

## Sommario

<b>Introduzione .....</b>	<b>1</b>
<b>Capitolo 1.....</b>	<b>8</b>
<b>Le reti ad hoc.....</b>	<b>8</b>
1.1    Introduzione .....	8
1.2    Caratteristiche.....	10
1.3    Architettura di una rete ad hoc .....	12
1.4    Gestione dell'energia nelle reti ad hoc .....	14
1.5    Lo standard IEEE 802 .....	15
1.5.1    Il sottostrato MAC .....	17
1.5.2    Il livello fisico .....	18
1.5.3    Problema della stazione nascosta/esposta.....	19
1.6    Reti ad hoc isolate .....	21
1.6.1    Reti ad hoc isolate di grandi dimensioni.....	22
1.6.2    Reti ad hoc isolate di piccole dimensioni .....	23
1.7    Sicurezza nelle reti ad hoc.....	24
1.7.1    Computer security.....	25
1.7.2    Sicurezza delle comunicazioni.....	26
1.8    Applicazioni delle reti ad hoc.....	26
1.9    Problemi a livello rete nelle reti ad hoc.....	28
1.10    Sfide .....	29
<b>Capitolo 2.....</b>	<b>32</b>
<b>Le VANET .....</b>	<b>32</b>
2.1    Le MANET .....	32
2.1.1    caratteristiche e vantaggi.....	33
2.1.2    Problematiche di routing nelle MANET .....	33
2.2    La comunicazione tra veicoli: le VANET .....	34
2.3    Architettura delle VANET .....	36
2.4    Sicurezza nelle VANET.....	38
2.4.1    Come mettere al sicuro le VANET .....	43
2.5    Modelli di mobilità per le VANET .....	43
2.6    Scenari ed applicazioni .....	46
2.7    Caratteristiche delle VANET .....	49

2.8 Fattibilità delle VANET.....	51
2.9 Routing nelle VANET .....	52
2.9.1 Lo standard IEEE 802.11p.....	54
2.10 Progetti in corso .....	55
2.11 MANET vs VANET .....	56
<b>Capitolo 3.....</b>	<b>59</b>
<b>Livello rete e protocolli di routing.....</b>	<b>59</b>
3.1 Livello Rete: servizi e meccanismi .....	59
3.2 Protocolli di routing delle MANET nel contesto .....	60
3.3 Classificazione dei protocolli di routing .....	62
3.3.1 algoritmi proattivi.....	64
3.3.2 algoritmi di routing reattivi .....	65
3.3.3 algoritmi ibridi .....	66
3.4 Protocolli di routing per le VANET .....	66
3.5 Ad-hoc On Demand Distance Vector (AODV) .....	68
3.6 Fisheye State Routing (FSR).....	71
3.8 Temporally Ordered Routing Algorithm (TORA).....	72
3.9 Dynamic Source Routing (DSR).....	74
3.10 Geographic Source Routing (GSR).....	75
3.11 Greedy Perimeter Coordinator Routing (GPCR) .....	76
3.12 Anchor-based Street and Traffic Aware Routing (A- STAR).....	77
3.13 Improved greedy traffic aware routing (GY-TAR ).....	78
<b>Capitolo 4.....</b>	<b>80</b>
<b>Valutazione delle performance .....</b>	<b>80</b>
4.1 criteri per la valutazione delle performance.....	80
4.2 analisi delle performance protocolli di routing basati sulla topologia .....	82
4.2.1 Modello di mobilità.....	83
4.2.2 Valutazione.....	85
4.2.3 Risultati .....	86
4.2.4 Analisi dei risultati.....	91
4.3 analisi delle performance protocolli di routing basati sulla posizione .....	91
4.3.1. Modello di mobilità.....	92
4.3.2. Valutazione.....	93
4.3.3. Risultati .....	94

4.3.4. Analisi dei risultati.....	97
<b>Conclusioni .....</b>	<b>98</b>
<b>Bibliografia .....</b>	<b>100</b>

# Introduzione

Gli ultimi anni sono stati caratterizzati da un aumento considerevole del traffico nelle autostrade così come nelle strade urbane ed extra urbane. Ancora oggi il trasporto veicolare rimane la forma di trasporto maggiormente utilizzata dai cittadini, nonostante i continui aumenti del prezzo della benzina e delle autovetture stesse.

Guidare in condizioni di traffico eccessivo non è una condizione piacevole per nessun conducente di veicoli di qualsiasi tipo. Le difficoltà di guida in queste condizioni sono causa di forte stress per gli automobilisti che può portare alla crescita dei fattori di rischio connessi con la guida, ad esempio incidenti e/o ostacoli per gli altri veicoli. Gli ultimi decenni sono stati caratterizzati da numerose ricerche effettuate da enti statali, università, case automobilistiche al fine di trovare soluzioni ottimali alle problematiche connesse alla sicurezza sulle strade. Inizialmente si è pensato all'introduzione di sistemi di assorbimento degli urti nei veicoli, si pensi ad esempio agli airbag o alle barre laterali uniti a sistemi per il miglioramento della frenata (ABS). Successivamente grazie anche alla nascita dei sistemi di posizionamento, quali ad esempio il diffuso GPS ci si è resi conto che le soluzioni ai problemi di sicurezza potevano essere ricercate sui veicoli stessi, in particolare si poteva ricorrere alla loro collaborazione.

I veicoli che percorrono una strada possono essere considerati come dei nodi appartenenti ad una rete, e come nodi hanno la capacità di scambiare messaggi tra loro. Nasce così il concetto di rete veicolare, meglio nota come VANET (Vehicular ad hoc Network). Le comunicazioni tra i veicoli hanno il potenziale di migliorare notevolmente la sicurezza, l'efficienza ed il confort del trasporto su veicolo, dove per veicolo si intendono tutti i possibili tipi di veicoli (autobus, automobili, TIR e così via).

Le VANET sono una specializzazione delle più note reti MANET (Mobile ad hoc Network). Le MANET sono reti dove non esiste alcuna infrastruttura, dove non è richiesta la presenza di sistemi centralizzati per garantire la comunicazione fra i nodi mobili appartenenti alla rete. Le MANET sono basate, infatti, sulla trasmissione radio dove i dispositivi comunicano tra di loro esclusivamente su canali wireless. Tali reti non sono reti permanenti ma bensì sono reti temporanee che prendono vita quando più dispositivi si trovano ad essere presenti in un dato territorio. Tali reti quindi non hanno

bisogno di essere pre configurate; questa loro caratteristica le rende perfette per garantire la comunicazione in ambienti dove le infrastrutture di comunicazione esistenti non sono disponibili o non sono affidabili o magari risultano troppo costose.

Trattandosi di applicazioni facenti comunque parte del contesto delle reti MANET, le VANET condividono alcune caratteristiche comuni con le MANET, come ad esempio la limitata larghezza di banda, le comunicazioni multi salto tra i nodi e l'auto organizzazione di questi ultimi.

Le VANET sono comunque diverse dalle MANET in molti aspetti. Le differenze principali che caratterizzano le VANET riguardano la mobilità dei nodi. In primo luogo i nodi delle MANET sono organizzati in maniera casuale mentre la disposizione dei nodi (veicoli) delle VANET è ordinata, limitata dalle corsie stradali. In secondo luogo bisogna considerare che in molti scenari applicativi delle VANET ci sono ostacoli radio che limitano il raggio di trasmissione delle comunicazioni, quali ad esempio palazzi, muri e così via. Per ultimo bisogna considerare l'elevata mobilità che i nodi di una rete veicolare possono raggiungere. Inoltre bisogna considerare che i comportamenti dei nodi I comportamenti dei nodi (in termini di velocità e permanenza nella rete) sono differenti in funzione dello scenario in cui si trovano, per esempio ci sono significative differenze tra una strada urbana o statale ed una autostrada o una strada di campagna. L'elevata mobilità dei nodi porta a frequenti cambiamenti nella topologia della rete rispetto ad una tradizionale rete MANET. Altre differenze caratterizzano le VANET tra queste si accenna il fatto che le VANET possono trascurare la gestione del risparmio di energia poiché i suoi nodi non sono dotati di batterie che si esauriscono in tempi brevi, i veicoli infatti sono dotati di batterie molto potenti che si ricaricano mentre sono in uso.

Inoltre bisogna aggiungere che le reti VANET mancano di molti dei problemi che affliggono le tradizionali reti ad hoc, tra questi oltre alla gestione del risparmio energetico già citato bisogna considerare che le VANET hanno maggiore possibilità di impiego delle risorse hardware; I dispositivi infatti sono alimentati tramite la batteria della vettura, in questo modo lo sforzo degli algoritmi può essere focalizzato sulle performance e non sul consumo energetico.

La mole di informazioni che transitano nelle reti VANET è enorme. Tali informazioni sono molto variegata, è stato già detto infatti che queste vanno dalla posizione di un veicolo, alla velocità relativa, alla direzione, ai messaggi di emergenza sino ad arrivare ai messaggi di applicazioni di confort come la navigazione in Internet. La gran quantità di dati che transita

impone che i servizi offerti da queste reti vengano concepiti tenendo conto del rispetto della privacy degli utenti, sia nei confronti degli altri utenti che nei confronti delle autorità di controllo. Per rendere le VANET sicure sia dal punto di vista della privacy sia dal punto di vista delle applicazioni (verifica della localizzazione, validità dei messaggi ecc.); si stanno studiando varie soluzioni come ad esempio l'utilizzo di cifrature attraverso l'uso di pseudonimi temporanei associati ai veicoli e l'utilizzo di chiavi pubbliche. Tutte le soluzioni proposte ad ogni modo devono essere in grado di fornire strumenti per il mantenimento della privacy degli individui cioè bisogna sempre garantire il diritto alla riservatezza delle informazioni personali e della propria vita privata.

Legato al concetto di riservatezza dei dati è la messa in sicurezza della rete stessa. Una rete VANET può infatti essere attaccata da “malintenzionati” che cercano di appropriarsi di dati privati di un altro veicolo e/o cercano di sabotare in maniera fraudolenta il corretto funzionamento della rete VANET. In generale, negli attacchi, l'attaccante, cerca di convincere un nodo di un dato inesistente o falsato. Egli raggiunge il suo scopo quando riesce a convincere la vittima della bontà di un dato. Il nodo attaccato, in questo caso per come sono organizzate le VANET, invierà il dato falso ad altri nodi vittima contribuendo a diffonderlo a macchia d'olio. Diversi sono quindi i tipi di attacchi che una VANET può subire e questi possono essere classificati in base all'area d'interesse; alla natura, agli obiettivi ed infine in base all'impatto. Inoltre si distinguono gli attacchi attivi da quelli passivi; in un attacco attivo vi è l'immissione di pacchetti falsati all'interno della rete da parte di un malintenzionato; in un attacco passivo il malintenzionato è un nodo della rete stessa che si limita ad ascoltare ed intercettare i pacchetti che viaggiano nella rete.

Mentre la motivazione originaria a seguito della nascita di queste reti era quella di offrire dei servizi che potessero garantire la sicurezza sulla strada recentemente è diventato sempre più evidente che considerare le VANET sono per applicazioni di sicurezza è alquanto restrittivo. Le VANET infatti aprono nuove prospettive per l'accesso ad Internet per lo sviluppo di giochi distribuiti e per l'industria dell'intrattenimento mobile. Ad oggi infatti si distinguono due categorie per quanto riguarda le applicazioni che una VANET può fornire e sono applicazioni di sicurezza ed applicazioni di confort. Nella prima categoria ricadono tutte le applicazioni che sono orientate all'incolumità dei passeggeri attraverso lo scambio di informazioni relative alle condizioni del traffico. Rientrano in questa categoria i sistemi di allarme per le emergenze, il coordinamento agli incroci senza l'ausilio dei semafori, l'assistenza nel cambio di corsia e così via. La

seconda categoria comprende, invece, applicazioni destinate per lo più ai passeggeri atte a rendere il loro viaggio più confortevole. Fanno parte di questa categoria le applicazioni che forniscono informazioni meteo, informazioni sulla presenza o meno di stazioni di servizio e così via. Come per altri tipi di reti di comunicazione, l'interconnessione con Internet rende virtualmente possibile l'uso di qualunque applicazione pensata in tale contesto, naturalmente le applicazioni con minori esigenze tecniche ed economiche godranno della diffusione più rapida.

Numerosi lavori di ricerca hanno avuto come oggetto di studio le VANET, le loro caratteristiche, le loro applicazioni e, soprattutto la loro fattibilità; ad oggi tali reti vengono considerate come la parte più importante dell'ITS (Intelligence Transportation System). Nel settembre del 2003 si riunì per la prima volta il gruppo di studio per il Wireless Access in Vehicular Environment (WAVE) che venne riconosciuto nel 2004 come un task group. Obiettivo di WAVE è quello di definire le variazioni al protocollo 802.11 per supportare le applicazioni veicolari. Sono in corso studi, infatti, che si occupano di trovare le giuste soluzioni per modificare l'802.11 affinché questo possa supportare comunicazioni tra veicoli in movimento a velocità che possono raggiungere anche i 200 km/h con un raggio di comunicazione che arriva fino a 1000 m. Nel 2006 venne completato il primo draft iniziale 1.0 dell'802.11p; esso permette la comunicazione V2V (Vehicle-to-Vehicle Communication), quella V2I (Vehicle-to-Infrastructure Communication), ma anche tra i veicoli e la strada (applicazioni Road-to-Vehicle).

Essendo una specializzazione delle MANET, le VANET ereditano da queste il loro problema principale e cioè quello dell'instradamento dei pacchetti. Nelle reti VANET non è impresa semplice trovare un modo che possa garantire il corretto inoltro dei pacchetti da una sorgente ad una destinazione; dal momento che la comunicazione è possibile solo fino a distanze limitate (qualche centinaio di metri) e la configurazione dei nodi circostanti cambia frequentemente. Inoltre non bisogna trascurare che nel momento in cui viene intrapresa una funzione di instradamento bisogna che questa abbia delle performance apprezzabili; quindi la consegna delle informazioni deve avvenire in tempo utile in relazione all'applicazione che si vuole eseguire.

Un algoritmo di routing solitamente ha tre funzioni principali che sono: la scoperta del percorso tra sorgente e destinazione; la scelta del percorso ottimale in relazione ad una

particolare funzione di costo che si vuole minimizzare tra i possibili percorsi tra mittente e destinatario che sono stati trovati; ed infine il mantenimento, la manutenzione del percorso scelto. Una volta che il percorso è stato scelto la fase di mantenimento dello stesso è necessaria per garantire il tempestivo intervento in caso di malfunzionamenti nel percorso che si sta utilizzando per tenere traccia dei collegamenti non più utilizzabili e per eseguire nuovamente il percorso di scoperta di un cammino alternativo. La fase di mantenimento e di riscoperta del percorso sono molto onerose in termini di calcolo e di risorse della rete da utilizzare quindi è necessario scegliere opportunamente il percorso ottimale cercando di includere in esso collegamenti che abbiano la massima durata possibile durante la fase di scoperta. È possibile fare una schematizzazione dei protocolli di routing suddividendoli in tre grandi categorie e cioè algoritmi di tipo reattivo, proattivo, ibridi. Nei protocolli di tipo reattivi il calcolo del percorso di routing viene calcolato solo se è effettivamente richiesto: per questa ragione i protocolli reattivi sono anche detti on-demand; se si ha la necessità di una nuova rotta che arrivi ad un destinatario viene attivata una procedura di ricerca globale. Nei protocolli proattivi vengono calcolati tutti i possibili percorsi senza sapere se questi poi verranno effettivamente utilizzati. Nei protocolli ibridi il calcolo avviene in parte in maniera proattiva e in parte in modo reattivo: per i nodi "vicini" è possibile pianificare in anticipo i cammini utilizzando così tecniche proattive mentre per i nodi lontani si utilizzano le tecniche reattive.

Le valutazioni sui protocolli di routing vengono effettuate attraverso delle simulazioni su software appositamente creati per questi scopi. Tra questi ad esempio il simulatore di rete NS-2 nelle sue varie versioni; questo simulatore è open source. Le simulazioni permettono di valutare alcuni dei parametri più importanti di un algoritmo di routing per determinarne la sua bontà.

Nella fase attuale dello sviluppo e penetrazione delle reti VANET che vede la progettazione di una rete veicolare su larga scala in incubazione le indagini sui rapporti tra mobilità e prestazioni delle tecniche di networking sono necessariamente legate ad ambienti simulati. Naturalmente spostare gli studi sulle performance negli ambienti delle simulazioni non è una passeggiata; è necessario infatti riprodurre all'interno degli ambienti di simulazione la mobilità ed il movimento risultante dei veicoli. È per questo motivo che, a differenza di quanto avviene nelle simulazioni effettuate per la valutazione dei protocolli di routing destinati alle reti MANET, per quelli destinati alle VANET molta importanza è data al modello di mobilità adoperato. Il modello di mobilità che è stato in



un primo momento trascurato facendo ricorso a modelli stocastici per simulare il movimento dei nodi mobili oggi è considerato come un punto fondamentale per la valutazione delle performance in quanto modelli sempre più complessi e dettagliati permettono di raggiungere livelli sufficienti di affidabilità ma soprattutto di coerenza con quello che realmente accade nel mondo reale. I modelli di mobilità veicolare possono essere classificati come modelli macroscopici e modelli microscopici. Nei modelli macroscopici sono considerati a grandi linee i vincoli al movimento dei veicoli, quali strade senza uscita, semafori, incroci e così via ed inoltre è considerato il flusso del traffico nel suo insieme, non si considera cioè il movimento dei singoli veicoli. Al contrario nei modelli microscopici particolare attenzione è riservata al singolo veicolo ed al comportamento di quest'ultimo in relazione agli altri veicoli presenti sulla carreggiata. In questi modelli la dinamica di ogni veicolo è considerata indipendentemente dalla dinamica degli altri veicoli; la dinamica degli altri veicoli viene presa in considerazione solo nei casi in cui questa possa direttamente influenzare la dinamica del veicolo che si sta considerando. È evidente che la combinazione di modelli macroscopici con modelli microscopici risultano molto più adatti al contesto veicolare.

Un buon algoritmo di routing all'interno di una rete veicolare oltre a considerare il fattore elevata mobilità dei nodi deve considerare anche altre caratteristiche proprie delle reti ad hoc e cioè la limitata capacità della banda di comunicazione e la necessità di minimizzare il percorso tra sorgente e destinazione. Nel primo caso l'algoritmo dovrà cercare di limitare il numero di messaggi necessari al mantenimento della connessione dopo che essa è stata stabilita; nel secondo caso l'algoritmo dovrà essere in grado di scegliere realmente il percorso più breve eliminando l'instradamento verso nodi intermedi superflui nel caso in cui il nodo destinazione ricade nel raggio d'azione del nodo sorgente.

I protocolli di routing delle reti tradizionali utilizzano algoritmi di routing di tipo link-state o distance vector; entrambi i tipi permettono ai vari nodi della rete di scoprire il percorso più breve tra i nodi ad essi vicini in modo tale da garantire l'invio di un pacchetto ad una destinazione attraverso un cammino minimo più noto come "shortest path". Questi protocolli tuttavia non si possono utilizzare nell'ambito delle reti ad hoc perché richiedono una forte conoscenza della topologia della rete ed inoltre comportano la presenza di un elevato numero di messaggi di controllo con il conseguente eccessivo consumo di banda. In letteratura si trovano molti studi sugli algoritmi di routing adatti al contesto veicolare dove nuovi protocolli sono stati proposti in cui si tiene conto della

limitatezza della banda e della riduzione del numero di messaggi di controllo necessari. Questi protocolli possono essere suddivisi in due grosse categorie: algoritmi di routing basati sulla topologia ed algoritmi di routing basati sulla posizione. I protocolli basati sulla topologia richiedono la presenza di informazioni sui collegamenti esistenti tra tutti i nodi della rete per poter effettuare il routing; i protocolli basati sulla posizione richiedono, invece, informazioni sulla posizione geografica dei nodi che prendono parte alla rete. Questa posizione viene acquisita grazie ad appositi pacchetti contenenti informazioni di controllo, detti pacchetti di “beacon” che i nodi periodicamente trasmettono ai loro vicini. Tra i protocolli del primo tipo sono stati menzionati i protocolli AODV (Ad-hoc On Demand Distance Vector), FSR (Fisheye State Routing), TORA (Temporally Ordered Routing Algorithm), DSR (Dynamic Source Routing). Di questi DSR, TORA ed AODV sono protocolli di tipo reattivo, mentre FSR è un protocollo di tipo proattivo. Tra i protocolli di routing basati sulla conoscenza della posizione quelli oggetto di studio sono stati GSR (Geographic Source Routing), GPCR (Greedy Perimeter Coordinator Routing), A-STAR (Anchor-based Street and Traffic Aware Routing), Gy-TAR (Improved greedy traffic aware routing). Le simulazioni hanno dimostrato come questo tipo di protocolli risulta essere molto adatto in ambienti caratterizzata da mobilità elevate, com'è quello delle VANET.