

Indice

Introduzione	I
Capitolo 1 – Reti wireless ad-hoc.....	1
1.1 Introduzione	1
1.2 Le reti wireless.....	1
1.3 Le reti MANET.....	3
1.3.1 Principali caratteristiche delle reti MANET	3
1.3.2 Problematiche	4
1.3.3 Protocolli di routing	6
1.3.3.1 Classificazione dei protocolli di routing.....	7
1.3.3.2 Protocolli proattivi.....	7
1.3.3.3 Protocolli reattivi.....	7
1.3.3.4 Protocolli ibridi.....	8
1.3.3.5 Il protocollo AODV.....	8
1.4 Le reti VANET	12
1.4.1 Differenze tra MANET e VANET.....	13
1.4.2 Applicazioni e scenari di utilizzo.....	14
1.5 L’architettura protocollare WAVE.....	17
1.5.1 Componenti di un sistema WAVE.....	18
1.5.2 Stack dei protocolli.....	19
Capitolo 2 – Il livello fisico nelle VANET.....	22
2.1 Introduzione.....	22
2.2 Il PHY Layer di 802.11p.....	22
2.3 Principali modelli di propagazione radio.....	26
2.4 Analisi del canale wireless in ambito VANET.....	28
2.5 Algoritmo di posizionamento wireless.....	42
Capitolo 3 – Il sottolivello MAC nelle VANET.....	49
3.1 Introduzione.....	49
3.2 Il protocollo del sottolivello MAC di 802.11.....	49
3.2.1 La tecnica CSMA/CA.....	50

3.2.2 Risoluzione del problema della stazione nascosta tramite RTS/CTS.....	51
3.2.3 Frammentazione.....	53
3.2.4 ACKnowledgements.....	54
3.2.5 <i>Interframe Space</i> (IFS).....	54
3.2.6 <i>Point Coordination Function</i>	55
3.3 Il livello MAC di 802.11p.....	56
3.4 Lo standard IEEE 1609.4.....	58
3.4.1 Sincronizzazione temporale.....	59
3.5 Protocolli di accesso al mezzo condiviso in ambito VANET.....	59
3.5.1 Il protocollo DMAC/NT.....	59
3.5.2 Il protocollo CMMP.....	64
3.5.3 Il protocollo CMV.....	70
Capitolo 4 – Il routing nelle reti VANET.....	79
4.1 Introduzione.....	79
4.2 Classificazione dei protocolli di routing.....	79
4.3 Il broadcasting nelle VANET.....	80
4.4 Il protocollo PAODV.....	81
4.4.1 Descrizione dell'algoritmo di routing.....	83
4.5 Il protocollo di routing RB-MP.....	85
4.5.1 Descrizione dell'algoritmo di routing.....	85
4.5.2 Selezione dei nodi di ritrasmissione.....	89
4.5.3 Schema RB-MP.....	90
4.6 Il protocollo ODGR.....	91
4.6.1 L'algoritmo di routing in ODGR.....	92
4.6.2 Meccanismo ODGR.....	94
4.7 Il protocollo TLO.....	96
4.8 Il protocollo di routing Fcar.....	99
4.8.1 Selezione delle metriche di routing.....	101
4.8.2 Valutazione delle direzioni di spostamento.....	102
4.8.3 Stima della <i>route lifetime</i>	103
4.8.4 Modifiche dei messaggi di controllo e della tabella di routing.....	103
4.8.5 Progettazione del sistema di inferenza fuzzy e delle regole di controllo fuzzy.....	104
4.8.5.1 Configurazione del controllore fuzzy.....	104
4.8.5.2 Funzione di appartenenza fuzzy.....	105

4.8.5.3 Regole fuzzy.....	106
Capitolo 5 – Analisi delle prestazioni.....	107
5.1 Introduzione.....	107
5.2 Analisi del protocollo PAODV.....	107
5.2.1 Effetto della velocità dei nodi sul numero di collegamenti interrotti..	107
5.2.2 Effetto del numero di nodi nella rete sul numero di link interrotti... ..	108
5.2.3 Effetto della velocità dei nodi sulla lunghezza dei cammini.....	108
5.2.4 Effetto del numero di nodi nella rete sulla lunghezza dei cammini.....	110
5.3 Analisi del protocollo Fcar..	110
5.3.1 Parametri usati nella simulazione... ..	110
5.3.2 Configurazione dell’ambiente di simulazione... ..	111
5.3.3 Risultati della simulazione.....	112
5.4 Analisi del protocollo ODGR.....	116
5.4.1 Configurazione della simulazione... ..	116
5.4.2 Analisi del throughput... ..	117
5.4.3 <i>Packet loss rate</i> punto-punto	117
5.5 Analisi del protocollo di routing RB-MP	118
5.6 Analisi del protocollo TLO.....	121
5.7 Confronto tra i protocolli	125
Conclusioni	126
Bibliografia e Sitografia	129

Introduzione

Al giorno d'oggi gli autoveicoli costituiscono ancora il principale mezzo di trasporto. Sono milioni, infatti, le persone che per spostarsi utilizzano quotidianamente tali mezzi, provocando così situazioni di traffico. Proprio a causa del traffico ingente, ma anche per negligenze ed errori umani, ogni giorno si verificano numerosi incidenti che spesso portano a gravi conseguenze per la salute degli automobilisti e, talvolta, anche alla morte degli stessi. Per tali motivi i governi di molti paesi hanno iniziato ad investire fondi nel ambito dei sistemi di trasporto intelligenti (ITS). Inoltre, i recenti studi promossi da numerose aziende private, enti statali, multinazionali automobilistiche, stanno fornendo interessanti soluzioni per risolvere i problemi stradali.

La ricerca è indirizzata, in particolare, alla realizzazione di tecnologie che possano aiutare il conducente alla guida e a rendere più sicura la percorrenza di tragitti stradali. In un primo tempo gli studi sulla sicurezza sono stati focalizzati sulla realizzazione di dispositivi basati sulla fisica del veicolo: sono stati studiati, ad esempio, sistemi di assorbimento degli urti, come airbag o barre protettive laterali, sistemi che cercano di ridurre i rischi di traumi fisici al conducente ed ai passeggeri, sono stati sviluppati sistemi che migliorano la stabilità e l'assetto della vettura (ESP) e sistemi di miglioramento della frenata (ABS). Tutte queste soluzioni hanno però dato scarsa attenzione alla cooperazione tra veicolo e veicolo o tra veicoli e strade, che, in realtà, costituiscono l'intero sistema viario. Nell'ultimo periodo gli sforzi della ricerca si sono così orientati sullo studio degli aspetti di cooperazione tra veicoli, in modo che ogni conducente possa ricevere quante più informazioni utili durante la guida, come la viabilità per un determinato percorso, eventuali situazioni di pericolo, condizioni ambientali particolari. L'idea di diffondere tali informazioni si basa sulla possibilità di avere sulle vetture sistemi di comunicazione wireless e di localizzazione geografica, come il GPS. Questi tipi di dispositivi sono oggi molto diffusi, ma è facile pensare che in breve possano diventare una dotazione praticamente standard.

Recentemente si è sviluppato un interesse crescente per quanto riguarda lo studio delle capacità di comunicazione dei sistemi di trasporto. I veicoli che percorrono una strada possono formare una cosiddetta *Vehicle Ad-hoc Network* (VANET) sfruttando la tecnologia wireless per comunicare tra di loro senza usare alcuna infrastruttura predisposta. Infatti, è difficile pensare che tutte le strade possano essere coperte da

infrastrutture di comunicazione per connettere i veicoli tra loro e con Internet. È altamente probabile, invece, che i veicoli possano costituire da soli l'infrastruttura di comunicazione: una tale rete non solo potrebbe migliorare la sicurezza del traffico in maniera efficiente, ma permetterebbe anche l'esecuzione di applicazioni personalizzate attraverso comunicazioni multi-hop tra i veicoli. I veicoli moderni sono equipaggiati con diversi sensori, computer on-board e dispositivi di comunicazione che si stanno rapidamente integrando gli uni con gli altri.

All'interno di questo lavoro di tesi sono state analizzate le caratteristiche, le problematiche e le tecnologie relative alle reti VANET.

La presente tesi è così strutturata: nel primo capitolo vengono introdotte le reti wireless, con particolare riferimento alle reti wireless ad-hoc. Le reti wireless sono reti che permettono la comunicazione tra dispositivi senza che il collegamento dipenda da un cavo fisico. Il sistema di comunicazione dati si basa principalmente su trasmissioni effettuate attraverso l'uso di segnali radio ad alta frequenza. Le reti ad-hoc costituiscono una particolare tipologia di rete in cui la comunicazione avviene direttamente tra i nodi della rete senza l'ausilio di una particolare infrastruttura di controllo. Nell'ambito delle reti ad-hoc vengono analizzate in particolare le reti MANET (*Mobile Ad-Hoc Network*), che costituiscono un sistema di nodi dotati di mobilità e capacità di organizzazione dinamica in reti o sotto-reti con topologie arbitrarie. Di queste ultime vengono illustrate le caratteristiche principali e ne vengono presentate le problematiche riguardanti principalmente l'aspetto del routing. In seguito, vengono analizzate dettagliatamente le reti VANET (*Vehicular Ad-Hoc Network*), che costituiscono l'argomento principale di questo lavoro. Si tratta di una sottocategoria delle MANET. Queste reti forniscono comunicazioni dirette tra veicoli (*Vehicle-to-Vehicle*, V2V) per supportare una vasta gamma di applicazioni. Le VANET prevedono anche la possibilità di avere comunicazioni tra veicoli e postazioni stradali fisse denominate *Roadside units* (*Roadside-to-Vehicle*, R2V) per poter permettere, ad esempio, l'accesso ad Internet o consentire l'esecuzione di particolari applicazioni. Nelle VANET i nodi della rete sono i veicoli stessi, che a tale scopo vengono equipaggiati con dispositivi di radiotrasmissione.

Le VANET sono caratterizzate dall'elevata mobilità dei nodi (veicoli) e quindi dal fatto che la topologia di rete è altamente dinamica. Diverse tecnologie di comunicazione wireless sono state proposte per essere utilizzate nelle comunicazioni veicolari, come ad esempio le wireless LAN, definite dallo standard IEEE 802.11, le tecnologie

GPRS/UMTS e *Dedicated Short Range Communication* (DSRC). All'interno di questo lavoro ci siamo soffermati sulla tecnologia IEEE 802.11p, che è una diretta evoluzione della DSRC. Tale tecnologia rappresenta una modifica dello standard IEEE 802.11 per poter consentire il *Wireless Access in Vehicular Environment* (WAVE). Tale sigla fa riferimento ad un'architettura generale che oltre all'802.11p include la famiglia degli standard IEEE 1609. Ci sono molti vantaggi nell'utilizzo dell'architettura WAVE, dato che questa si basa sull'802.11, che è uno standard stabile supportato da numerosi esperti in tecnologia wireless, caratteristica necessaria per garantire l'interoperabilità tra i veicoli costruiti da produttori diversi e tra questi ultimi e le infrastrutture poste lungo le strade in diverse aree geografiche del mondo.

La descrizione dell'802.11p viene effettuata in maniera più dettagliata nei capitoli successivi. Nel secondo capitolo in particolare si esaminano le caratteristiche dello standard in questione relativamente al livello fisico del modello di riferimento OSI. Tale capitolo contiene, inoltre, un'analisi del canale wireless caratteristico dell'ambiente delle comunicazioni interveicolari e la descrizione di una tecnica alternativa al sistema GPS, utilizzata per ottenere la localizzazione dei veicoli basandosi sulla potenza e sulla qualità del segnale ricevuto da altri nodi della rete.

Nel terzo capitolo vengono affrontate le problematiche relative al controllo dell'accesso al mezzo trasmissivo nell'ambito delle reti VANET. In tali reti spesso viene richiesta la trasmissione di messaggi in broadcast, come ad esempio durante una fase di aggiornamento delle tabelle di routing oppure per supportare applicazioni di sicurezza. In questa tipologia di trasmissione molti nodi potrebbero aver bisogno del canale per trasmettere pacchetti. È quindi necessario gestire attentamente l'allocazione del canale al fine di evitare le collisioni e rendere la comunicazione tra i vari nodi possibile. Il capitolo inizia con una breve descrizione del livello MAC nello standard IEEE 802.11 e nella sua variante 802.11p. Successivamente viene descritto lo standard IEEE 1609.4 proposto per le operazioni multi-canale nell'ambito dell'architettura WAVE. Infine, vengono illustrati alcuni protocolli proposti in letteratura per il miglioramento della gestione dell'accesso al mezzo condiviso in ambito VANET.

Nel quarto capitolo abbiamo analizzato gli aspetti del routing nelle reti VANET. Inizialmente è presente una breve trattazione delle principali classi di protocolli di routing presenti in ambito VANET, facendo riferimento alle problematiche esistenti nelle comunicazioni tra i veicoli. Successivamente vengono descritti alcuni protocolli di routing presenti in letteratura che affrontano tali problematiche basandosi su

metodologie differenti. I principali problemi in tale ambito sono dovuti al fatto che nelle VANET l'infrastruttura che esegue il compito di routing è anch'essa in movimento e non geograficamente fissa.

Il quinto capitolo contiene, infine, un'analisi delle prestazioni relativa ai protocolli di routing introdotti nel precedente capitolo. In particolare, vengono riportati i risultati delle simulazioni effettuate dagli stessi sviluppatori dei protocolli, evidenziando per ognuno di essi i punti deboli e quelli di forza. In tali simulazioni è spesso preso come riferimento il protocollo AODV, il cui funzionamento è stato descritto nel primo capitolo. Segue infine una breve analisi comparativa dei protocolli in questione.