

# INDICE

INTRODUZIONE.....	6
CAPITOLO 1 – RETI WIRELESS.....	16
1.1 Introduzione alle reti wireless.....	16
1.2 Classificazione delle reti wireless.....	18
1.3 Tipologia delle reti wireless.....	20
1.3.1 Body Area Network.....	20
1.3.2 Personal Area Network.....	21
1.3.3 Wireless Local Area Network.....	22
1.3.4 Wireless Metropolitan Area Network.....	23
1.3.5 Wireless Wide Area Network.....	23
1.4 Lo standard IEEE 802.11.....	24
1.4.1 Architettura dell'IEEE 802.11.....	27
1.4.2 Tecnica di accesso DCF.....	28
1.4.3 Tecnica DCF con Handshake.....	29
1.4.4 Tecnica di accesso PCF.....	30
1.5 Reti Wireless Ad- Hoc.....	31
1.5.1 Architettura delle reti Wireless Ad Hoc.....	32
1.5.2 Routing e suoi parametri.....	34
1.5.3 Classificazione degli algoritmi di routing.....	35
1.6 MANET (Mobile Ad Hoc Network).....	37
CAPITOLO 2- VANET (VEHICULAR AD HOC NETWORK).....	39
2.1 Introduzione alle reti VANET.....	39
2.2 Comunicazione nelle reti VANET.....	41
2.3 Applicazione delle VANET.....	44
2.4 Normative VANET.....	46
2.5 Architettura DSRC.....	48
2.6 L'emendamento IEEE 802.11p.....	49
2.6.1 Lo strato fisico (PHY).....	50
2.6.2 Lo strato MAC.....	52
2.6.3 Meccanismo di accesso al mezzo.....	53
2.6.3.1 Tipologie di contesa.....	57

2.7	Operazione di routing nelle VANET.....	58
2.7.1	Protocolli di routing per le reti veicolari.....	59
2.8	Sicurezza nelle reti VANET.....	60
CAPITOLO 3 – PROBLEMATICHE DI LIVELLO ROUTING.....		63
3.1	Introduzione alle problematiche nelle reti VANET.....	63
3.2	I protocolli di routing analizzati.....	64
3.3	Introduzione al protocollo AODV.....	65
3.3.1	Caratteristiche del protocollo AODV.....	66
3.3.1.1	Struttura dei messaggi utilizzati dal protocollo AODV.....	67
3.3.2	Meccanismo del protocollo AODV.....	70
3.3.2.1	Fase di Route Discovery.....	70
3.3.2.2	Fase di Route Maintenance.....	74
3.3.3	Evoluzione del protocollo AODV.....	77
3.3.4	Vantaggi e svantaggi di AODV.....	77
3.4	Introduzione del protocollo DSR.....	78
3.4.1	Struttura dei messaggi del protocollo DSR.....	79
3.4.2	Meccanismo del protocollo DSR.....	81
3.4.2.1	Route Discovery.....	81
3.4.2.2	Route Maintenance.....	84
3.4.2.3	Route Caching.....	85
3.4.3	Vantaggi e svantaggi del protocollo DSR.....	87
3.5	Introduzione al protocollo VOA.....	87
3.5.1	Meccanismo del protocollo VOA.....	88
3.5.1.1	Route Discovery.....	88
3.5.1.2	Route Maintenance.....	93
3.6	Introduzione al protocollo RBVT.....	95
3.6.1	Protocollo RBVT-R.....	97
3.6.1.1	Processo di Route Discovery.....	98
3.6.1.2	Processo di Route Maintenance.....	100
3.6.2	Protocollo RBVT-P.....	101
3.6.2.1	Topology Discovery.....	101
3.6.2.2	Topology Dissemination.....	102
3.6.2.3	Route Computation e Route Maintenance.....	103

3.6.3 Ottimizzazione del protocollo RBVT.....	104
CAPITOLO 4 – SCENARI SIMULATIVI E ANALISI DEI RISULTATI.....	106
4.1 Introduzione all’analisi delle simulazioni.....	106
4.2 Parametri simulativi e analisi del protocollo VOA.....	106
4.2.1 Analisi delle simulazioni del protocollo VOA.....	107
4.2.2 Considerazioni finali .....	110
4.3 Parametri simulativi e analisi del protocollo RBVT.....	111
4.3.1 Settaggi simulativi, scenario con ostacoli.....	112
4.3.1.1 Analisi delle simulazioni con ostacoli.....	114
4.3.1.2 Considerazioni finali, simulazioni con ostacoli.....	119
4.3.2 Settaggi simulativi, scenario con ostacoli.....	120
4.3.2.1 Analisi delle simulazioni con ostacoli.....	120
4.3.2.2 Considerazioni finali, simulazioni con ostacoli.....	123
CONCLUSIONI.....	124
BIBLIOGRAFIA.....	127
RINGRAZIAMENTI.....	134

# INTRODUZIONE

Una delle caratteristiche distintive della società odierna è l'enorme aumento del flusso di informazioni che vengono scambiate quotidianamente. E' ormai abituale comunicare a distanza o acquisire informazioni tramite Internet pur senza essere fisicamente collegati a un telefono o a un terminale fisso. Una delle principali richieste della moderna società dell'informazione è proprio quella di essere connessi *anytime and anywhere*, in qualsiasi momento e in ogni luogo. E' evidente che queste due richieste possono essere soddisfatte solo mediante un sistema di comunicazione che non prevede un'infrastruttura fissa, ovvero senza il bisogno di una rete cablata ma bensì mediante l'ausilio di una rete wireless (dall'inglese "senza fili"). L'introduzione delle reti wireless ha reso il mondo delle telecomunicazioni più flessibile introducendo la possibilità di installare una rete in qualsiasi ambiente, in particolar modo la società sta sviluppando un forte interesse verso i sistemi di comunicazione caratterizzati da una forte mobilità.

In questo lavoro di tesi si parlerà delle reti VANET ( *Vehicular Ad-Hoc Network*), cioè reti wireless veicolari auto-organizzanti che non richiedono alcuna infrastruttura fissa di appoggio e caratterizzate da un'elevata mobilità dei nodi. In particolare, saranno analizzati i meccanismi di quattro protocolli di routing, AODV(*Ad Hoc On-Demand Distance Vector*), DSR(*Dynamic Source Routing*), VOA(*Vanet rOuting path to obtain stAble path*), RBVT-R(*Road Based Veicular Traffic Reactive*) e RBVT-P(*Road Based Veicular Traffic Proactive*). Di suddetti protocolli saranno successivamente valutate e confrontate le loro performance sulla base di simulazioni eseguite in scenari cittadini e autostradali con riferimento a opportune metriche.

Per lo scambio di informazioni le reti wireless utilizzano al posto dei cavi, raggi di luce infrarossa o segnali radio ad alta frequenza. L'uso di tali reti è in continuo aumento giorno dopo giorno, esse infatti sono oramai adoperate in qualsiasi struttura esistente, stanno emergendo dal mondo d'ufficio, dove si utilizzano per la condivisione di file, di stampanti, al mondo industriale, se ne fa uso anche negli edifici sanitari, in quelli scolastici e persino nei grandi centri commerciali.

Il passaggio dalle reti cablate alle reti wireless introduce innumerevoli vantaggi tra i quali il più importante è senza dubbio rappresentato dalla *mobilità*. E' proprio grazie alla mobilità che si è potuto affrontare lo studio e successivamente giungere alla realizzazione delle reti VANET.

Nel caso più generale di rete wireless, la mobilità consente ad un utente connesso alla rete di potersi spostare all'interno del raggio di copertura della stessa rete pur rimanendovi connesso. Proprio sulla base del loro raggio di copertura si possono distinguere cinque tipologie di rete, ognuna di esse ha un proprio protocollo che ne regola il funzionamento.

Le cinque tipologie di rete sono: BAN, PAN, LAN, MAN e WAN. Le reti BAN, il cui acronimo sta per *Body Area Network*, hanno un range di trasmissione che non supera il metro di estensione, tali reti sono anche dette reti corporee in quanto il loro raggio di trasmissione ricopre all'incirca l'altezza di una persona. Le reti PAN (*Personal Area Network*) hanno un raggio di azione dell'ordine di decine di metri, raggio d'azione di una persona e per tal motivo vengono anche dette reti personali. Le reti LAN, dall'acronimo *Local Area Network*, dette anche reti locali hanno un raggio di estensione che può raggiungere anche i 500m. Infine le reti MAN (*Metropolitan Area Network*) e le reti WAN (*Wide Area Network*), rispettivamente chiamate reti metropolitane e geografiche hanno un range di trasmissione dell'ordine di decine di Km i primi, e centinaia di Km i secondi. Delle reti sopra elencate, le più conosciute ed utilizzate sono le reti BAN, PAN, LAN. Particolare attenzione va riposta alle reti LAN il cui funzionamento è regolato dal protocollo *IEEE 802.11*, la cui nascita risale agli inizi degli anni '90 per merito di una commissione dell'*Institute of Electrical and Electronic Engineering* il cui acronimo è appunto *IEEE*.

La versione definitiva di questo protocollo, che è stata approvata nel 1997, prevede un livello di accesso al mezzo (*MAC-Medium Access Control*) e tre livelli fisici (*PHY-Physical Layer*). Due dei tre livelli fisici, il *DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)* e il *FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)*, utilizzano una trasmissione basata sulle frequenze radio mentre un terzo livello, il *DFIR*, si avvale di una trasmissione a raggi infrarossi, col tempo. Ai tre livelli citati se n'è aggiunto un quarto, ovvero, *OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)*. Lo studio del protocollo 802.11 è stato un continuo evolversi, il suo costante sviluppo infatti portò in pochi anni all'introduzione di nuovi emendamenti 802.11x, in particolare, *802.11a*, *802.11b*, *802.11g*, *802.11e*, *802.11n*, *802.11p*.

Il protocollo IEEE 802.11, come vedremo, è strutturato per fornire tre modalità di funzionamento, *DCF* il cui acronimo sta per *Distributed Coordination Function*, esso è il meccanismo obbligatorio, *PCF (Point Coordination Function)* e *DCF con Handshake*, quest'ultimi due sono dei meccanismi opzionali. Nella modalità PCF, detta

anche modalità di accesso controllato, le stazioni che vogliono accedere al mezzo trasmissivo per trasmettere i loro pacchetti devono registrarsi presso un nodo coordinatore, il *Point Coordinator (PC)*, quest'ultimo ha il compito di assegnare i diritti di trasmissione alle varie stazioni. Nel meccanismo DCF non esiste un nodo coordinatore, i nodi della rete avranno un accesso al canale distribuito secondo il protocollo *CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)*. La tecnica *DCF con Handshake* che letteralmente significa *stretta di mano* è simile al meccanismo DCF base con l'aggiunta di un'ottimizzazione per evitare le collisioni, a tal proposito si fa uso di particolari pacchetti chiamati *Request-to-Send (RTS)* e *Clear-to-Send (CTS)* per prenotare il canale trasmissivo.

Per quanto semplice possa essere l'utilizzo della tecnologia wireless, altrettanto complesso è il sistema di gestione delle stesse. Al di là delle tecnologie wireless consolidate nuovi approcci alla comunicazione senza fili stanno emergendo, tra cui, *reti Ad Hoc*. Le reti *Ad Hoc* sono reti *senza infrastruttura fissa* le quali si costituiscono in modo improvvisato e spontaneo quando c'è la necessità e allo stesso tempo muoiono dopo aver svolto il loro compito, in tali reti la comunicazione tra i terminali che ne fanno parte avviene in modo *multihop* (multisalto). Le più note architetture di rete Ad Hoc sono: il *modello flat* e il *modello hierarchical*, quest'ultimo è formato da tre entità cluster, cioè, *member, head, gateway*.

Nelle reti *Ad Hoc mobile* i nodi sono liberi di muoversi in qualsiasi momento, ciò causerà un continuo e casuale cambiamento della topologia di rete causando difficoltà nelle operazioni di routing. Il routing è il processo di selezione dei percorsi lungo i quali inviare i pacchetti di dati per raggiungere il nodo destinazione partendo da un nodo sorgente. Un buon protocollo di routing, le cui performance si evincono dall'analisi di parametri quali, *throughput, tasso di consegna dei pacchetti, ritardo medio del pacchetto, overhead*, deve essere in grado di calcolare il miglior percorso. I tanti algoritmi di routing vengono classificati principalmente in base alla: *stratificazione funzionale dei percorsi di instradamento creati*, alla *dinamicità* e infine sulla base della *modalità di mantenere le informazioni di routing*.

Le MANET il cui acronimo sta per *Mobile Ad-hoc Network* rappresentano un eccellente esempio di rete Ad Hoc mobile, esse ereditano dalle reti Ad-Hoc oltre alla topologia di rete dinamica anche l'assenza di una infrastruttura fissa e gli stessi ambienti applicativi. Nelle MANET il cambio frequente di scenario può avere come risultato il cambio di percorso dei pacchetti con possibili perdite di dati. Uno dei più importanti

protocolli di routing per le reti MANET è il protocollo *OLSR (Optimized Link State Routing)*, protocollo di tipo reattivo basato sul classico protocollo di routing Link State ma ottimizzato per le reti Ad Hoc mobile. Il concetto alla base dell'ottimizzazione effettuata riguarda i multipoint relays (MPR).

Le MANET non sono, però, l'unica tipologia di rete caratterizzata da nodi mobili, infatti un'altra tipologia di rete wireless Ad Hoc è quella che prende l'acronimo di VANET, letteralmente *Vehicular Ad Hoc Network*, quest'ultime sono una specializzazione delle reti MANET. Nelle reti veicolari Ad Hoc, come è facile intuire, i nodi della rete sono più propriamente veicoli tra i quali lo scambio di informazioni è reso possibile equipaggiandoli con sistemi di comunicazione wireless e di localizzazione geografica come ad esempio il GPS. Una sostanziale differenza tra MANET e VANET è rappresentata dalla mobilità dei nodi, nelle prime infatti i nodi si possono spostare in modo arbitrario senza attenersi a nessun vincolo, nelle ultime invece si dovranno spostare nel rispetto di alcuni fattori come il tracciato stradale, traffico e norme di circolazione, si evince quindi come le VANET abbiano un modello di mobilità dai contorni ben definiti da rispettare.

La mobilità dei nodi, caratteristica predominante in ambito inter-veicolare, è fortemente dipendente dallo scenario in cui ci si trova, ovvero, *rurale*, *cittadino* e *autostradale*, tali scenari si differenziano in particolar modo per il grado di densità dei nodi (veicoli) coinvolti e per la velocità degli stessi. In una rete VANET il dialogo tra i nodi che ne prendono parte avviene per mezzo di due entità principali, *OBU (On Board Units)* e *RSU (Road Side Units)*, esse infatti permettono due diverse tipologie di comunicazione, ovvero, *V2V (Vehicle-to-Vehicle)* e *V2I (Vehicle-to-Infrastructure)*. Molteplici sono anche le modalità di comunicazione, tra le più importanti spicca la modalità *Beaconing* con la quale vengono trasmessi messaggi di bassa priorità, *Geobroadcast* che si occupa della trasmissione di messaggi inerenti a eventi improvvisi, *Routing Unicast* riguardane la trasmissione dei messaggi caratterizzata da una tecnica punto-punto, *Information Dissemination* con lo scopo di mantenere viva una informazione per prolungati periodi di tempo, rendendola disponibile anche a chi arriva successivamente e infine la modalità *Information Aggregation* dove i messaggi non sono semplicemente inoltrati, ma elaborati ed aggregati da ogni veicolo che li riceve.

Lo scopo primario delle VANET è lo sviluppo di applicazioni distribuite e pubbliche orientate alla sicurezza, allo scopo di salvare vite umane, e migliorare le condizioni del traffico, esse hanno suscitato un enorme interesse al punto che varie case

automobilistiche, agenzie governative e organismi di normalizzazione hanno generato consorzi nazionali e internazionali dedicati esclusivamente alle VANET. Le VANET trovano maggiore impiego nelle seguenti applicazioni e servizi, *Sicurezza attiva*, *Servizi di pubblica sicurezza*, *Ausilio alla guida*, *Business/entertainment*. Un grande lavoro di ricerca viene condotto in tutto il mondo per definire le norme per le comunicazioni veicolari, numerose organizzazioni sono state coinvolte tra le quali spiccano particolarmente *Car to Car Communication Consortium* e *IEEE - 802.11p e Wave 1609*. L'assegnazione delle frequenze per le comunicazioni inter-veicolari avviene prima negli USA nel 1999 ad opera della *Federal Communication Commission (FCC)*, quest'ultima ha riservato una banda compresa nell'intervallo di GHz tra i 5.855 e i 5.925, e dopo in EUROPA, 2008, per mezzo dell'*Electronic Communications Committee (ECC)*, quest'ultima riserva sette canali nella stessa banda di cui due per un'estensione futura. Le applicazioni *Intelligent Transportation Systems (ITS)* delle quali fanno parte le VANET sono regolate dallo standard *IEEE 802.11p* approvato il 15 Luglio 2010, tale standard opera utilizzando una banda di 10MHz con un data rate massimo di 27Mbps. Lo strato fisico (PHY) dell'IEEE 802.11p è molto simile allo stesso strato dello standard IEEE 802.11a, i due strati fisici si differenziano per la banda utilizzata, infatti mentre il primo utilizza una banda di 10MHz, il secondo ne utilizza 20 MHz, l'utilizzo di una banda minore riduce gli effetti di rumore introdotti nel canale. Al fine di aumentare velocità di trasmissione dati e di sopperire alla perdita del segnale nelle comunicazioni wireless, con il protocollo *802.11p* ci si affida alla modulazione *Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (OFDM)* la quale offre la possibilità di comunicare anche in situazioni pessime di canale.

Lo strato *MAC (Medium Access Control)* dello standard IEEE 802.11p si avvale del protocollo *CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)* dell'IEEE 802.11 per ridurre le collisioni e fornire un accesso equo al canale, ovviamente sussistono delle differenze tra gli strati MAC dei due protocolli. Il protocollo per le reti veicolari prevede un'alternanza temporale di ascolto e sharing dell'ordine dei 50 msec tra il *Control Channel (CCH)* e i *Service Channels (SCHs)*. Il primo viene utilizzato per i messaggi di emergenza mentre il secondo per tutte le altre comunicazioni WBSS (Wave Basic Service Set). Per l'accesso al mezzo, il protocollo *IEEE 802.11p* implementa lo schema a priorità *EDCA (Enhanced Distributed Channel Access)*, meccanismo ereditato da un precedente protocollo, l'*IEEE 802.11e*, tale protocollo definisce una nuova funzione di coordinamento ibrida, *HCF*, il cui acronimo



sta per *Hybrid Coordination Function*, essa combina due metodi di accesso, ovvero, il *metodo contention-based* e il *metodo contention-free*.

Il meccanismo EDCA definisce quattro differenti *Access Category (AC)* per ciascun canale, ovvero: *AC\_BK (BackGround Access Category)*, *AC\_BE (Best Effort Access Category)*, *AC\_VI (Video Access Category)*, *AC\_VO (VOice Access Category)* e per ciascuna di esse mette a disposizione una coda di trasmissione e una funzione *EDCAF (Enhanced Distributed Function Access Channel)*. Ad ogni AC vengono inoltre associati alcuni parametri quali, *AIFS (Arbitration Inter-Frame Space)*, *CWmin*, *CWmax*, *TXOP Limit*, essi assumeranno ovviamente valori diversi. L'utilizzo del meccanismo di accesso EDCA può comportare due tipologie di contesa del canale, *collisioni intere* e *collisioni esterne*, le prime come si evince dal nome si verificano all'interno di una stessa stazione tra le diverse funzioni EDCAFs, le seconde si verificano fra più stazioni quando per esempio i rispettivi timer backoff arrivano simultaneamente a zero.

Una rete inter-veicolare (VANET) la si può indicare nel modo più generale possibile come un grafo i cui nodi, rappresentano i veicoli della rete stessa, mentre gli archi indicano le possibili comunicazioni tra due o più nodi (in questo contesto come più volte detto ovviamente i nodi sono veicoli). La comunicazione tra due o più nodi non è affatto un'operazione semplice, tutt'altro. Le maggiori insidie per queste tipologie di comunicazioni provengono dall'elevata mobilità dei nodi, di conseguenza l'implementazione degli algoritmi di routing risulta alquanto complessa anche per via di numerosi parametri da rispettare, quali, la minimizzazione della distanza del cammino tra i nodi interessati, il ripristino della connettività in caso di disconnessione ed l'eliminazione dei messaggi ridondanti. E' bene sottolineare come l'obiettivo dell'operazione di routing non sia semplicemente quello di stabilire una comunicazione tra nodo sorgente e nodo destinazione per la trasmissione dei pacchetti di dati, ma bensì di stabilire una comunicazione che sia il più possibile efficiente ed affidabile. In letteratura, sono stati affrontati diversi studi sui protocolli di routing dai quali sono emerse due principali classi di protocolli, *topology based*, essi si avvalgono delle informazioni sui link (collegamenti) esistenti per eseguire l'inoltro dei pacchetti, e *position based* i quali si avvalgono delle informazioni sulla loro posizione (mediante strumenti come il GPS) e su quella dei nodi limitrofi per svolgere il loro compito. I protocolli di tipo *topology based* si suddividono a loro volta in protocolli *reactive (on-demand)* tra i quali spicca il protocollo *AODV* e *DSR* e in protocolli *proactive (table*

*driven*) tra i quali uno dei più importanti è il protocollo *FSR (Fisheye State Routing)*. I più noti protocolli position based sono, il protocollo *GSR* e *GPRS*.

I protocolli di routing esistenti non sono efficaci a soddisfare contemporaneamente lo scenario di traffico rurale, cittadino e autostradale, in quanto ognuno di essi presenta delle caratteristiche diverse. Un classico protocollo di routing, inizialmente nato per le reti MANET e successivamente adattato e migliorato per le reti VANET è il noto protocollo *AODV*. Il protocollo *AODV (Ad Hoc On-Demand Distance Vector)* è un protocollo di tipo reattivo (reactive), ovvero genera i percorsi solo su richiesta. Come suggerito dallo stesso nome è un derivato per reti Ad-Hoc del protocollo *Distance Vector*, quest'ultimo è un protocollo dinamico basato sul vettore delle distanze che tiene conto del carico istantaneo della rete. AODV è considerato come il miglioramento di un precedente protocollo di routing, ovvero del *Destination-Sequenced Distance Vector (DSDV)*, tale miglioramento consiste nel tentativo di ridurre il numero di trasmissioni necessarie per il funzionamento dello stesso protocollo. AODV rappresenta l'unico protocollo della classe on-demand che supporta sia le trasmissioni unicast e sia quelle multicast (ovvero creazione di gruppi di utenti nella rete i cui membri possono comunque cambiare in qualunque momento) dei pacchetti di dati.

Per stabilire e mantenere valido un percorso da un nodo sorgente *S* a uno specifico nodo destinazione *D*, questo protocollo si avvale di un ciclo di messaggi particolari, quali, *Route request (RREQ)* utilizzati nella fase iniziale di discovery, *Route reply (RREP)* utilizzati nella fase finale di discovery, *Route error (RERR)* utilizzati nella fase di manutenzione e infine *Route Reply Acknowledgment (RREP-ACK)* inviato in risposta ad un messaggio RREP, tale protocollo si avvale anche dell'inoltro di particolari messaggi chiamati *messaggi Hello* utili per identificare i nodi vicini. Il protocollo AODV per il suo funzionamento assegna a ogni nodo un *Sequence Number*, ovvero un numero (monotonamente crescente). Ogni nodo non solo avrà un proprio numero di sequenza ma manterrà anche una cache contenente informazioni necessarie per il routing, tra cui una *routing table* restituente numerosi campi, tra essi, particolare attenzione va posta al campo *Destinazione* contenente l'indirizzo del nodo destinazione e al campo *Prossimo Hop* utilizzato per conoscere l'hop successivo a cui instradare richieste verso la destinazione. Il meccanismo di funzionamento per il protocollo AODV è costituito da due processi, *Route Discovery* e *Route Maintenance*. Il processo di discovery (scoperta di un percorso) è avviato da un nodo sorgente (S) che necessita di comunicare con qualche nodo destinazione (D) solo nel caso in cui non esista già un percorso valido

verso la destinazione voluta, siffatto processo termina nel momento in cui il percorso è stato stabilito, la fase di *Route Maintenance* entra in gioco solamente dopo che è stata stabilita una ruote valida tra la sorgente *S* e la destinazione *D*, essa ha la funzione principale di controllare ed eventualmente riparare qualora fosse possibile, una comunicazione precedentemente stabilita. Il vantaggio più importante di cui gode il protocollo AODV sta nel fatto che esso non genera traffico nel caso di percorsi già stabiliti, altro vantaggio da non trascurare riguarda i tempi di risposta per ripristinare la rottura di un percorso valido, tali tempi sono molto rapidi. Un altro classico protocollo di routing utilizzato in ambiente inter-veicolare è il protocollo di routing **DSR** (**Dynamic Source Routing**), tale protocollo appartiene alla stessa classe del protocollo AODV, cioè anch'esso è un protocollo di tipo reattivo. Il protocollo DSR si affida per il suo funzionamento alla source routing, ovvero il nodo sorgente indica nel pacchetto di dati la sequenza di nodi intermedi del percorso di routing memorizzandone gli ID nell'intestazione dello stesso pacchetto. Similmente al protocollo AODV anche il protocollo *Dymanic Source Routing* si avvale dei messaggi di *Route Request(RREQ)*, *Route Replay(RREP)*, *Route Error(RERR)*, *Route Reply Acknowledgment(RREP-ACK)*, ai quali però se ne aggiunge un altro, ovvero il *DSR Source Routing*.

E' utile sottolineare il fatto che anche se il nome dei messaggi utilizzati dai due protocolli sia uguale essi si differenziano per la loro struttura intrinseca. Il meccanismo di funzionamento del protocollo DSR consta di tre fasi, **Route Discovery**, avviata solo quando è necessaria, come per AODV è la fase utile per scoprire un percorso da una sorgente verso una destinazione, **Route Maintenance**, operante solamente nel caso in cui si stia usando un determinato cammino per la trasmissione dei pacchetti dati al fine di controllarne il corretto funzionamento, e infine la fase di **Route Caching**, utilizzata per la memorizzazione delle informazioni di routing che un nodo può acquisire attraverso un messaggio RREQ o RREP oppure attraverso l'instradamento di un pacchetto dati. Tra i numerosi vantaggi del protocollo DSR va evidenziato il fatto che mediante la trasmissione di un singolo messaggio RREQ si possono scoprire diverse route verso la destinazione pronte ad essere utilizzate in caso di collegamenti attivi interrotti, d'altro canto però bisogna anche sottolineare una limitazione di questo protocollo, ovvero in caso di errore di collegamento non provvede localmente alla manutenzione del percorso ma bensì genera un messaggio di errore. Un altro svantaggio di non poco conto che presenta il protocollo DSR, è la sua inadeguatezza nell'impiego

in grandi reti in quanto la dimensione dell'header dei pacchetti cresce con la lunghezza del source routing.

Lo studio dei protocolli di routing in ambito inter-veicolare rappresenta una grande sfida, esso è in continua evoluzione col fine di scoprire protocolli sempre più performanti, si parte infatti da protocolli esistenti per poi fornire delle varianti con tanto di ottimizzazioni, un esempio è rappresentato dal protocollo VOA. Il protocollo **VOA** (*Vanet rOuting path to obtain stAble path*) infatti altro non è che una combinazione dei vantaggi tra il protocollo AODV e il protocollo DSR. VOA si prefigge di migliorare l'affidabilità e la disponibilità dei percorsi di routing dal momento che il non avere delle informazioni nell'istante in cui se ne ha realmente bisogno non solo equivale praticamente a nulla, ma, a seconda dell'applicazione in uso può comportare anche dei notevoli rischi. VOA essendo un derivato di due protocolli aventi all'incirca lo stesso meccanismo non potrà che avere anch'esso un meccanismo molto simile, formato cioè dai processi di *route Discovery* e *route Maintenance*. La fase di route discovery, meglio indicata come fase di *selecting a routing path*, si basa su dei parametri quali, stabilità, tempo di scadenza previsto, costi e ritardi, selezione del percorso, mentre la fase di route maintenance è suddivisa in tre ulteriori sotto fasi, quali, rilevamento di un link non funzionante, riparazione globale e infine riparazione locale.

Una nuova classe di protocolli per reti veicolari che superano i protocolli già esistenti è rappresentata dai protocolli **RBVT** (*Road Based Veicular Traffic*). Tali protocolli si avvalgono delle informazioni sul traffico veicolare in tempo reale per creare dei percorsi costituiti da successioni di incroci stradali. In particolare fanno parte di questa classe due tipi di protocolli, *RBVT-P* (protocollo proactive) e *RBVT-R* (protocollo reactive). *RBVT-P* tenta di scoprire e diffondere periodicamente la tipologia delle strade al fine di mantenere una visione consistente della connettività di rete ad ogni nodo per poter utilizzare sempre il percorso più breve per la trasmissione dei pacchetti di dati. Il meccanismo del protocollo *RBVT-P* è composto dalle seguenti fasi: *Topology Discovery*, *Topology Dissemination*, *Route Computation*, *Route Maintenance*. *RBVT-R* invece crea percorsi road-based on-demand utilizzando collegamenti di tratti stradali. Anche il meccanismo del protocollo *RBVT-R* è composto dalle fasi di *route discovery* e *route maintenance*. In questo contesto, un tratto di strada collegato altro non è che un segmento di strada tra due incroci adiacenti con sufficiente traffico veicolare per garantire una buona connettività di rete.

Lo studio e l'analisi delle simulazioni del protocollo *VOA (Vanet rOuting path to obtain stAble path)* permetterà di concludere che il protocollo in esame risulterà essere migliore rispetto ai suoi discendenti protocolli, *AODV(Ad hoc On-Demand Distance Vector)* e *DSR (Dynamic Source Routing)*, in almeno due parametri su quattro, ovvero, nella durata prevista per i collegamenti e nella percentuale dei pacchetti persi a causa di collisioni. L'analisi delle varie simulazioni effettuate sulla classe dei protocolli RBVT in uno scenario con ostacoli metterà in risalto le qualità del protocollo RBVT-R e RBVT-P, infatti quest'ultimi risulteranno nel complesso molto performanti rispetto a tutti gli altri protocolli analizzati. In particolare il protocollo RBVT-R risulterà essere il migliore per quanto riguarda il rapporto medio di consegna dei pacchetti e la lunghezza media del percorso di routing, mentre le performance del protocollo RBVT-P emergeranno nel test inerente al ritardo medio. Dall'analisi delle varie simulazioni effettuate in uno scenario senza ostacoli risulterà che il protocollo RBVT-R è il migliore per quanto riguarda il rapporto medio di consegna dei pacchetti e per quanto riguarda l'impatto del numero di flussi simultanei sempre in termini di rapporto di consegna dei pacchetti, mentre le performance del protocollo RBVT-P emergeranno nel test inerente al ritardo medio anche sotto l'impatto del numero di flussi simultanei.