

INDICE

INTRODUZIONE	-----
CAPITOLO 1	-----
1.1 Cenni sulla tecnologia wireless	-----
1.2 Reti wireless	-----
1.2.1 Architettura reti wireless	-----
1.2.2 Il problema del terminale esposto/nascosto	-----
1.3 Bluetooth	-----
1.3.1 Architettura bluetooth	-----
1.4 Standard per reti wireless	-----
1.4.1 Standard IEEE 802.11	-----
1.5 Reti AD HOC	-----
1.5.1 Elementi fondamentali di una rete ad hoc	-----
1.6 Reti MANET: Scenario	-----
1.6.1 Routing nelle MANET	-----
1.6.2 Problematiche delle MANET	-----
CAPITOLO 2	-----
2.1 La comunicazione tra veicoli	-----
2.1.1 Tipi di comunicazione interveicolare	-----
2.2 Reti VANET: Scenari, tecnologie, sviluppo, applicazioni	-----
2.2.1 Altre caratteristiche	-----
2.2.2 Modalità di comunicazione	-----
2.2.3 Modelli di mobilità per le reti VANET	-----
2.3 802.11p storia e mercato	-----
2.3.1 DSRC	-----
2.4 Sicurezza	-----
2.4.1 Classificazione degli attacchi su una rete VANET	-----
2.4.2 Classificazione degli attacchi in base agli obiettivi	-----
2.4.3 Classificazione degli attacchi in base alla rilevazione	-----
2.4.4 Tecniche per la sicurezza nelle VANET	-----

CAPITOLO 3-----

- 3.1 Introduzione-----
- 3.2 Livello fisico-----
- 3.3 Il livello MAC per reti veicolari-----
- 3.4 Protocollo VMAC-----
 - 3.4.1 Modello di propagazione-----
 - 3.4.2 Struttura della trama-----
 - 3.4.3 Classificazione degli slot-----

CAPITOLO 4-----

- 4.1 Descrizione-----
- 4.2 Protocollo ADHOC MAC-----
- 4.3 Un protocollo MAC sicuro per applicazioni DSRC (VANET)-----
- 4.4 Protocollo MAC cognitive-----
- 4.5 VeSOMAC-----
- 4.6 Soft MAC per VANET-----
 - 4.6.1 SDMA-OFDMA in Soft MAC-----
 - 4.6.2 Problemi per SDMA-----
- 4.7 TDMA in SOFT MAC-----
- 4.8 CMPP Clustering-based multi-channel map protocol in VANET-----
- 4.9 MS-ALOHA (Mobile Slot Aloha per VANET)-----
- 4.10 Algoritmo di miglioramento centralizzato-----

CAPITOLO 5-----

- 5.1 Introduzione-----
- 5.2 Analisi dei sistemi veicolari-----
- 5.3 Rapidi cambiamenti della topologia di rete-----
- 5.4 Analisi delle performance per un protocollo MAC sicuro-----
- 5.5 Performance del protocollo ADHOC MAC-----
- 5.6 Performance del protocollo Soft MAC-----
- 5.7 Performance del protocollo VeSOMAC-----

5.8 Conclusioni-----

Indice delle figure-----

Ringraziamenti-----

Bibliografia-----

INTRODUZIONE

L'aumento del traffico nelle autostrade, strade urbane ed extra urbane comporta un aumento della difficoltà nella guida per i conducenti di veicoli di qualsiasi tipo rendendo critico il problema della sicurezza stradale. Tali difficoltà comportano un aumento dello stress dei conducenti e di conseguenza un aumento dei rischi (incidenti, ostacoli improvvisi, intemperie climatiche ecc.). La domanda che ci poniamo è: "Come può aiutarci la tecnologia a rendere più sicuri i nostri spostamenti sulle strade"? La ricerca scientifica effettuata da enti statali, aziende private, multinazionali automobilistiche come Renault, Toyota, Bmw e dal mondo accademico sta dando numerosi frutti in aiuto alle nuove problematiche riguardanti la sicurezza stradale. La ricerca è indirizzata alla realizzazione di tecnologie che possano aiutare il conducente alla guida e a rendere più sicura la percorrenza di tragitti stradali. In un primo momento gli studi sulla sicurezza sono stati focalizzati sulla realizzazione di dispositivi basati sulla fisica del veicolo. Sono stati studiati sistemi di assorbimento degli urti (airbag), sistemi che cercano di ridurre i rischi di traumi fisici al conducente e ai passeggeri, sono stati sviluppati sistemi che migliorano la stabilità e l'assetto della vettura (ESP) e sistemi di miglioramento della frenata (ABS), dando però scarsa attenzione alla cooperazione tra veicolo e veicolo o tra veicoli e strade che in realtà formano l'intero sistema viario. Grazie all'ausilio di sistemi di comunicazione sempre più efficienti e l'uso di reti satellitari permanenti che forniscono servizi di localizzazione geografica, oggi è possibile studiare gli aspetti di cooperazione tra veicoli.

L'automobile oggi rappresenta quindi un campo applicativo estremamente importante per l'industria elettronica, l'aggiunta di sistemi di comunicazione wireless ha fatto fare alle automobili dei progressi significativi. Oltre alla tradizionale radio AM-FM (oggi aggiornata per ricevere segnali digitali Dab), le auto sono e saranno dotate di un numero crescente di ricevitori o ricetrasmittitori di vario genere. Tra essi il ricevitore GPS per la navigazione satellitare, un eventuale telefono cellulare di bordo, radio a corto raggio (Wlan) per la trasmissione di dati per la comunicazione con apparati collocati a lato della strada e per lo scambio dati con altri veicoli. Queste ultime applicazioni, che rientrano nel campo dei sistemi di trasporto intelligenti (ITS), utilizzeranno sistemi

denominati DSRC (Dedicated Short Range Communications) e saranno rivolti ad applicazioni quali la prevenzione delle collisioni agli incroci, la segnalazione di ambulanze o altri veicoli con priorità, la visualizzazione sul cruscotto di messaggi corrispondenti ai segnali stradali.

L'obiettivo di questa tesi è proprio lo studio delle reti interveicolari (IVC-Inter Vehicular Network) e delle comunicazioni tra tali reti, le VANET (Vehicular Ad-hoc NETwork). I veicoli che percorrono una strada, inviano ai propri vicini (veicoli che si trovano all'interno dell'area di copertura del raggio di azione del trasmittente) delle informazioni varie come ad esempio lo stato del territorio, i dati riguardanti la propria velocità e direzione, il tipo di strada, il traffico, permettendone la gestione e l'assistenza al guidatore (le auto "parlano" tra di loro). In un giorno non lontano, descrivere il malfunzionamento di una rete con la frase "i dati si perdono per strada" non sarà solo un modo di dire. Questo è ciò che non si augurano i costruttori di auto e l'industria delle telecomunicazioni che riguardano lo sviluppo delle reti interveicolari. Anche se i primi studi su queste reti risalgono all'inizio degli anni 80' in Giappone, l'idea di realizzare concretamente piattaforme di comunicazione interveicolari ha ricevuto un nuovo impulso solo recentemente, grazie alla diffusione delle tecnologie radio e ai protocolli di accesso della famiglia IEEE 802.11. La stessa organizzazione si è affrettata a creare un nuovo gruppo di lavoro denominato IEEE 802.11p, che è l'incaricato della comunicazione interveicolare ed è un discendente di IEEE 802.11a.

Di cosa esattamente sarebbero capaci le Inter-Vehicular-Network? Lo leggiamo nei primi documenti rilasciati dal gruppo IEEE 802.11p che affermano: "L'obiettivo del progetto è di modificare i protocolli 802.11 per supportare comunicazioni tra veicoli in movimento (cioè comunicare "in corsa"), o tra veicoli e punti di accesso localizzati lungo la strada, a velocità di punta di 200 Km/h, con un raggio di comunicazione fino a 1000 metri". Se si considera che le attuali comunicazioni Wi-fi, che pure fanno parte della stessa famiglia, perdono di efficacia appena la velocità relativa tra terminale mobile e punto di accesso supera i 10 Km/h, la sfida si presenta molto interessante. I veicoli che ricevono questi messaggi dai nodi trasmittenti acquisiscono informazioni utili alla viabilità. Alla ricezione di ogni messaggio, un veicolo valuta le informazioni contenute al suo interno per poi prendere delle decisioni. Successivamente queste informazioni vengono inoltrate ai propri vicini oppure vengono scartate. La

realizzazione di sistemi di comunicazione veicolo-veicolo o anche veicolo-strade è stata possibile grazie agli studi compiuti negli ultimi dieci anni. In questo periodo, infatti, si è avuto un notevole sviluppo nel campo delle reti wireless e nel campo delle reti "auto-organizzanti", cioè reti che non richiedono alcuna infrastruttura fissa (le famose reti ad hoc). Immaginiamo quindi di essere sull'autostrada (ovviamente ogni strada andrebbe bene per l'esempio), c'è nebbia e all'improvviso una voce sintetizzata ci avverte che a distanza di un chilometro, ben oltre il raggio visuale, c'è un forte rallentamento della marcia per un improvviso peggioramento delle condizioni di visibilità. Se la nostra automobile non dispone di un radar, come può informarci su quello che sta succedendo un chilometro più avanti? La risposta a questa domanda è semplicissima se si suppone che i veicoli che ci precedono possano aver trasmesso tale informazione. L'idea che sta alla base degli studi sulle VANET è di tipo bionico, ossia si sono trasferiti alla tecnologia gli spunti provenienti dal comportamento dei sistemi biologici. Nello specifico, l'ispirazione viene dall'osservazione dei comportamenti di uno sciame di api (swarming) o di un formicaio (anting). Essa nasce dalla tecnica usata dalle api e dalle formiche per scambiarsi tra loro informazioni utili alla viabilità del percorso. In poche parole, una formica esploratrice traccia un percorso olfattivo su un'area geografica, successivamente altre formiche, in prossimità dell'area interessata, "acquisiscono" le informazioni e la capacità di determinare la direzione corretta da intraprendere. Tale concetto viene riportato ai veicoli e all'intero sistema viario, cioè viene traslato nel campo delle reti. A questo punto una domanda sorge spontanea: visto l'alto grado di sicurezza che le reti veicolari sono in grado di offrire, perché non sono già installate su tutti i veicoli? Tutto quanto detto sembra di una facilità estrema, ma è tecnologicamente complesso da realizzare.

Le VANET sono una sottocategoria delle MANET (Mobile ad-hoc Network), in cui i nodi sono veicoli e quindi si muovono a velocità ragguardevoli in senso relativo (tra di loro) e assoluto (rispetto a punti di riferimento fissi). Si tratta di reti wireless che si basano sulla comunicazione cooperativa tra nodi paritetici, senza necessità di punti di accesso fissi, che formano configurazioni dinamiche e sempre in mutamento, ad-hoc appunto. Il problema principale delle MANET e ancor più delle VANET, su cui sono a lavoro i laboratori delle università e delle aziende di tutto il mondo, si riassume in una parola: "INSTRADAMENTO", o se si preferisce "ROUTING". Gli algoritmi di routing tradizionali, infatti, basati sui vettori delle distanze (Distance Vector), non si adattano a

questo tipo di reti, in quanto non sono in grado di gestire l'alta mobilità dei nodi. Come si può quindi far pervenire i dati dove voglio se posso comunicare a distanza limitata (si parla di poche centinaia di metri al massimo) e se la configurazione dei nodi che mi circondano cambia continuamente? Non è un problema banale se si considera che oltre a riuscire a comunicare devo anche poterlo fare con prestazioni interessanti, in tempi non lunghi e senza intasare la rete di messaggi inutili. Come esempio possiamo immaginare di dover inviare un messaggio a un veicolo dietro di noi che viaggia alla velocità di 200 Km/h e il contenuto del nostro messaggio è un warning: "Attenzione pericolo incidente a 80 metri". Il conducente del veicolo riuscirà a ricevere in tempo il messaggio e a frenare prima di causare altri danni?

La soluzione ai nostri problemi potrebbe risiedere nel "geocasting", ossia la trasmissione che viene instradata a tutti i nodi presenti in una determinata area geografica e non più logica, come nelle reti tradizionali, fino ad arrivare al nodo di destinazione tenendo in considerazione la necessità di dover attivare sistemi di posizionamento su tutti i nodi (GPS, o in futuro GALILEO). Tutto questo deve essere legato al vincolo di dover costruire e mantenere una griglia assoluta (mesh) delle posizioni geografiche dei nodi. Molti altri ricercatori, inoltre, sollevano dei dubbi relativi alla sicurezza delle applicazioni che possono avere un impatto critico sulla conduzione di un autoveicolo. Un virus o un worm diffuso in una rete veicolare potrebbe avere conseguenze drammatiche se provocasse la mancata segnalazione di un pericolo o di un ostacolo. Infine, come in tutte le reti distribuite, è necessario affrontare il problema della privacy. Tutto il traffico destinato agli utenti finisce per attraversare altri nodi, che sono a loro volta utenti del sistema. È quindi essenziale che meccanismi robusti di trasmissione sicura siano standardizzati e implementati prima che gli apparati raggiungano il mercato (a differenza di quanto è accaduto con le WLAN).

L'obiettivo principale delle VANET è quello di fornire sicurezza e comfort per i passeggeri. A tal fine uno speciale dispositivo elettronico sarà inserito all'interno di ogni veicolo e questo creerà una rete ad-hoc di connettività per i passeggeri. Gli sforzi fatti, grazie all'adozione di tecnologie avanzate, relative ai settori dell'ingegneria, rendono i tempi maturi per compiere un grande passo in avanti: far diventare l'automobile un'entità in grado di cooperare con i veicoli che la circondano. La natura del canale wireless e le caratteristiche di una VANET pongono numerose

sfide riguardanti l'utilizzo efficiente delle risorse trasmissive. Solo con un'attenta progettazione dei protocolli di instradamento dei pacchetti è possibile sfruttare pienamente le potenzialità offerte da questa tipologia di rete. In ambito veicolare il problema maggiore per qualsiasi algoritmo di instradamento è l'elevata mobilità dei nodi, la quale inevitabilmente determina frequenti modifiche e partizionamenti della topologia di rete.

Vediamo brevemente le principali aree di applicazione discusse in questa tesi:

- ✓ *Sicurezza stradale.* Veicoli che fanno parte di una IVN possono ricevere dei messaggi di allarme da altri veicoli, anche in modalità automatica, quando sulla carreggiata è presente un ostacolo o quando si è verificato un incidente e la scarsa visibilità non consentirebbe una frenata tempestiva. In condizioni non di emergenza, tale allarme potrebbe comunque servire per scegliere percorsi alternativi che evitino lunghe code. Un segnale di cautela potrebbe essere inviato nell'abitacolo quando due veicoli si dirigono verso un incrocio cieco. L'interazione con punti di accesso ai bordi della strada potrebbe anche attivare segnali luminosi che suggeriscano maggiore prudenza;
- ✓ *Gestione del traffico.* Se la concentrazione di veicoli equipaggiati con tecnologie IVN è sufficientemente elevata, l'introduzione di veri e propri semafori intelligenti farebbe svanire le snervanti attese ad un incrocio in cui, il flusso di auto nella direzione trasversale alla nostra fosse pressoché nullo. I semafori non dovrebbero far altro che raccogliere ed elaborare le indicazioni di distribuzione del traffico lungo le direttrici dell'incrocio e pesare in modo proporzionale i cicli rosso-verde. Inoltre, l'arrivo di veicoli di emergenza potrebbe essere rilevato in anticipo, forzando un segnale rosso su tutti i lati dell'incrocio ben prima che questo venga occupato da un'autoambulanza o da una camionetta dei pompieri;
- ✓ *Informazioni per i viaggiatori.* La diffusione di informazioni turistiche (ristoranti, musei, cinema) o di servizio (ospedali, parcheggi) nell'area attraversata dal veicolo potrebbe essere convogliata direttamente sulla IVN, sia attraverso altri nodi della Vanet, sia attraverso paline informative con interfaccia radio.

L'obiettivo del mio lavoro è quello di fornire una panoramica sulle reti argomentate precedentemente, con particolare riferimento alle principali caratteristiche, agli ambienti di sviluppo, alle problematiche, alle possibili soluzioni ad esse connesse e allo studio delle performance, per ottenere un riscontro pratico con la realtà. In particolare il mio studio viene strutturato nel modo di seguito illustrato:

La tesi è divisa in cinque capitoli. Il primo capitolo è di introduzione e richiama alcuni concetti particolari riguardo la comunicazione wireless, la classificazione di tali reti e l'architettura di comunicazione. Una particolare attenzione è fatta descrivendo la tecnologia bluetooth, nata per la creazione di piccole reti ad-hoc. Viene inoltre fornita una panoramica delle reti ad hoc generiche, con gli elementi fondamentali che descrivono una tale rete, ovvero vantaggi e svantaggi e delle reti MANET, che sono un caso particolare di rete ad-hoc. Il secondo capitolo introduce le reti VANET come caso particolare delle reti MANET, con caratteristiche, problemi e soluzioni adottate. Si discutono le differenze tra le due reti in termini di organizzazione topologica, mobilità dei nodi ecc. Il capitolo inoltre classifica e descrive i vari sistemi di comunicazione veicolare (VC), cita la storia di IEEE 802.11p con particolare riferimento al DSRC e al WAVE. Un'attenta analisi è fatta per l'importante problema legato alla sicurezza, con la classificazione degli attacchi alla rete, classificazione in base agli obiettivi e alla rilevazione. Vengono introdotte delle tecniche per la sicurezza, come l'autenticazione, l'identificazione e la verifica della consistenza dei dati. Il capitolo 3 tratta il livello fisico e pone l'attenzione sul problema dell'accesso al mezzo (MAC), descrivendo le differenze fondamentali tra 802.11p e 802.11a. Si discute delle due tecnologie "Spread Spectrum" legate al livello fisico (PHY), ovvero la FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) e la DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum). Sono rappresentati il diagramma a blocchi che riguarda lo strato fisico 802.11p e la modulazione OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) usata da questi sistemi. Il capitolo 4 analizza vari protocolli e algoritmi del livello MAC adatti agli ambienti veicolari, mettendo in evidenza le caratteristiche di ognuno essi con vantaggi e svantaggi. Infine il capitolo 5 introduce l'analisi delle performance e conclude la tesi indicando i possibili sviluppi futuri.