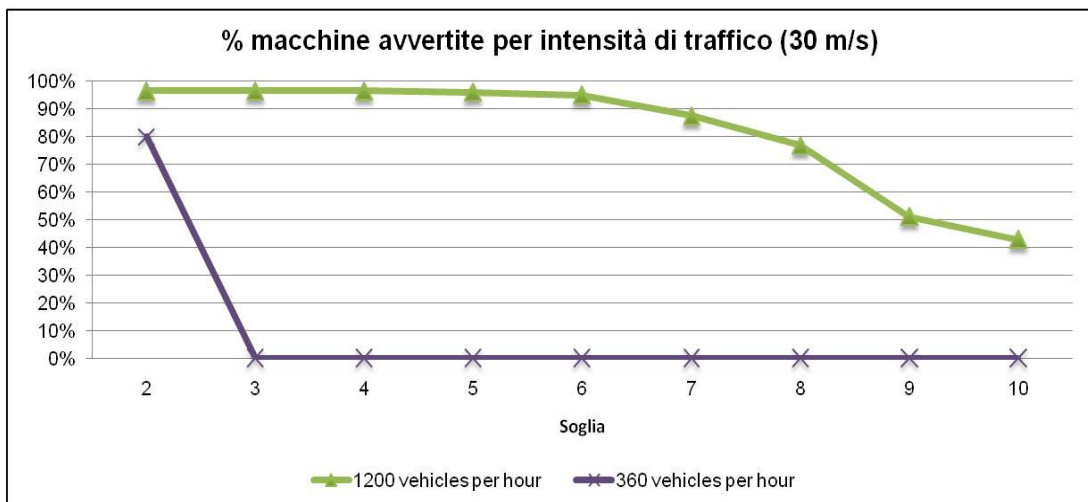


Figura 21: % macchine avvertite, velocità 30 m/s (Caso d'uso Pioggia)

Ponendo l'attenzione invece sulla posizione in cui viene effettivamente rilevata la condizione di pericolo si può notare come in realtà la maggior parte dei veicoli avvisati sia sempre raggiunta dall'informazione a più di un chilometro di distanza dalla criticità segnalata. Questo è dovuto al meccanismo di ri-trasmissione dei messaggi che si è implementato. Il fatto

che ogni veicolo trasmetta un solo messaggio o di generazione dell'allarme quando entra nel tratto di strada interessato dalla pioggia, o di ritrasmissione del primo messaggio di allarme ricevuto, fa sì che l'informazione "risalga" il flusso di macchine fino ad arrivare all'estremità del playground considerato (2700 metri).

Per dare una misura indicativa di questo fenomeno è stato rilevato anche il tempo di propagazione del messaggio lungo la strada, registrando l'istante in cui viene ricevuto un messaggio mentre il ricevitore è più vicino all'inizio del playground.

VELOCITA'	DENSITA' DI TRAFFICO		
	Traffico intenso	Poco traffico	Traffico rurale/notturno
13.5 m/s	2815	2672	2122
30 m/s	409	3107	/

Tabella 2: Tempo di diffusione dell'allarme a 2700 metri (in secondi)

2.2.5. Caso d'uso 2: incidente

L'altro caso d'uso nel quale si è interessati ad indagare le prestazioni del protocollo IEEE 802.11p è quello relativo al verificarsi di un incidente lungo il percorso. In questo caso il concetto di soglia non ha ragion d'essere poiché si ha la necessità di segnalare istantaneamente il pericolo imminente anche a costo di esporsi a qualche falso allarme, pertanto si conteggerà una macchina come raggiunta dall'informazione alla ricezione di un solo messaggio. Per meglio simulare il reale comportamento dei veicoli in caso di incidente si è sfruttata la possibilità di disporre di una seconda strada per poter deviare le macchine raggiunte dal segnale di allarme in modo da poter evitare la coda. Le macchine che non vengono raggiunte dal segnale di allarme non escono comunque dal playground terminando il loro percorso, come avviene nel caso di segnalazione di pioggia, ma si mettono in coda dietro le due vetture "incidentate". Per la necessità di evitare che la coda si propaghi fino a superare l'incrocio, e limitare il fatto che anche le macchine cui già la ricezione di un messaggio abbia fatto cambiare la destinazione finale finiscano per incolonnarsi a loro volta, l'incidente è stato posto 200 metri oltre l'incrocio stesso. Pertanto in questo caso una macchina viene considerata come "avvisata per tempo" quando la sua distanza dal luogo dell'incidente, al momento della ricezione del messaggio di

allarme, è superiore ai 200 metri. Si è anche implementata la possibilità di gestire il caso in cui la coda di veicoli superi il punto dell'incrocio per cui esiste ancora la possibilità di avvisare una macchina in coda in modo che possa, conoscendo la causa dell'incolonnamento, uscire dalla coda stessa decidendo comunque per un cambio di percorso.

2.2.5.1. Ipotesi assunte

Gli scenari considerati sono i medesimi del caso della pioggia ed anche le velocità considerate sono le medesime.

Per quanto concerne invece la determinazione del flusso di auto, come anticipato, si è scelto di generare veicoli tutti con il medesimo percorso prevedendo il transito nel punto interessato dall'incidente. Solo a run-time le macchine che ricevono il messaggio prima di esser giunte all'incrocio cambiano direzione evitando la coda. Per la necessità di avere un maggior controllo diretto sulla generazione dell'incidente lo si è simulato facendo partire all'istante zero due veicoli che subiscono una fermata della durata di 1800 secondi in un punto fissato duecento metri dopo l'incrocio, bloccando così entrambe le corsie.

I valori che vengono inseriti nel file sono quelli della posizione nella quale i veicoli si fermano e quello dell'istante in cui finisce lo stop e possono ripartire. Per questo motivo è stato necessario variare il parametro "until" adattandolo alla velocità di percorrenza in modo tale che il tempo intercorrente fra il raggiungimento del punto di stop prefissato e la ripartenza fosse in ogni caso pari a 1800 secondi. Un esempio del file utilizzato per generare il flusso di traffico in questo caso d'uso è riportato nell'immagine seguente.

```

1
2 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
3 <routes>
4 <vType accel="2.0" decel="4.0" id="CarA" length="5.0" minGap="0.5" maxSpeed="30" sigma="0.5" />
5 <route id="route01" edges="T1 T2 Tai Tif" />
6 <route id="route02" edges="T1 T2 T4" />
7
8
9
10 <vehicle id="S1" route="route01" depart="0" vtype="CarA">
11 <stop lane="Tai_0" ndPos="200" until="2000" />
12 </vehicle>
13 <vehicle id="S2" route="route01" depart="0" vtype="CarA">
14 <stop lane="Tai_1" ndPos="200" until="2000" />
15 </vehicle>
16
17
18 <flow id="type1" color="1,0,0" begin="20" end="1800" vehsPerHour="180" >
19 <vType accel="2.0" decel="4.0" id="CarB" length="5.0" minGap="0.5" maxSpeed="30" sigma="0.5" />
20 <route edges=" T1 T2 Tai Tif " />
21
22 </flow>
23
24
25
26
27 </routes>

```

Figura 22: Esempio file .rou.xml, caso d'uso incidente

Come già descritto nel caso d'uso della pioggia i tre scenari e le due velocità di percorrenza sono stati ottenuti modificando di volta in volta i parametri “maxSpeed” e “vehsPerHour”.

Un altro aspetto da notare è che per limitare gli affetti di rallentamento del traffico dovuti all'eccessivo allungamento della coda è stato necessario diminuire la lunghezza di ciascun veicolo (parametro “length”) e la minima distanza ammessa fra due veicoli lungo la stessa corsia (parametro “minGap”).

Per quanto attiene invece alla durata della simulazione si è deciso di far durare l'incidente 1800 secondi (mezz'ora). Questa scelta è stata dettata da due motivazioni:

- la prima è che per quanto si sia in grado di contare i veicoli raggiunti dalla segnalazione di allarme prima dell'incrocio ma già in coda, l'allungamento eccessivo dell'incolonnamento determina comunque un rallentamento del flusso dei veicoli rendendo non più costante lungo tutta la simulazione il valore della variabile su cui abbiamo definito i differenti scenari, la densità di traffico;
- un tempo di mezz'ora è stato ritenuto congruo con le caratteristiche dello use case in quanto oltre tale limite si prevede che non ci sia più la necessità di una trasmissione V2V dell'informazione di allarme poiché, probabilmente, l'evento critico dopo un tempo tale inizia ad essere gestito in altre forme (intervento

delle forze di pubblica sicurezza, segnalazione mediante i canali broadcast istituzionali, ecc...).

2.2.5.2. Risultati ottenuti

Presentiamo ora i grafici dei risultati ottenuti dalle simulazioni. Differentemente da quanto fatto nel caso di pioggia, qui si è deciso di riportare in ciascun grafico le percentuali di macchine avvisate per tempo nei tre scenari di traffico (notturno o rurale, poco traffico, traffico intenso), portando cioè in ascissa le densità di traffico simulata e raggruppando le simulazione in base alla velocità di percorrenza.

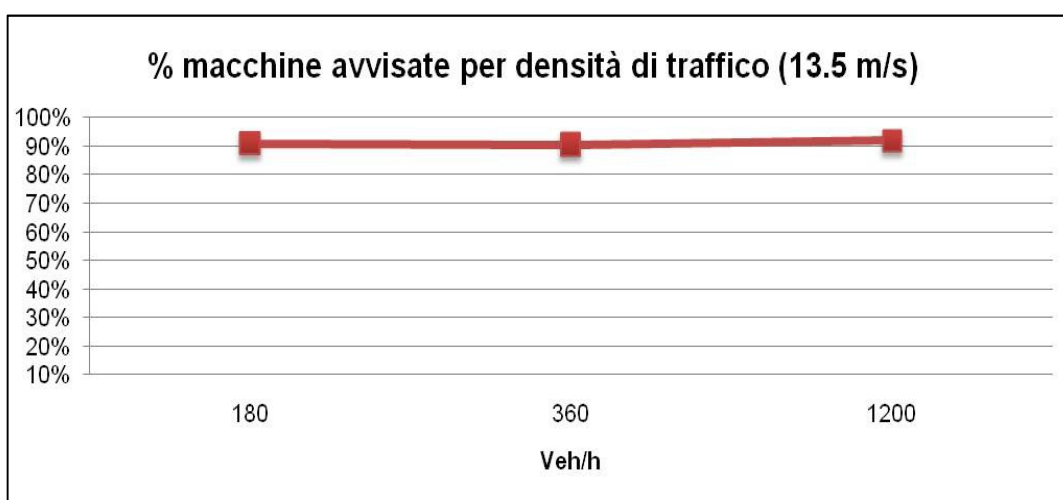


Figura 23: % macchine avvisate in funzione della densità di traffico, velocità 13,5 m/s (Caso d'uso Incidente)

Anche in questo caso d'uso è stata indagata la distanza dall'incidente alla quale i veicoli avvisati per tempo hanno effettivamente ricevuto il messaggio.

Tuttavia in questo caso il primo range di distanza va inteso sempre in riferimento alle macchine avvisate comunque prima di arrivare all'incrocio per cui il valore della barra dell'istogramma ad esso relativo è definito come: la percentuale di veicoli informati fra i 200 e i 500 metri dall'incidente, riferita al totale delle macchine sul playground.

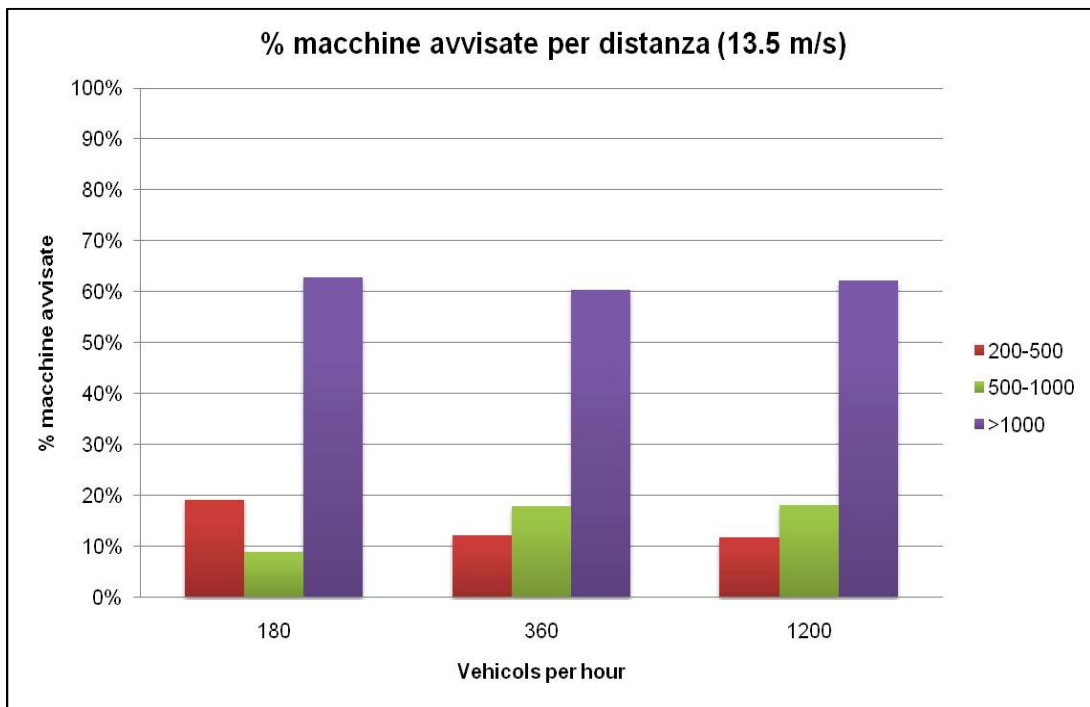


Figura 24: % macchine avvistate al variare della distanza per le tre densità di traffico, velocità 13,5 m/s (Caso d'uso Incidente)

Di seguito sono riportati i grafici costruiti con le medesime logiche ma riferiti alle simulazioni effettuate con velocità di percorrenza rappresentativa di un tratto di rete autostradale.

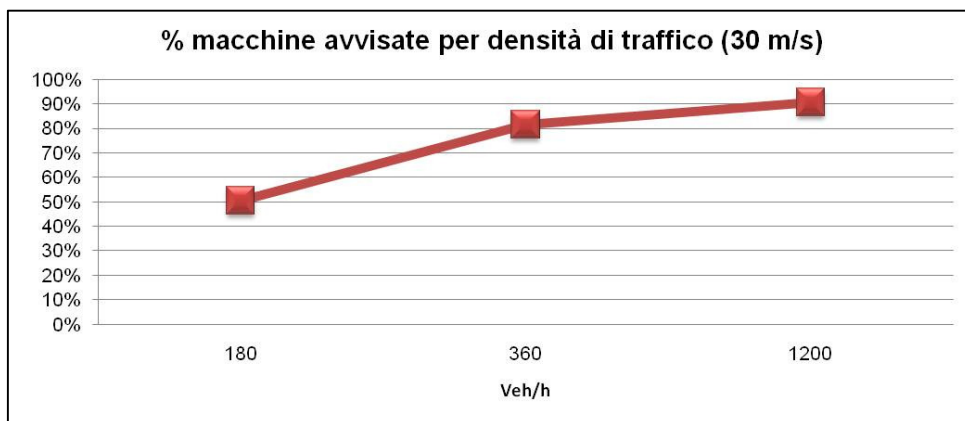


Figura 25: % macchine avvistate in funzione della densità di traffico, velocità 30 m/s (Caso d'uso Incidente)

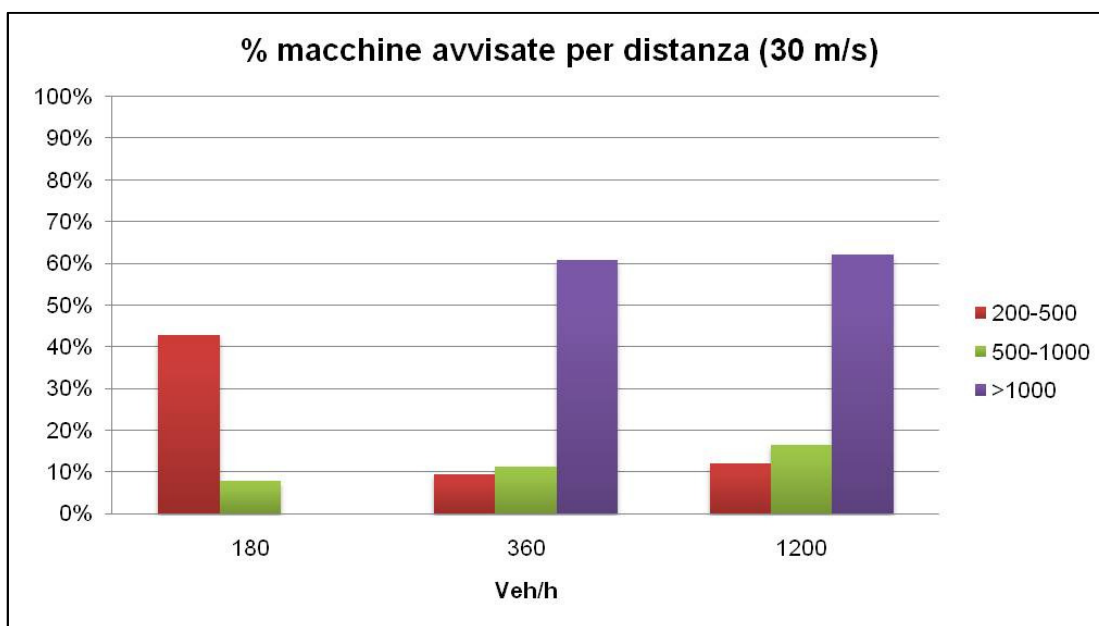


Figura 26: % macchine avvistate al variare della distanza per le tre densità di traffico, velocità 30 m/s (Caso d'uso Incidente)

2.2.5.3. Commento

Osservando il primo grafico delle percentuali di macchine avviate per tempo, nel caso di velocità di percorrenza bassa non si evidenziano differenze fra i tre scenari di densità di traffico.

Anche il grafico della distribuzione spaziale degli allarmi ricevuti mostra come simulando flussi di traffico in cui i veicoli hanno una velocità di 13.5 m/s negli scenari di poco traffico e traffico intenso la percentuale di autoveicoli avvistati a distanza superiore al chilometro è molto più elevata rispetto agli altri due range. Questo è spiegabile riflettendo sul fatto che in questi scenari e per questa velocità di percorrenza il protocollo riesce bene a trasportare l'informazione attraverso molti hop e pertanto l'informazione di allarme riesce a "risalire" correttamente il flusso di traffico. Anche nello scenario relativo di traffico rurale o notturno, quello che ci si attende comunque più critico, la percentuale predominante è quella relativa ai veicoli che ricevono il messaggio ad oltre un chilometro di distanza dall'incidente, però in questo caso si nota che la percentuale di macchine avvistate fra i 200 e i 500 metri è superiore a quella dei veicoli avvistati fra i 500 e i 1000 metri, cosa che non avviene negli altri due scenari. I veicoli avvistati nel primo range di distanza sono sostanzialmente quelli che ricevono il messaggio d'allarme al primo hop, ossia quando esso è stato trasmesso o direttamente dalle

macchine incidentate o da quelle che essendo raggiunte dal messaggio dopo aver superato l'incrocio non possono far altro che accodarsi e ritrasmettere il messaggio di allarme. Già dunque alla velocità di percorrenza di 13.5 m/s inizia ad evidenziarsi come nello scenario di minor traffico la trasmissione diretta V2V inizia a mostrare dei limiti che però per il momento si manifestano soltanto in una difficoltà a innestare il meccanismo di multi hop che consente di trasportare a distanza il segnale di allarme.

Questo aspetto diventa ancor più evidente quando si osservano i risultati ottenuti per velocità di percorrenza di 30 m/s. Nello scenario di traffico intenso le prestazioni si mantengono pressoché invariate rispetto alle simulazioni a 13.5 m/s, sia per quanto concerne la percentuale totale di macchine avvisate in tempo perché possano evitare la coda, sia per la distribuzione spaziale degli allarmi lungo il playground. Già lo scenario intermedio di poco traffico (360 veh/hour) mostra una perdita di prestazione del sistema evidenziando un calo della percentuale di macchine raggiunte dal segnale d'allarme. Ancora più vistoso è però il calo di prestazioni nel caso di traffico rurale o notturno nel quale la percentuale di autoveicoli avvisati si riduce al 50%. Inoltre osservando il grafico che riporta l'informazione sulla distanza alla quale questi allarmi sono stati ricevuti si osserva come la quasi totalità dei veicoli sia raggiunta dalla segnalazione a meno di cinquecento metri dall'incidente. Ragionando congiuntamente sul fatto che solo la metà dei veicoli è raggiunta dall'allarme e che nella maggior parte dei casi questo avviene in un raggio non superiore ai cinquecento metri si intuisce il meccanismo che si innesca nella trasmissione dell'allarme in questo scenario ed a queste velocità. Solo raramente si concretizza il secondo hop sull'informazione (comunicazione diretta fra due veicoli in marcia) mentre nella maggior parte dei casi si ha soltanto un hop e ciò vuol dire che solo i messaggi generati dalle macchine che vanno ad accodarsi riescono a raggiungere la prima macchina sopraggiungente alle loro spalle. La macchina seguente invece non riesce quasi mai a ricevere il messaggio inviato da chi la precede e pertanto sarà costretta ad accodarsi.

2.3. Approccio V2I2V

2.3.1. Introduzione

Lo scopo di questo lavoro è proporre un nuovo approccio centralizzato per i servizi di infomobilità. Più in dettaglio si intende proporre una architettura che, basandosi sulla rete di telecomunicazioni cellulari, superi sia il classico approccio basato sulle informazioni raccolte

dalle autorità istituzionali (polizia stradale, vigili urbani, società di gestione delle autostrade, ecc..) e ridistribuite attraverso i canali radio o la cartellonistica stradale, sia l'approccio di tipo "social" attualmente impiegato attraverso la generazione di app per smartphone che richiedono la diretta collaborazione dei guidatori per ricevere le informazioni di traffico necessarie alle applicazioni e sono dunque sempre esposte al rischio di lavorare con informazioni inesatte, parziali o obsolete.

Attraverso tale approccio si intende ampliare la redditività della rete di telecomunicazioni cellulare dotandola di una nuova funzionalità: rilevare ciò che accade alla viabilità stradale e fornire applicazioni in grado di gestire le criticità rilevate informando correttamente e tempestivamente i guidatori dei veicoli.

Nella figura seguente è riportato lo schema già descritto nel paragrafo 1.4.1

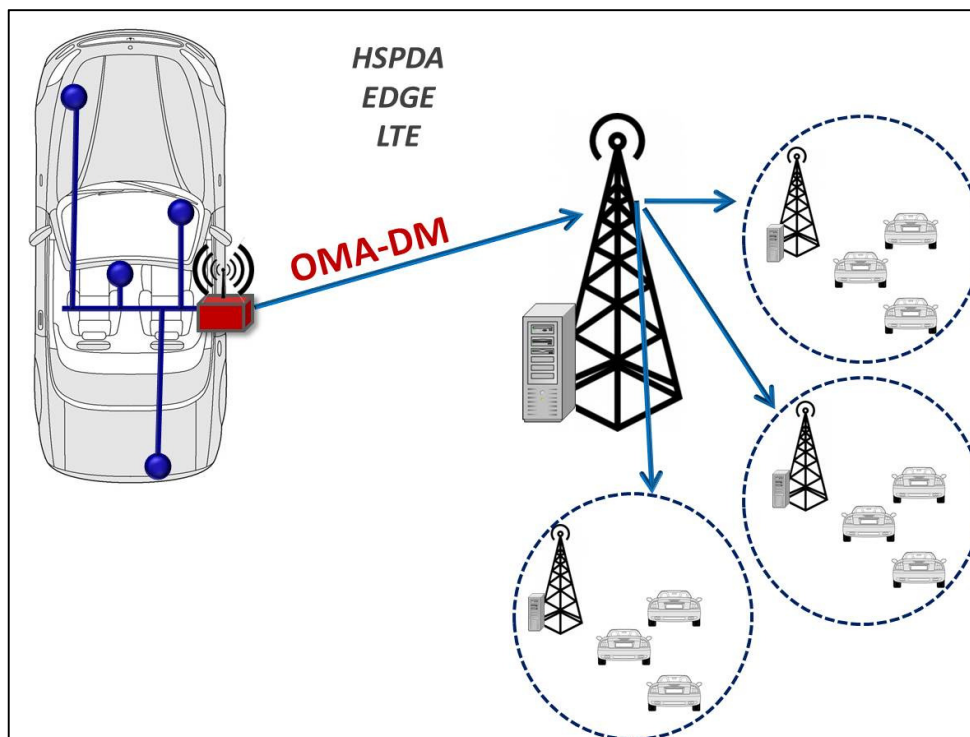


Figura 27: Architettura di sistema

Come già evidenziato questo nuovo approccio consiste nel rendere gli autoveicoli uno smart environment dotato di capacità di sensing dello spazio che li circonda, di capacità di trasmissione di quanto rilevato e della capacità di fornire al conducente le indicazioni più utili

elaborate a partire dalla conoscenza completa di quanto segnalato dai veicoli sull'intera rete stradale. Il superamento dell'approccio "social" è dovuto al fatto che in realtà non sono i guidatori a dover collaborare con la piattaforma dei servizi per fornire le informazioni ma sono i veicoli stessi che condividono le informazioni acquisite mediante i sensori già presenti a bordo secondo un approccio *machine to machine*.

La corretta implementazione di una siffatta architettura richiede la necessità di disporre di un router che, collegato al bus che trasporta i segnali di tutti i sensori di bordo, sia in grado di trasmetterli alle Base Station della rete cellulare attraverso un apposito protocollo che è stato da noi individuato nel protocollo OMA-DM. E' richiesta inoltre una modalità di ritrasmissione dei dati dalla Base Station agli autoveicoli per poter trasferire le segnalazioni generate dalle applicazioni centralizzate nuovamente agli autoveicoli.

La strategia individuata per questo tipo di collegamento consiste nel verificare l'utilizzabilità del servizio di Cell Broadcast. Questa scelta è stata dettata dal fatto che in prima battuta risulta conveniente sfruttare servizi già implementati dalla rete e che fra questi la scelta del Cell Broadcast presenta richieste prestazionali meno stringenti, ad esempio se confrontate con quelle necessarie per il ricorso all'Multimedia Broadcast Multicast Services- MBMS.

Per quanto concerne la verifica di applicabilità dell'approccio V2I2V si è reso necessario verificare la possibilità di garantire una corretta realizzazione del collegamento in upload (dal veicolo alla base station) attraverso il protocollo OMA-DM e poi di verificare, a partire dai parametri reali della rete cellulare Telecom, la disponibilità delle condizioni minime per il corretto impiego del servizio di Cell Broadcast individuato come prima possibilità per la ritrasmissione degli avvisi d'allarme generate a livello di applicazione.

In questo paragrafo saranno dunque descritte le ipotesi, gli strumenti software utilizzati e i risultati ottenuti in termini di possibilità e di livello di qualità del servizio di infomobilità basato sull'architettura da noi proposta. In questo caso i parametri da valutare saranno la sufficiente disponibilità di frequenza di bit (in funzione della probabilità di errore su bit richiesta) e le tempistiche con le quali è possibile realizzare un servizio di infomobilità con una architettura centralizzata, attraverso il protocollo OMA-DM per l'upload e il servizio di Cell Broadcast per il download.

I passi effettuati saranno:

- verificare l'effettiva utilizzabilità del router ipotizzato andando a controllare che la sua sensibilità gli consenta di lavorare correttamente nel reale scenario della rete mobile;

- verificare la possibilità di utilizzare il servizio di Cell Broadcast
- valutare le tempistiche globali (end to end) necessarie all'erogazione dell'intero servizio.

Anche in questa seconda fase del lavoro il focus dello studio è posto non sulla verifica della bontà dei protocolli ma sulle prestazioni del servizio che attraverso questi può essere implementato. A differenza però di quanto elaborato nell'analisi dell'approccio V2V le simulazioni saranno effettuate indagando i parametri di trasmissione (potenza di emissione, sensibilità del ricevitore, ecc..), mentre le grandezze che erano state i veri e propri parametri delle simulazioni presentate nel capitolo precedente (densità di traffico e la velocità dei veicoli) saranno descritte e gestite come ipotesi assunte e questo perché il loro ruolo cambia profondamente, come sarà ampiamente dettagliato in seguito, proprio in relazione alla diversa architettura ipotizzata.

Il paragrafo è dunque strutturato come segue. In primo luogo sarà fornita una descrizione delle modalità di trasmissione individuate e degli strumenti software utilizzati per le simulazioni. Successivamente si entrerà più specificatamente nel dettaglio delle ipotesi assunte con particolare riguardo verso alcune scelte semplificative che è stato possibile attuare per la natura stessa della nuova architettura (trasmissione su singola cella, accorpamento dei diversi scenari di traffico ecc..). Verranno infine esposti e commentati i risultati ottenuti e saranno illustrate le differenze prestazionali che si ottengono nei due casi d'uso già indagati nel contesto V2V: l'incidente e la pioggia.

2.3.2. Le modalità di trasmissione

La progettazione dell'architettura descritta nel precedente paragrafo richiede l'individuazione di due diverse modalità di trasmissione dell'informazione per la fase di upload delle segnalazioni e di download dei messaggi di allarme.

Per l'upload è stato previsto il ricorso a una serie di strumenti sviluppati dalla Open Mobile Alliance (OMA)⁵ e appositamente dedicati alla gestione di dispositivi mobili. Il protocollo di riferimento è denominato OMA-DM (OMA Device Management Protocol).

L'OMA-DM è un protocollo nato per consentire la configurazione, l'aggiornamento e la rilevazione di dispositivi remoti ed è implementato prevedendo un approccio client-server in cui

⁵ <http://openmobilealliance.org/>

al server è riservato il ruolo di autorità di gestione che può richiedere al device sotto controllo (client) una serie di informazioni sul suo stato. La comunicazione fra le due entità è divisa in una fase di setup e una di management secondo lo schema riportato nella seguente figura.

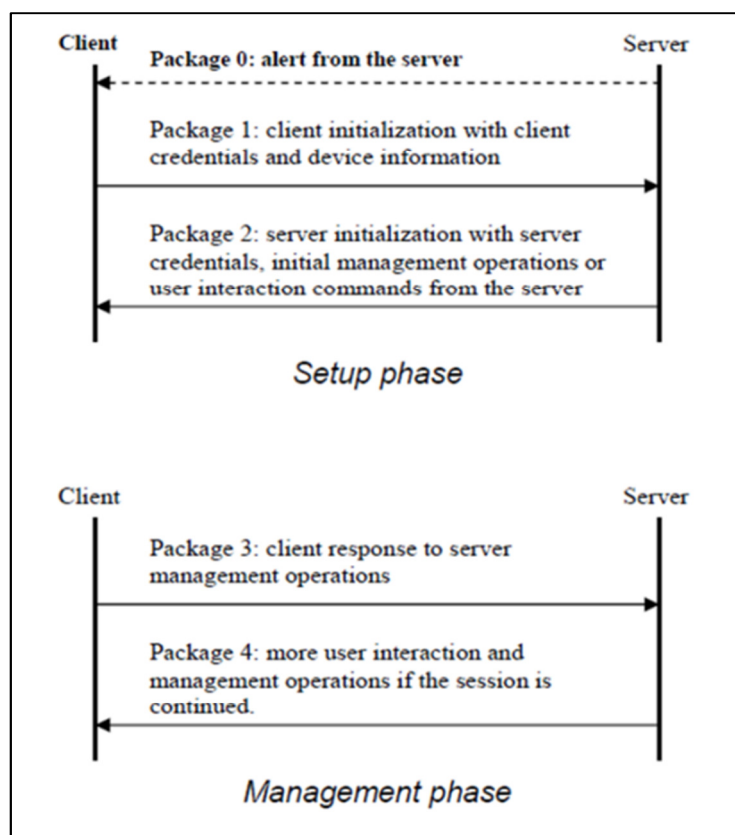


Figura 28: Fasi del protocollo OMA-DM (OMA, 2008)

I pacchetti possono essere trasportati sfruttando tutti gli standard per la telefonia mobile (GSM, UMTS, LTE) e sono scritti in linguaggio SyncML (Synchronization Markup Language).

Per i nostri scopi è necessario far ricorso a un meccanismo denominato *Trap* che consente al server di abilitare il client a catturare e ritrasmettergli eventi che sono rilevati da diversi componenti del device medesimo (nel nostro caso tutti i sensori di bordo). L'architettura del sistema viene arricchita di un altro client e di un altro server specifici per la gestione di questo tipo di meccanismi e si perviene allo schema riportato in figura 29.

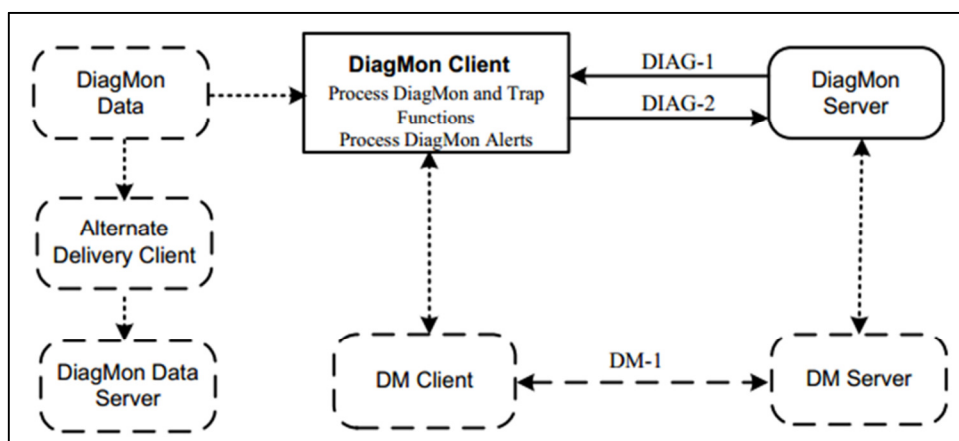


Figura 29: Architettura per la gestione delle Trap (OMA, 2011)

Il flusso attraverso il quale viene gestita la notifica di una Trap è il seguente:

1. l'autorità di gestione (DM server) prende informazioni su quali eventi possono essere monitorati e riportati da parte del device remoto;
2. l'autorità di gestione si registra per uno o più dei possibili eventi;
3. il DiagMon Client riceve la notifica del verificarsi di un evento da parte di qualche componente del device;
4. il DiagMon Client richiede al DM Client di inviare una notifica dell'evento all'autorità di gestione;
5. il DM Client invia il messaggio di notifica al DM server.

Per la fase di download, ossia di distribuzione degli allarmi generati dalle applicazioni verso i veicoli si è invece valutato l'impiego del servizio di Cell Broadcast. Si tratta di un servizio che consente la trasmissione di brevi messaggi di testo verso tutti i dispositivi mobili all'interno di una determinata area di copertura che può essere costituita da una singola cella oppure da un insieme di celle adiacenti che vengono riunite in una entità denominata "cell broadcast area".

Il Cell Broadcast è particolarmente adatto ai nostri scopi perché è stato introdotto prevedendo la possibilità di utilizzo non solo da parte dell'operatore mobile per segnalazioni ai suoi clienti ma anche per consentirne l'uso alle autorità competenti, al fine di segnalare alla popolazione condizioni di pericolo generate ad esempio da eventi naturali. Attualmente è maggiormente impiegato per aspetti commerciali ma è un servizio che è stato dimensionato anche per le condizioni di emergenza nelle quali offre, fra gli altri, il vantaggio di non

sovraccaricare di traffico la rete poiché utilizza canali dedicati separatamente a ciascuna possibile tipologia di informazione.

Il singolo messaggio può contenere fino a 93 caratteri ma è data anche la possibilità di concatenarne fino a un massimo di 15. Ai nostri fini si può ritenere che il peso delle informazioni da trasportare nella fase di download utilizzando questo servizio (prevedendo la necessità di ritrasmissione dei messaggi di allarme al fine di informare i veicoli che entrano nell'area di copertura successivamente all'invio del primo messaggio d'allarme) possa variare fino a un massimo di 50 Kbit.

2.3.3. Strumenti di simulazione utilizzate

Dal punto di vista degli strumenti di simulazione da impiegare, l'introduzione del concetto V2I2V ha condotto ad una notevole semplificazione rispetto all'approccio V2V. La semplificazione deriva principalmente dalla diversa topologia della rete che si viene a creare dal collegamento dei diversi nodi rappresentati dai veicoli e, nel caso V2I2V, dalla Base Station. La rete che si viene a creare quando si intende realizzare i servizi di infomobilità mediante il protocollo 802.11p è di tipo *mesh fully connected* e questo a causa della necessità di consentire l'utilizzo della trasmissione broadcast per poter saltare tutte le fasi di handshake.

In una rete di questo tipo, in cui ciascun nodo può trasmettere e ricevere messaggi a/da tutti gli altri nodi, e vista la natura short range del protocollo, tutti i parametri prestazionali risultano essere influenzati principalmente dalla distanza fra i diversi nodi della rete. Da questa semplice osservazione era nata la necessità dell'uso congiunto di due simulatori, uno per generare modelli di mobilità dei nodi il più possibile rappresentativi della reale mobilità dei veicoli sulla rete stradale (SUMO), e l'altro per gestire la generazione e la trasmissione degli allarmi attraverso il protocollo 802.11p (vedi paragrafo 2.2.3).

L'introduzione del paradigma V2I2V conduce invece ad una rete dalla topologia a stella, in cui tutte le trasmissioni possono appartenere a due sole categorie:

- upload, segnalazione delle criticità dai veicoli alla Base station;
- download, trasmissione degli allarmi dalla Base Station verso tutti i veicoli all'interno del suo raggio di copertura.

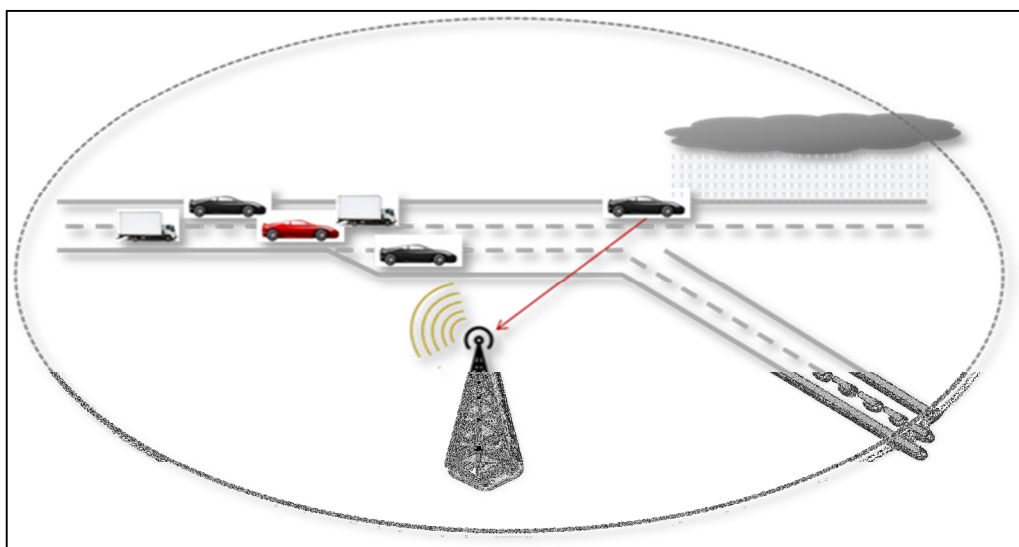


Figura 30: Fasi di upload e download (V2I2V)

Sia nelle trasmissioni in upload che in quelle in download è immediato rendersi conto del fatto che l'unica distanza in gioco è quella fra il veicolo che sta trasmettendo/ricevendo e la Base Station mentre in nessun caso entra in gioco la reciproca distanza fra i diversi veicoli che si trovano all'interno della medesima cella.

Risulta dunque non più necessaria la disponibilità di un dettagliato modello di mobilità dei veicoli e pertanto è stato possibile evitare di far ricorso all'impiego del simulatore SUMO. Inoltre, la natura del protocollo OMA-DM e la conoscenza dei principali parametri della rete cellulare hanno consentito di poter determinare i seguenti valori delle grandezze di interesse senza dover simulare il reale interscambio di pacchetti:

- potenza del segnale disponibile in funzione della distanza dalla base station;
- frequenza di bit disponibile in download in funzione di una fissata probabilità di errore sul bit;
- tempo di erogazione di trasmissione in upload e in download in funzione della distanza fra il veicolo e la base station.

In sostanza la nuova topologia di rete, la natura del protocollo OMA-DM utilizzato per l'upload e la scelta di far ricorso, come prima ipotesi per la ritrasmissione delle segnalazioni ai conducenti dei veicoli, al servizio di Cell Broadcast già reso disponibile dalla rete cellulare hanno condotto ad una semplificazione del problema tale da non richiedere più l'impiego di un

simulatore di reti ma da rendere sufficiente uno strumento di calcolo più semplice ed immediato come il ben noto MatLab.

2.3.4. Descrizione delle simulazioni

Entriamo ora nel merito delle ipotesi assunte per la determinazione delle grandezze di nostro interesse. Innanzitutto bisogna osservare che il confronto fra le due strategie per l'erogazione di servizi di mobilità è maggiormente sensato quando riferito alla ritrasmissione su singola cella.

Questo per due ordini di motivi. Il primo è che le celle della rete mobile sono dimensionate per avere raggi di copertura nell'ordine di qualche chilometro e quindi consentono di informare il conducente di un veicolo in avvicinamento ad un punto o una zona interessata da criticità con un anticipo sufficiente a consentirgli di attuare le opportune strategie di sicurezza.

Il secondo motivo è che il confronto sulle performance su singola cella risulta essere più significativo per via della natura short range del protocollo 802.11p. In sostanza quel che è veramente importante verificare è che l'architettura centralizzata sia in grado di erogare il servizio in tempi ragionevolmente comparabili con quelli possibili attraverso il protocollo 802.11p per veicoli in prossimità del pericolo. E' ragionevole pensare che le dimensioni della cella siano tali da garantire la ricezione dei messaggi d'allarme ad una distanza sufficientemente grande dal punto di criticità. Per i veicoli che al momento della rivelazione della criticità si trovano a grande distanza la necessità di una tempestiva informazione è meno stringente. Inoltre, nel caso dell'architettura basata sulla rete cellulare, per la trasmissione dei dati fra le diverse Base Station è possibile impiegare tutti i meccanismi che essa già prevede per questo scopo e che consentono sostanzialmente di riportare l'informazione dell'incidente sull'intera rete di telefonia mobile. Per l'architettura V2V l'unico sistema di propagazione degli allarmi previsto è quello della ritrasmissione in broadcast della segnalazione da parte di tutti gli utenti che la ricevono e, come ampiamente descritto nel paragrafo 2.2, è immediato rendersi conto del fatto che il meccanismo non può essere in grado di trasportare l'informazione a molti chilometri di distanza specialmente nel caso di condizioni di traffico poco intenso.

Per questo, tutto il lavoro svolto sulla architettura V2I2V è stato compiuto misurando le prestazioni disponibili nell'erogazione del servizio su singola cella.

Per quanto riguarda invece la gestione degli scenari di traffico e delle velocità di percorrenza delle strade si è già evidenziato come questi parametri siano legati alle prestazioni

del protocollo 802.11p determinando la distanza fra i veicoli su strada e come invece risultino poco significativi vista la topologia della rete determinata dall'approccio V2I2V. Tuttavia la densità di traffico e la velocità di percorrenza conservano ancora un ruolo nella distinzione fra i diversi casi d'uso poiché determinano il tempo di inter-arrivo dei diversi veicoli nel punto interessato dall'evento che determina l'insorgenza della criticità per la viabilità. Nel caso di incidente è sufficiente ricevere una segnalazione per ritenere valido l'allarme mentre nel caso di pioggia si ha la necessità di tener in conto il numero di segnalazioni ricevute e di dimensionare una soglia al fine di limitare i falsi allarmi.

Con un approccio V2V queste funzioni devono essere implementate dal ricevitore posto a bordo di ciascun veicolo mentre in una architettura V2I2V le funzioni di accumulazione dei messaggi provenienti dai veicoli e di decisione per la rivelazione e la ritrasmissione dell'allarme sono ovviamente accentrate nella Base Station. Tuttavia la densità di traffico e le velocità di percorrenza determinano il tempo di inter-arrivo sul punto di criticità e quindi il tempo necessario alla rete per la rivelazione della criticità stessa. In sostanza però questi parametri non influiscono sulla bontà delle trasmissioni ma determinano esclusivamente il valore di un parametro additivo che si dovrà tenere in conto nella valutazione delle tempistiche di erogazione del servizio nel caso d'uso di pioggia.

2.3.5. Risultati ottenuti

Iniziamo a esporre i risultati ottenuti a partire dalla prima questione di nostro interesse: la verifica della effettiva utilizzabilità del router ipotizzato per le comunicazioni in upload fra veicolo e Base Station. Il protocollo OMA-DM prevede per la segnalazione degli allarmi lo scambio bidirezionale di una successione di pacchetti, pertanto quel che bisogna verificare è che la sensibilità del ricevitore sia sufficiente a garantire la ricezione dei pacchetti in arrivo dalla Base Station.

La sensibilità del ricevitore per il router vale -104dBm e risulta essere sufficiente al funzionamento fintanto che questo valore si mantiene al di sotto della potenze di segnale disponibile. Si tratta di una condizione che dipende dalle caratteristiche delle antenne delle Base Station, dall'attenuazione introdotta dal canale di trasmissione, dalle caratteristiche dell'antenna del ricevitore e dalla distanza al quale esso si trova.

Le informazioni relative alla Base Station sono state messe a disposizione da Telecom e corrispondono ai seguenti valori:

- potenza media irradiata: 20W => 43dBmW;
- guadagno delle antenne variabile nel range [12 , 18].

Per quanto concerne il modello di canale si è tenuto conto sia del fading di vasta area secondo il modello di Hokumura Hata specificato per zone sub-urbane (in accordo con le ipotesi fatte per le simulazioni relative all'approccio V2V), sia del fading locale caratterizzato da una variabile aleatoria di Rayleigh per tenere in conto il caso peggiore di collegamento NLOS (Non-line-of-sight).

Il guadagno dell'antenna al ricevitore è nullo poiché, essendo un ricevitore mobile su un sistema cellulare il router è dotato di una antenna isotropica.

Nelle due seguenti figure sono riportati i valori della potenza di segnale disponibile al ricevitore in funzione della distanza che lo separa dalla Base Station e, in rosso, è riportata la soglia a -104dBmW per la corretta operabilità del router.

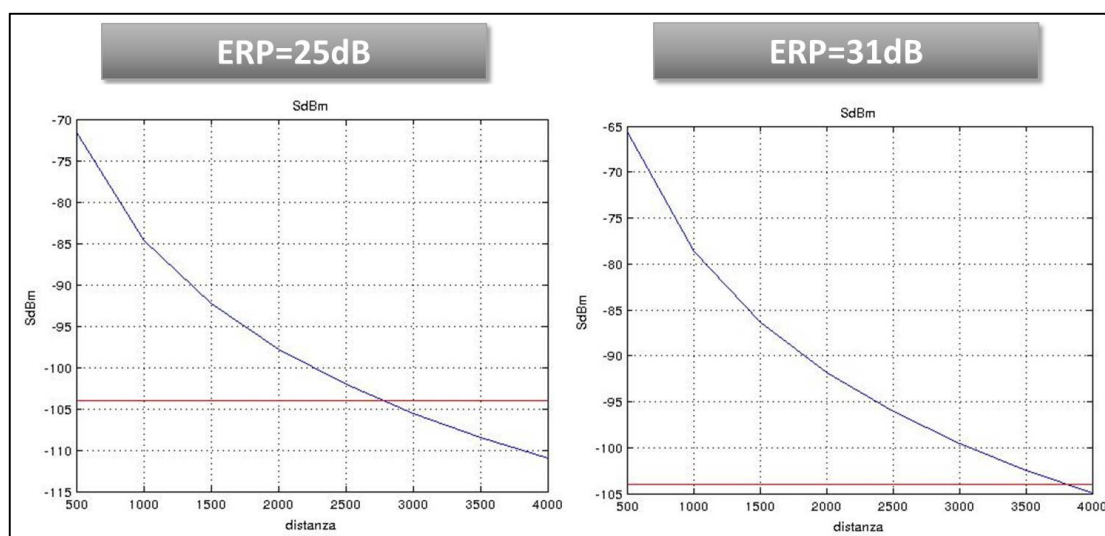


Figura 31: Potenza disponibile in funzione della distanza e sensibilità del ricevitore

Il grafico a sinistra fa riferimento al caso di valore minimo del range del guadagno di antenna per il quale si ha un ERP (Equivalent Radiated Power) di 25dB mentre il grafico a destra fa riferimento al valore massimo del medesimo range al quale corrisponde un ERP di 31dB.

I grafici mostrano come la curva della potenza di segnale disponibile al ricevitore si mantenga al di sopra della soglia minima necessaria al corretto funzionamento del ricevitore per

distanze compatibili con i raggi di copertura previsti dalle celle nelle due distinte configurazioni.

Dopo aver verificato l'effettiva utilizzabilità del router si è passati alla verifica delle condizioni per l'utilizzabilità del servizio di Cell Broadcast. Il parametro da verificare è la disponibilità, a bordo cella, di una sufficiente frequenza di bit in funzione della probabilità d'errore richiesta.

La frequenza minima necessaria per il servizio di Cell Broadcast è pari a 40kbit/s.

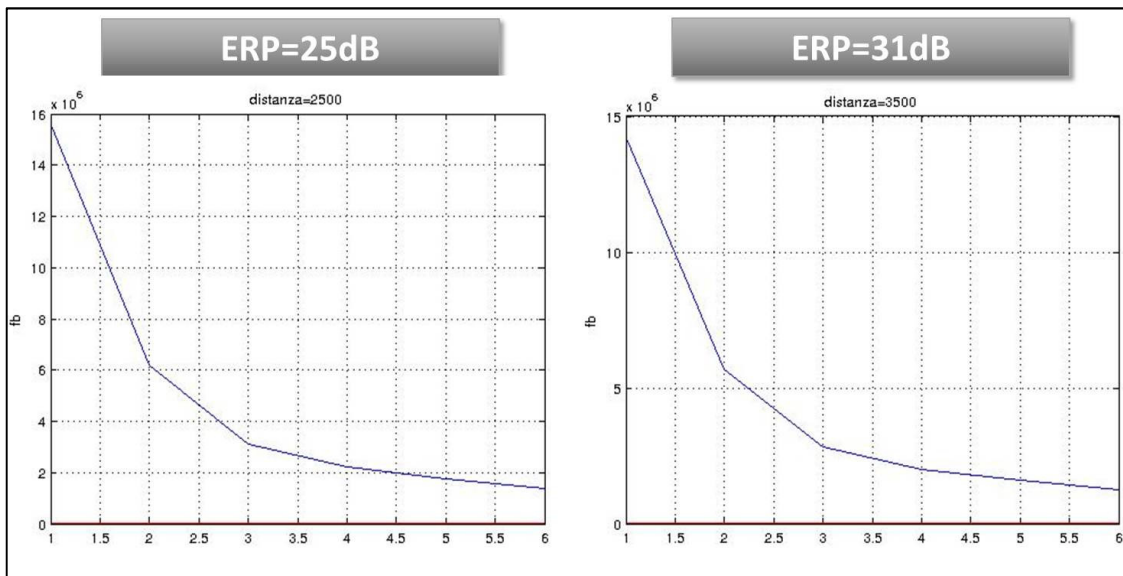


Figura 32: Frequenza di bit disponibile in funzione della probabilità di errore per bit

Nel grafico a sinistra è riportato l'andamento della frequenza di bit disponibile, in funzione della probabilità d'errore per bit, per le celle in cui l'antenna della Base Station ha guadagno pari a 12, mentre nel grafico a destra è riportato l'andamento della medesima grandezza nel caso di guadagno di antenna pari a 18. Ciascun grafico è riferito alla massima distanza per la quale si era verificata la possibilità per il router di lavorare correttamente.

Sull'asse delle ascisse è riportato il modulo dell'esponente della probabilità d'errore per bit al fine di favorire una immediata lettura del grafico via via che la richiesta di qualità in termini di probabilità d'errore per bit si fa più stringente.

In particolare è dunque mostrato l'andamento della frequenza di bit disponibile per probabilità d'errore sul bit che variano nell'intervallo $[10^{-1}, 10^{-6}]$.

Una differente modalità di rappresentazione è riportata nelle figure seguenti.

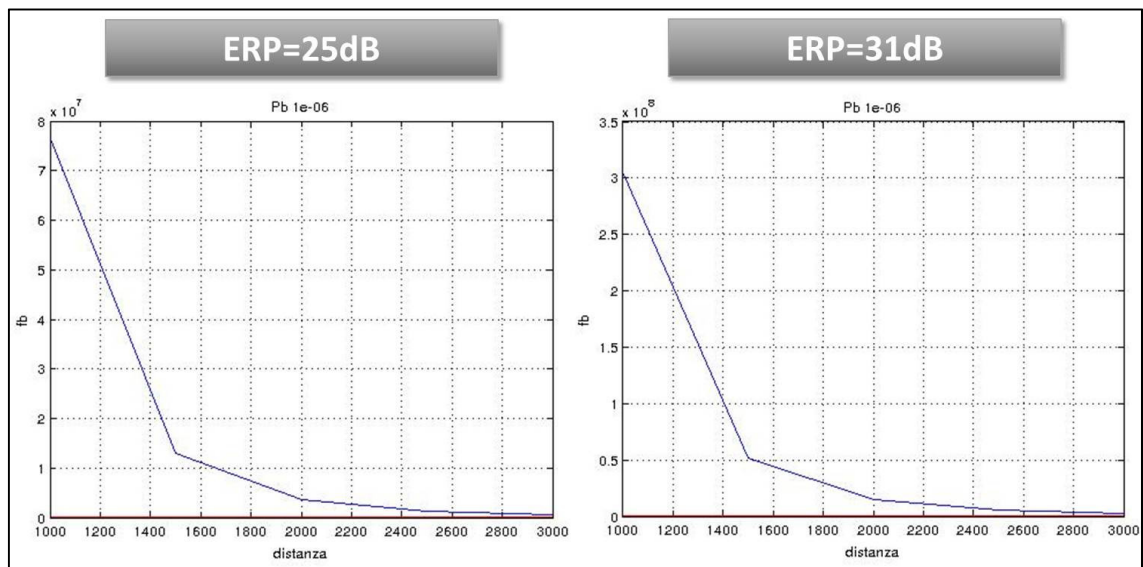


Figura 33: Frequenza di bit disponibile in funzione della distanza ($P_b=10^{-6}$)

In questo caso è stata riportata la frequenza di bit disponibile in funzione della distanza fra il ricevitore e la Base Station per una fissata richiesta prestazionale in termini di probabilità d'errore per bit. In particolare i due grafici qui riportati si riferiscono alla condizione più stringente: $P_b=10^{-6}$.

L'ultima verifica da fare per poter correttamente eseguire il confronto fra l'approccio V2V e quello V2I2V riguarda le tempistiche necessarie a completare la fase di up load e di download.

Il tempo di up load è quello che è necessario alla trasmissione di tutti i pacchetti previsti dal protocollo OMA-DM per la segnalazione di una Trap. Il carico di traffico offerto alla rete è stimabile in un valore di 40kb. E' possibile considerare un bit rate medio di 2 Mbit/s e per tanto l'intero scambio di pacchetti è valutabile in circa 20ms. Il calcolo eseguito è relativo ad una distanza del veicolo dalla Base Station pari a 100 metri ma il posizionamento all'interno della cella del veicolo che segnala la criticità risulta ininfluenza poiché, viste le dimensioni del raggio di una cella, il tempo di propagazione del segnale in funzione della distanza risulta trascurabile rispetto al tempo necessario alla completa trasmissione dei pacchetti.

Per quanto concerne invece la fase di download la trasmissione del messaggio di allarme attraverso il servizio di Cell Broadcast richiede l'invio di circa 50Kbit e pertanto, pur considerando come bit rate il caso peggiore in cui esso sia pari al minimo necessario per

l'esplicazione del servizio (40kb/s), i tempi richiesti per il download risultano essere quelli riportati in figura.

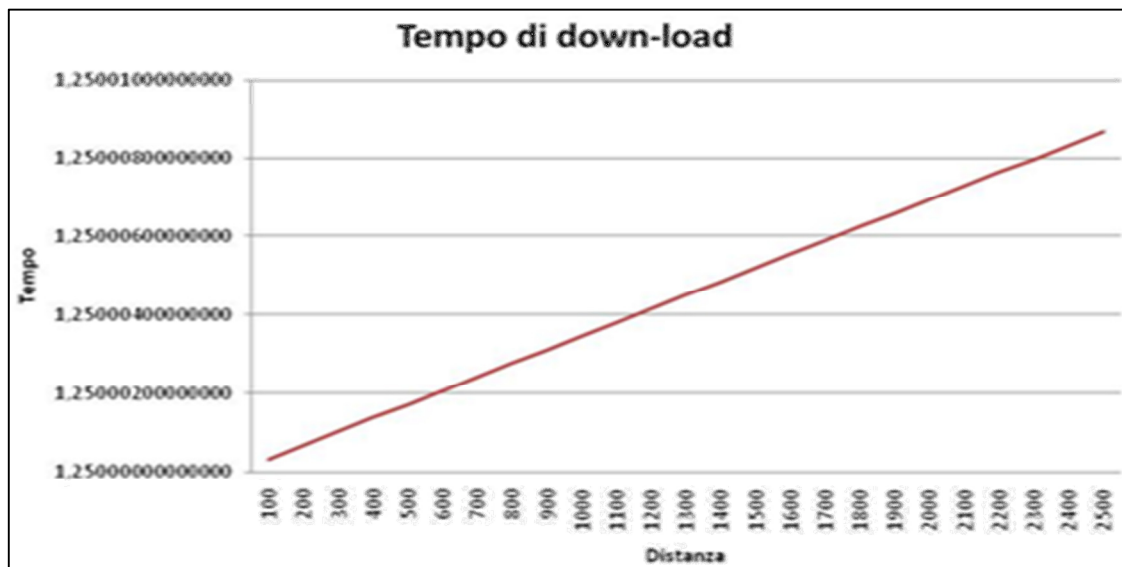


Figura 34: Tempo di download

Il grafico conferma come sia poco rilevante la distanza che intercorre fra il veicolo in movimento all'interno della cella e la Base Station al quale è associato e questo perché il segnale, propagandosi alla velocità della luce, impiega circa $3.3 \cdot 10^{-7}$ secondi per coprire la distanza di 100 metri.

Il tempo totale necessario dunque alla trasmissione in upload e in download al netto del tempo necessario per l'elaborazione dei dati acquisiti da parte dell'applicazione è riportato nella figura seguente.

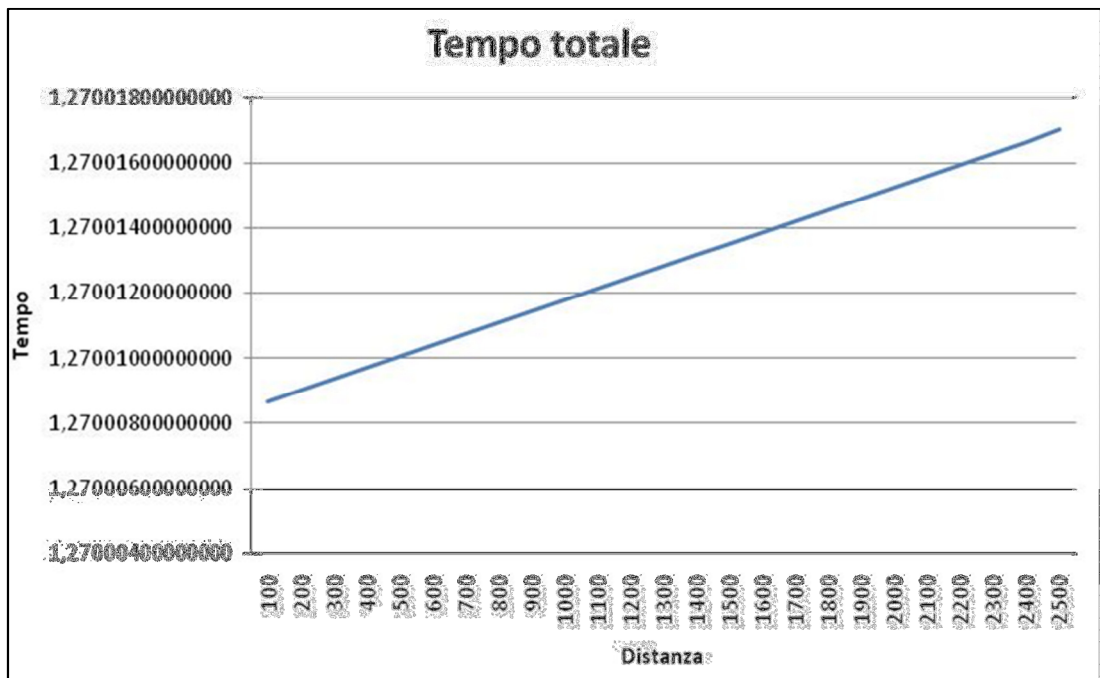


Figura 35: Tempo totale (upload + download)

Questo tempo può essere considerato come il tempo totale di esplicazione del servizio end to end nel caso d'uso di incidente, mentre nel caso d'uso di pioggia ad esso va sommato il numero di pacchetti che si devono ricevere per ritenere valido l'allarme (dipendente dal valore della soglia fissata) moltiplicato per il tempo di inter-arrivo dei veicoli sul punto di criticità (funzione della densità di traffico e della velocità di percorrenza).

2.3.6. Commento

Il primo risultato ottenuto nel precedente paragrafo riguarda la reale possibilità di espletare i servizi di infomobilità attraverso l'architettura proposta. Questo è stato dimostrato verificando che il router sia abbastanza sensibile per poter correttamente operare entro il raggio di copertura della cella e verificando che il servizio di Cell Broadcast sia effettivamente utilizzabile ai nostri scopi.

Si è inoltre verificato come i tempi necessari alla esplicazione dei servizi siano effettivamente coerenti con le necessità dettate dalla natura dei servizi stessi. In particolare si è determinato che il tempo necessario a effettuare il servizio nel caso d'uso di incidente è sostanzialmente valutabile nell'ordine di 1.27 secondi per quanto riguarda la pura trasmissione

dei pacchetti. Per determinare il tempo di erogazione end to end bisogna tenere in conto anche il tempo necessario alle applicazioni sviluppate da terzi per elaborare le informazioni accumulate sotto forma di big data e generare i messaggi di allarme da ritrasmettere ai conducenti dei veicoli. Questo tempo, viste le potenze di calcolo fornite dai calcolatori sul mercato può essere ragionevolmente considerato trascurabile e, anche volendo prevedere un ampio margine per le tempistiche di questa fase (prudenza dettata dal fatto che essa è implementata e gestita da terze parti) si può considerare che l'intero servizio richieda comunque un tempo inferiore ai 2 secondi. Questo tempo è ampiamente coerente con le necessità di dare tempestiva segnalazione di un incidente ai veicoli che percorrono la stessa strada su cui esso avvenuto. Per i veicoli che, al momento dell'incidente si trovano su quella stessa strada e che sono talmente in prossimità da raggiungere il luogo dell'impatto in meno di 2 secondi, si può ragionevolmente ritenere che la ricezione dell'allarme attraverso un qualunque servizio di infomobilità risulti non necessaria poiché l'autista si trova abbastanza in prossimità da avere cognizione diretta di quando sta accadendo dinanzi a lui e addirittura, nel breve arco di tempo che ha a disposizione per gestire la situazione, la ricezione di un messaggio di allarme potrebbe essere fonte di distrazione e dunque di aumento del pericolo.

Come già evidenziato il caso d'uso di pioggia si differenzia nel tempo di acquisizione della presenza di una criticità lungo la sede stradale. In questo caso è infatti necessario implementare un concetto di *soglia*, a livello dell'applicazione centralizzata, per evitare che una singola accensione dei tergicristalli potenzialmente dovuta alle più svariate ragioni determini la segnalazione a tutti i veicoli sulla cella. Questo implica che prima di poter rilevare la criticità si debbano attendere un certo numero di messaggi da veicoli diversi. Il ritardo che si introduce è dunque un parametro additivo che è funzione della densità di veicoli su strada. Per dare una dimensione numerica a questo parametro basta considerare gli stessi scenari di traffico utilizzati per l'analisi delle prestazioni ottenibili col paradigma V2V per capire che il tempo di rivelazione della criticità può variare, a seconda della soglia fissata, nell'ordine delle decine di secondi per scenari di traffico intenso fino a qualche minuto per il traffico rurale o notturno. Anche se in termini assoluti questi valori possono sembrare enormi rispetto ai 2 secondi identificati come tempo massimo di esplicazione del servizio nel caso d'uso di incidente, si nota come essi siano in realtà pienamente compatibili col caso d'uso al quale si riferiscono. Il caso d'uso della pioggia è stato infatti individuato come esempio di gestione di tutte quelle criticità che possono arrecare disturbo alla viabilità ma che hanno la caratteristica di essere molto diffuse geograficamente e quindi potenzialmente capaci di interessare contemporaneamente più tratti

stradali (nebbia, neve, asfalto in cattive condizioni, ecc). Per queste tipologie di criticità i valori indicati sono dunque da considerarsi come quelli relativi al caso peggiore in cui il fenomeno interessa un'unica arteria stradale a senso unico, per cui tutti i veicoli che incontrano il disagio e possono segnalarlo alla Base Station appartengono al medesimo flusso di traffico, un worst case molto poco probabile vista la natura dei fenomeni in gioco. Inoltre l'altra caratteristica per la quale la pioggia è stata individuata come use case di interesse riguardava il fatto che essa non rappresenta una criticità tale da mettere immediatamente a rischio l'incolumità dei passeggeri a bordo dei veicoli che la incontrano o da rendere impossibile il transito sul tratto stradale interessato, come avviene nel caso di incidente. E se si tiene in conto anche che tutta la classe delle criticità che questo caso d'uso rappresenta sono caratterizzate dal fatto che non insorgono "istantaneamente" ma si originano in un arco di tempo più ampio ci si rende conto di come in realtà anche pochi minuti per la rivelazione degli allarmi siano in realtà un tempo pienamente compatibile con le necessità dettate da questo caso d'uso.

3. Discussione dei risultati

3.1. Introduzione

Per poter validare l'introduzione di un nuovo approccio all'erogazione di un servizio di infomobilità come quello oggetto di questo lavoro si ha la necessità di verificare diverse condizioni:

- la capacità dei diversi elementi della catena di dialogare correttamente fra loro;
- la capacità dell'intera architettura di fornire un servizio end to end con tempistiche e prestazioni coerenti con le necessità dettate dalla natura del contesto in cui lo si espleta;
- l'effettiva capacità di introdurre elementi migliorativi rispetto a quanto già disponibile sul mercato.

Nel paragrafo 2.3.5 sono stati esposti i risultati relativi ai primi due aspetti dell'indagine.

L'ultimo aspetto è particolarmente rilevante poiché consente di valutare, unitamente alle caratteristiche più tecniche, anche le prime indicazioni riguardanti le potenzialità sul mercato del prodotto proposto. Si tratta di una prima fase in cui si vuole verificare che il nuovo approccio sia effettivamente in grado di fornire prestazioni tali da introdurre un miglioramento apprezzabile rispetto a quanto già disponibile sul mercato.

In questo lavoro si sono accumulati dati di simulazioni e ragionamenti quantitativi sufficienti a effettuare un confronto prestazionale fra i servizi che sono erogabili attraverso il paradigma V2V implementato attraverso il protocollo già previsto dall'IEEE per le comunicazioni vehicol to vehicol e questa nuova proposta di implementazione del paradigma V2I2V basata sull'impiego del protocollo OMA-DM e della rete cellulare. In questo capitolo saranno dunque poste a confronto le prestazioni ottenibili mediante l'architettura centralizzata da noi proposta con i risultati delle simulazioni dell'approccio attraverso il protocollo IEEE 802.11p, già riportate nel paragrafo 2.2.

3.2. Confronto dei risultati ottenuti

L'intero paragrafo 2.2 è stato incentrato sull'esposizione dei risultati delle simulazioni effettuate per verificare la bontà delle prestazioni dei servizi infomobilità erogabili mediante l'approccio V2V attraverso il protocollo dedicato IEEE 802.11p.

In particolare nel sotto paragrafo 2.2.4.3 si sono discussi i risultati ottenuti nello use case "Incidente" mentre nel sotto paragrafo 2.2.5.3 si sono descritti i risultati riportati nel caso d'uso "Pioggia".

Per quanto concerne gli aspetti di qualità del servizio espresso in termini di capacità di informare correttamente il maggior numero di veicoli lungo la strada i risultati ottenuti possono essere riorganizzati nelle seguenti tabelle:

	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Traffico intenso velocità:13.5m/s	98	98	98	98	98	98	98	98	98
Poco traffico velocità:13.5m/s	95	94	88	73	64	1	-	-	-
traffico rurale velocità:13.5m/s	81	3	-	-	-	-	-	-	-
Traffico intenso velocità:30m/s	96	96	96	96	95	88	77	51	43
Poco traffico velocità:30m/s	80	-	-	-	-	-	-	-	-
Traffico rurale velocità:30m/s	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabella 3: Prestazioni V2V – Caso d'uso Pioggia

	13.5m/s	30 m/s
Traffico intenso	92	91
Poco traffico	91	82
Traffico rurale o notturno	91	51

Tabella 4: Prestazioni V2V – Caso d'uso Incidente

Nelle due tabelle è riportata la percentuale di veicoli che riceve correttamente la segnalazione del pericolo nei vari scenari. Nel caso d'uso di pioggia essa è riportata anche in funzione dei diversi valori della soglia che il ricevitore, posto su ciascun veicolo, deve implementare per contrastare l'insorgenza di potenziali falsi allarmi. Il quadro che si trae

dall'ispezione delle tabelle mostra come l'approccio V2V dimostri in entrambi i casi d'uso capacità prestazionali fortemente influenzate dallo scenario di traffico indagato. Risente dell'abbassarsi della densità di traffico e dell'aumento delle velocità di percorrenza poiché questi parametri determinano l'aumento della distanza tra i veicoli e le prestazioni del protocollo IEEE 802.11p, essendo dedicato alle comunicazioni short range, degradano rapidamente all'aumentare di tale grandezza.

Si nota come in realtà con l'approccio V2V in alcuni scenari non sia assolutamente possibile effettuare il servizio. Tutto ciò è molto evidente soprattutto per il caso d'uso di pioggia nel quale si nota come negli scenari di minor traffico anche per livelli di soglia bassi il sistema inizia a non essere in grado di informare correttamente nessuna macchina. Il caso limite è rappresentato dallo scenario di traffico rurale o notturno con velocità di percorrenza di 50 m/s (≈ 100 Km/h) per il quale il meccanismo di trasmissione dei messaggi da veicolo a veicolo non riesce ad innescarsi e quindi, per qualunque livello di soglia, l'approccio V2V risulta essere totalmente inefficace per l'erogazione del servizio.

Utilizzando invece l'approccio V2I2V la capacità di trasmettere i messaggi di allarme a tutti i veicoli su una cella viene demandata interamente al servizio di Cell Broadcast che la rete cellulare già mette a disposizione. In questo modo le prestazioni del servizio sono interamente svincolate dalla densità di traffico o dalla velocità di percorrenza e si può ritenere che esse siano in ogni contesto valutabili con la probabilità di fuori servizio che è prevista per il sistema di telecomunicazione cellulare. Questo parametro è imposto dalle autorità ed è attualmente fissato al 5%.

Per quanto riguarda i tempi, i risultati ottenuti per l'approccio V2V sono riassumibili nelle seguenti tabelle.

VELOCITA'	DENSITA' DI TRAFFICO		
	Traffico intenso	Poco traffico	Traffico rurale/notturno
13.5 m/s	2815	2672	2122
30 m/s	409	3107	/

Tabella 5: Tempi V2V – Caso d'uso Pioggia

	DENSITA' DI TRAFFICO		
VELOCITA'	Traffico intenso	Poco traffico	Traffico rurale/notturno
13.5 m/s	202	831	1081
30 m/s	313	1311	1699

Tabella 6: Tempi V2V – Caso d'uso Incidente

In queste due tabelle è riportato il tempo (in secondi) necessario per consentire all'informazione di "risalire" il flusso di traffico veicolare e trasportare l'informazione di allarme sino al margine del playground considerato (2700m dal luogo di inizio della criticità). Anche sotto questo aspetto l'approccio V2V mostra una grande sensibilità al cambiamento degli scenari di traffico ma soprattutto si rende evidente come la natura short range del protocollo impedisca la ritrasmissione del segnale di allarme a grandi distanze in tempi ragionevoli. Basti considerare ad esempio che nel caso d'uso di pioggia e in uno scenario di poco traffico con velocità di percorrenza di 50m/s sono necessari più di 50 minuti prima che si riesca ad avvisare un veicolo alla distanza di 2700 metri. Tempi minori sono necessari invece nel caso d'uso d'incidente e questo in virtù del fatto che ciascun veicolo ritrasmette in broadcast il segnale d'allarme appena ricevuto il primo messaggio di segnalazione. Anche in questo caso però il protocollo IEEE 802.11p mostra i suoi limiti nel trasportare il segnale a distanza attraverso un meccanismo di multi hop. Si nota infatti che anche se il messaggio è ritrasmesso dopo la prima ricezione della segnalazione in uno scenario di traffico notturno o rurale ed alla velocità di percorrenza di 50 m/s sono necessari circa 28 minuti per far risalire l'informazione di 2700 metri.

Da quanto esposto nel paragrafo 2.2.5.2 si evince invece che L'approccio V2I2V, nel caso d'uso di incidente, è in grado di affrontare la fase di upload (e quindi di acquisizione della conoscenza della criticità), di elaborazione e di download dell'informazione a tutti i veicoli entro il raggio di copertura in meno di due secondi. Anche per questo tipo di approccio nel caso d'uso di pioggia le tempistiche si dilatano poiché si dilata il tempo necessario affinché un numero sufficiente di veicoli segnalino la criticità in modo tale che la soglia, questa volta gestita in maniera centralizzata, sia superata. Anche considerando il caso peggiore in cui la criticità interessi una sola strada a senso unico e lo scenario di traffico sia quello di un traffico rurale (180 veh/h) e si voglia considerare la soglia massima utilizzata in questo lavoro (10 messaggi

ricevuti per ritenere reale la segnalazione), il tempo necessario all'acquisizione risulta essere di circa 3'20'' e conduce ad un tempo totale di erogazione del servizio stimabile in circa 3'22''. Si tratta di valori molto diversi da quelli calcolati nel caso di approccio V2V, che in realtà in uno scenario di traffico con gli stessi parametri non riesce proprio ad erogare il servizio.

Le caratteristiche su cui sono state confrontate le prestazioni dei due approcci sono riassumibili nella seguente tabella.

V2V	V2I2V
<ul style="list-style-type: none"> ❑ Richiede elevati tempi di propagazione dell'informazione ❑ Capacità di distribuire correttamente gli allarmi ai veicoli fortemente dipendente dagli scenari di traffico 	<ul style="list-style-type: none"> ❑ Tempi di acquisizione e ritrasmissione dell'informazione <2sec. ❑ Capacità di distribuire correttamente gli allarmi indipendente su tutti gli scenari di traffico

Tabella 7: Confronto degli approcci V2V e V2I2V

4. Conclusioni e prospettive future d'indagine

Il lavoro presentato in questa tesi è stato volto a proporre un nuovo paradigma per la generazione di servizi di infomobilità. Il nuovo approccio ipotizzato prevede la trasformazione dell'autoveicolo in uno smart environment capace di rilevare attraverso i sensori di bordo ciò che accade sulla strada e fornire al conducente le segnalazioni di allarme e i suggerimenti sulle azioni da compiere per minimizzare sia i rischi per l'incolumità dei viaggiatori, sia i disagi alla viabilità.

L'architettura ipotizzata prevede l'accentramento di tutte le segnalazioni provenienti dai veicoli in forma di big data attraverso la rete di comunicazione cellulare e l'utilizzo della stessa per le ritrasmissioni delle segnalazioni elaborate verso i veicoli implementando il paradigma V2I2V.

A questo scopo è stato individuato un router che è possibile interfacciare direttamente al bus che trasporta i segnali di tutti i sensori a bordo di un veicolo e che è in grado di trasmettere le informazioni da essi ricevuti alla Base Station attraverso il protocollo OMA-DM. Si è inoltre individuata una prima modalità per la ritrasmissione prevedendo di poter sfruttare il servizio di Cell Broadcast che è già messo a disposizione dalla rete di telefonia mobile.

Il lavoro si è incentrato sia sul verificare che le caratteristiche degli apparati coinvolti nella catena trasmissiva fossero in grado di erogare i servizi previsti valutando la capacità acquisire e di ritrasmettere correttamente le informazioni e verificando che le trasmissioni richiedessero tempi compatibili con le necessità del contesto automotive.

Per ottenere una validazione dell'approccio proposto più significativa sotto il profilo della sua reale introduzione sul mercato si è effettuata per via simulativa l'analisi delle stesse prestazioni ottenibili impiegando invece un approccio V2V mediante il protocollo IEEE 80.11p appositamente dedicato alle comunicazioni fra i veicoli.

Dal confronto con delle prestazioni ottenibili per i due approcci è emerso chiaramente come l'architettura da noi proposta introduca la possibilità di ottenere servizi migliori, sotto il profilo della tempestività e soprattutto sotto il profilo della universalità del servizio. I dati ottenuti hanno infatti evidenziato una grande sensibilità dell'approccio V2V al mutare degli scenari con conseguente incapacità di fornire un servizio valido quando la densità di traffico è bassa e gli autoveicoli sono molto distanti fra loro. Questa problematica viene superata dall'architettura da noi proposta proprio mediante l'introduzione di una infrastruttura centralizzata grazie alla quale tutte le comunicazioni in gioco avvengono fra ciascun veicolo e la

Base Station della cella nella quale si trova, essendo così completamente indipendenti dagli scenari di traffico.

Per quanto riguarda le prospettive future rimangono aperti diversi aspetti:

- la progettazione del sistema informatico centralizzato che effettivamente aggrega i messaggi ricevuti e li gestisca sotto forma di Big Data;
- l'implementazione delle API da mettere a disposizione delle terze parti che si occupino dello sviluppo delle applicazioni;
- la possibilità di prevedere altri strumenti di ritrasmissione delle informazioni generate dalle applicazioni verso i veicoli.

I primi due aspetti sono strettamente di tipo informatico mentre, ponendosi come obiettivo l'ampliamento e il miglioramento dei servizi erogabili, ben più interessante potrebbe essere invece l'approfondimento del terzo. In particolare si potrebbe pensare di sfruttare il fatto che il router posto a bordo di ciascun veicolo può essere univocamente indirizzabile in quanto dotato di una Sim Card. Ciò vuol dire che è possibile pensare di identificare strategie di ritrasmissione per le quali le applicazioni possono generare messaggi diversificati da fornire ciascuno a uno specifico utente, al fine di gestire al meglio le situazioni di criticità che insorgono lungo la sede stradale. La ritrasmissione in broadcast del messaggio di allarme a tutti i veicoli nel raggio di copertura di una cella, limita di fatto la possibilità di intervento alla sola segnalazione o al più all'indicazione di una sola modalità di reazione valida per tutti indistintamente. La possibilità di indirizzare messaggi specifici a ciascun veicolo consentirebbe invece di passare al concetto di un vero servizio di "gestione automatica del traffico". Un servizio che si occupi quindi non solo di fornire informazioni ai conducenti dei veicoli ma anche di gestire in maniera intelligente il traffico stradale associando ciascun veicolo ad un diverso flusso di traffico da indirizzare in modo da minimizzare i pericoli e i disagi sull'intera rete gestita nel suo complesso.

Bibliografia

Big Data Insight Group (2012) *What businesses can learn from big data and high performance analytics in the manufacturing industry*.

Available at <http://www.thebigdatainsightgroup.com/site/content/applied-insight-series-%E2%80%93-%E2%80%98what-businesses-can-learn-big-data-and-high-performance-analytics->

Center for Economics and Business Research (2012) *Data Equity – Unlocking the value of big data*. Available at <http://www.sas.com/offices/europe/uk/downloads/data-equity-cebr.pdf>

Commissione Europea - Direzione Generale Mobilità e Trasporti (2013), *Final Report*. Available at http://ec.europa.eu/transport/facts-fundings/studies/index_en.htm

Commissione Europea – Direzione Generale Mobilità e Trasporti (2011) *Intelligent transport systems in action (Action plan and legal framework for the deployment of intelligent transport systems - ITS in Europe)*.

Available at http://ec.europa.eu/transport/media/publications/index_en.htm

Commissione Europea (2001) *Libro Bianco “La politica europea dei trasporti fino al 2010: il momento delle scelte”*. Available at www.mit.gov.it/mit/mop_all.php?p_id=04864

Commissione Europea (2010) *European Directive 2010/40/Ec On the Framework For The Deployment Of Intelligent Transport Systems In The Field Of Road Transport And For Interfaces With Other Modes Of Transport*

Computing Community Consortium (2011). *Challenges and Opportunities with Big Data*. Available at www.cra.org/ccc/docs/init/bigdatawhitepaper.pdf

IEEE Computer Society (2010), *IEEE Standard for Information Technology – Telecommunications and information Exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, Amendment 6: Wireless Access in Vehicular Environment*, 15 July 2010.

Jiang D., Delgrossi L. (2008) *IEEE 802.11p: Towards an International Standard for Wireless Access in Vehicular Environments*, IEEE

McKinsey Global Institute (2011) *Big Data: The next frontiers for innovation, competition, and productivity*. Available at

http://www.mckinsey.com/insights/business_technology/big_data_the_next_frontier_for_innovation

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (2001) *Piano Generale dei Trasporti e della Logistica*, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Servizio Programmazione e Pianificazione.

Ministero delle infrastrutture e dei trasporti (2009). *Conto Nazionale delle Infrastrutture e dei Trasporti - Anni 2009-2010*. Available at www.mit.gov.it/mit/site.php?p=cm&o=vd&id=1858

Ministero delle infrastrutture e dei trasporti (2010). *Piano Nazionale della Logistica 2011/2020*. Available at http://www.mit.gov.it/mit/mop_all.php?p_id=12956

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (2011) *Directive 2010/40/EU of the European Parliament and of the Council of 7 July 2010, Report on national activities and projects regarding the priority sectors/ Italy's contribution September 2011*

Nessi- Networked European Software and Services Initiative (2012) *Big Data White Paper. A new world of opportunities*,

Available at <http://www.nessi-europe.com/?page=Newsdetails&ListID=2&RowID=408>

Open Mobile Alliance – OMA (2012) *Diagnostics and Monitoring Trap Management Object, Approved Version 1.0 – 13 Mar 2012*, Available at

http://technical.openmobilealliance.org/Technical/release_program/diagmon_v1_2.aspx

Open Mobile Alliance – OMA (2011) *DM DiagMon Architecture, Approved Version 1.0 – 20 Dec 2011*, Available at

http://technical.openmobilealliance.org/Technical/release_program/diagmon_v1_2.aspx

Open Mobile Alliance - OMA (2008) *OMA Device Management Protocol, Approved Version 1.2.1 – 17 Jun 2008*, Available at

http://technical.openmobilealliance.org/Technical/release_program/diagmon_v1_2.aspx

Young M. J. (2013) *Automotive innovation: big data driving the changes*. April 17, 2013.

Available at <http://www.thebigdatainsightgroup.com/site/article/automotive-innovation-big-data-driving-changes>