

# Indice

<b>Introduzione .....</b>	<b>I</b>
<b>CAPITOLO 1 Reti Wireless senza infrastruttura .....</b>	<b>1</b>
1.1 Introduzione .....	1
1.2 Reti Ad – Hoc.....	3
1.2.1 Cenni storici sulle reti Ad - Hoc .....	4
1.2.2 Caratteristiche reti Ad – Hoc .....	6
1.2.3 Routing per reti Ad - Hoc .....	7
1.2.3.1 Protocolli di routing tradizionali.....	8
1.2.3.2 Protocolli di routing per reti Ad – Hoc .....	9
1.3 Reti Ad – Hoc Mobili.....	11
1.3.1 Brevi cenni storici sulle MANET .....	11
1.3.2 Applicazioni per MANET .....	12
1.3.3 Routing per MANET .....	13
1.3.3.1 Obiettivi algoritmi di routing per MANET.....	14
1.3.3.2 Classificazione protocolli di routing per MANET .....	15
1.3.4 Sicurezza nelle MANET .....	18
1.4 Reti Ad – Hoc Veicolari.....	18
1.4.1 Applicazioni per VANET .....	22
1.4.2 Instradamento per VANET.....	24
1.4.3 Sviluppi recenti sulle VANET .....	26
<b>CAPITOLO 2 Standard di comunicazione per VANET.....</b>	<b>28</b>
2.1 Introduzione alle WLAN .....	28
2.1.1 Standard IEEE 802.11.....	28
2.1.2 Livello MAC.....	31
2.1.3 Livello Fisico .....	32
2.1.4 Standard IEEE 802.11a.....	33

2.1.5	Standard IEEE 802.11b.....	34
2.1.6	Standard IEEE 802.11g.....	36
2.1.7	Standard IEEE 802.11e.....	37
2.1.8	Breve storia degli standard per le VANET.....	38
2.2	Wireless Access in Vehicular Environments.....	40
2.2.1	Standard IEEE 802.11p.....	43
2.2.1.1	Funzioni del livello MAC.....	44
2.2.1.2	Funzioni del livello fisico .....	50
2.2.2	Draft 1609.4.....	52
<b>CAPITOLO 3 Modellazione del canale radio nelle VANET .....</b>		<b>57</b>
3.1	Introduzione .....	57
3.1.1	Mobilità nelle VANET .....	58
3.1.2	Ambiente di propagazione .....	59
3.1.3	Interferenze del segnale e rapporto rumore nelle VANET.....	61
3.1.4	Tecnologie radio e parametri del segnale .....	63
3.2	Modelli di propagazione .....	65
3.2.1	Modelli di propagazione deterministici .....	65
3.2.1.1	Modello Free Space .....	66
3.2.1.2	Modello Two-ray Ground.....	67
3.2.1.3	Modello Ray Tracing.....	67
3.2.2	Modelli di propagazione probabilistici.....	68
3.2.2.1	Modello Log-Normal Shadowing.....	69
3.2.2.2	Modello Rayleigh fading .....	70
3.2.2.3	Modello Longley-Rice.....	71
3.2.2.4	Modello Nakagami .....	72
3.3	Impatto dei canali radio sulle prestazioni delle VANET.....	73
3.3.1	Fenomeno Path loss .....	74

3.3.2	Fenomeno Shadowing.....	77
3.3.2.1	Modello Path Loss .....	77
3.3.2.2	Modello Log-Normal Shadowing.....	78
3.3.3	Fenomeno Multipath fading.....	82
3.3.4	Modello realistico urbano .....	83
3.4	Metriche del canale.....	84
3.4.1	Delay Spread.....	85
3.4.2	Larghezza di banda di coerenza.....	87
3.4.3	Doppler Spread .....	88
3.4.4	Tempo di coerenza.....	90
<b>CAPITOLO 4 Analisi delle performance .....</b>		<b>92</b>
4.1	Introduzione .....	92
4.1.1	Simulazione .....	93
4.1.2	Simulatore di riferimento.....	94
4.2	Test effettuati .....	96
4.2.1	Simulazioni per la potenza media ricevuta.....	97
4.2.1.1	Simulazioni modello Log-Normal Shadowing .....	97
4.2.1.2	Simulazioni modello Rayleigh fading .....	99
4.2.2	Simulazioni per lunghezza media del percorso minimo.....	101
<b>Conclusioni .....</b>		<b>108</b>
<b>Bibliografia.....</b>		<b>110</b>

# Introduzione

L'automobile rappresenta nel mondo odierno uno dei principali mezzi di trasporto, ma soprattutto una componente di vita quotidiana per le persone. La sempre più crescente diffusione di questi veicoli comporta spesso delle situazioni di alto traffico sulle strade con possibilità concreta di condizioni di pericolo dovute a diversi fattori quali l'alta velocità dei veicoli o errori umani che potrebbero aumentare il rischio di incidenti. La ricerca nel settore ha come scopo principale quello di rendere i veicoli sempre più sicuri e confortevoli grazie a tecnologie avanzate in grado di migliorare il livello di sicurezza e di confort del conducente e dei passeggeri del veicolo durante i vari spostamenti. Gli studi recenti in questo ambito si sono concentrati sugli aspetti di cooperazione tra veicoli per consentire ad un conducente di ricevere informazioni utili per la guida quali le condizioni di traffico in un determinato percorso, condizioni ambientali particolari ed eventuali situazioni di pericolo.

Lo scopo principale di questa tesi è quello di analizzare nel modo più chiaro e comprensibile possibile le reti veicolari. Uno studio attento di tutte le caratteristiche di tali reti è stato effettuato nei capitoli seguenti. In particolare nel primo capitolo ci si è occupati di definire le reti veicolari partendo dai concetti di reti wireless (senza fili). Le WLAN (Wireless LAN) nascono soprattutto in ambienti di piccola e media dimensione e presentano vantaggi (robustezza, costi, flessibilità) e svantaggi (consumo di potenza, qualità del servizio, sicurezza). Si cerca di ridurre un vincolo pratico delle WLAN, ovvero quello rappresentato dall'impossibilità di avere una rete wireless se non vi è nelle vicinanze un punto di accesso (access point). Per questo motivo sono state introdotte le cosiddette "Reti ad-hoc", cioè reti in grado di esistere anche senza la presenza di un'infrastruttura (detta access point appunto). Un ulteriore passo è stato effettuato con l'introduzione delle MANET, ovvero reti mobili ad-hoc costituite da nodi mobili connessi mediante collegamenti wireless. Questi nodi sono liberi di muoversi e collaborano con lo scopo di instradare i pacchetti nel modo corretto secondo la modalità di forwarding di tipo multihop. Le MANET, ma più in particolare le reti ad-hoc, vengono costruite all'occorrenza ed utilizzate in ambienti estremamente dinamici caratterizzate da frequenti cambiamenti.

Un particolare caso di MANET è rappresentato dalle VANET ovvero reti veicolari ad-hoc. Queste reti sono create da veicoli dotate di dispositivi con tecnologie di

comunicazione wireless a medio raggio. I veicoli comunicano senza richiedere la presenza di un'infrastruttura, ma basandosi sulla cooperazione: un nodo, oltre ad essere un nodo della rete, può assumere il ruolo di router intermedio per il forwarding dei pacchetti verso una destinazione che non sia nel percorso del nodo mittente.

È altamente probabile, quindi, che i veicoli possano rappresentare da soli l'infrastruttura di comunicazione. I veicoli moderni sono dotati di diversi sensori, computer di bordo e dispositivi di comunicazione che si stanno man mano sviluppando e integrando tra di loro. Tutte queste tecnologie sono in costante sviluppo.

Le reti veicolari forniscono supporto per le applicazioni ITS (Intelligent Transportation System) orientate alla sicurezza stradale ed ai servizi di informazione e di confort. Sono applicazioni che rientrano nel contesto delle reti mobili ad hoc, e quindi le VANET condividono alcune caratteristiche comuni con le MANET, come ad esempio la larghezza di banda limitata, la comunicazione multi-hop tra nodi mobili e la loro capacità di auto-organizzarsi.

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 principale delle tecniche di instradamento è rappresentato dal fatto che i nodi sono altamente mobili e dinamici e ciò porta a continui e frequenti cambiamenti nella topologia della rete. Il problema principale delle VANET, come nelle MANET, è rappresentato dall'instradamento dei pacchetti, in quanto non è facile trovare un modo efficiente per far giungere le informazioni a destinazione poiché si comunica a distanze limitate a un paio di centinaia di metri e inoltre l'ambiente circostante cambia in modo molto dinamico. Inoltre bisogna tenere conto del fatto che la comunicazione deve poter essere effettuata con prestazioni vantaggiose, in qualità di tempo e senza creare intasamenti della rete causati da ritrasmissioni di messaggi inutili. Quindi nel primo capitolo si è cercato di analizzare le caratteristiche delle reti veicolari, tenendo in considerazione le varie applicazioni di queste reti e studiando i vari protocolli di routing per queste reti.

Le generazioni future di veicoli, quindi, saranno equipaggiate di apparecchiature wireless in accordo allo standard IEEE 802.11, che è lo standard di comunicazione wireless. Nel secondo capitolo ci si occupa dello studio degli standard di comunicazione

per le reti veicolari, partendo appunto dall'analisi dello standard di comunicazione wireless. Lo standard IEEE 802.11 definisce uno standard per le reti WLAN, sviluppando in particolare il livello PHY (fisico) e MAC (Medium Access Control) della pila protocollare ISO/OSI. La versione attuale dello standard prevede un singolo strato MAC che interagisce con tre strati PHY (ognuno dei quali opera ad una velocità compresa tra 1 e 2 Mbps). Questo standard prevede principalmente tre tecniche: *FHSS* (*Frequency Hopping Spread*) che usa una portante che cambia frequenza secondo una sequenza nota solo al trasmettitore e al ricevitore, *DSSS* (*Direct Sequence Spread Spectrum*) che genera dei bit ridondanti per ogni bit che deve essere trasmesso, e *IR* (*tecnologia ad infrarosso*), una tecnica poco utilizzata negli usi commerciali delle WLAN, che fa uso di frequenze molto alte per trasmettere i dati e può lavorare a distanze molto limitate (1 metro). A parte la tecnologia IR, l'uso di una frequenza radio così alta permette di raggiungere distanze considerevoli anche usando potenze di trasmissione minime (limitate per legge). A questo vantaggio si contrappone però uno svantaggio: nel caso di collegamenti punto-punto, condizione essenziale per l'utilizzo di questi apparati è che i due terminali remoti da collegare siano perfettamente "a vista", ovvero che sulla traiettoria di una linea immaginaria che li unisce non vi siano ostacoli fisici (palazzi, case, alberi, ecc.). Inoltre, le distanze che si riescono a coprire con questo tipo di apparati sono molto variabili e strettamente legate al contesto ambientale in cui si opera.

Oltre alle funzionalità usualmente implementate nel livello MAC, lo standard implementa altre funzionalità tipicamente relative ai livelli superiori, come la frammentazione, la ritrasmissione dei pacchetti e la gestione degli acknowledgements (esatta ricezione). Il livello MAC definisce come metodo di accesso il DCF (Distributed Coordination Function). Questo è un meccanismo di tipo CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) che lavora in questo modo: una stazione che vuole trasmettere, ascolta il mezzo; se il mezzo è occupato, allora sposta la trasmissione ad un altro momento mentre, se il mezzo è libero, trasmette subito. Questo tipo di protocollo è abbastanza efficiente quando il mezzo non è molto utilizzato, permettendo alle stazioni di trasmettere con piccoli ritardi; nonostante ciò, la probabilità che due o più stazioni decidano di trasmettere contemporaneamente, generando una collisione, non è nulla. Queste collisioni devono essere identificate in modo tale che lo strato MAC possa ritrasmettere il pacchetto da solo senza nessun intervento da parte degli strati

superiori, cosa che evita ritardi inutili. In un ambiente wireless, non si può fare l'ipotesi che tutte le stazioni si ascoltino tra loro perché anche se il trasmettitore sente libero il mezzo intorno a sé, non è detto che intorno al ricevitore il mezzo sia altrettanto libero. Per far fronte a ciò lo standard usa un meccanismo di *Collision Avoidance*: una stazione che vuole trasmettere ascolta il mezzo; se il mezzo è occupato, allora sposta la trasmissione ad un altro momento. Se in un certo istante di tempo (chiamato DIFS (Distributed Inter Frame Space)) il mezzo è libero, la stazione può trasmettere; a questo punto la stazione destinataria controlla il CRC del pacchetto ricevuto e manda un ACK. La ricezione dell'ACK indica che non è avvenuta nessuna collisione in trasmissione. Se il mittente non riceve l'ACK allora ritrasmette il frammento fino a quando non riceve l'ACK o fino a quando non ha esaurito i tentativi a sua disposizione. Per ridurre la probabilità che due stazioni collidano lo standard utilizza un meccanismo di Virtual Carrier Sense.

In seguito si sono avute altre estensioni dello standard 802.11, con l'introduzione degli standard 802.11a, 802.11b e 802.11g. Il primo fa uso di una banda di frequenza a 5 GHz mentre gli altri due lavorano a una banda di 2.4 GHz. Lo standard 802.11b è noto anche come standard WiFi e fornisce meccanismi di crittografia e autenticazione. Poiché i segnali radio a 5 GHz non si propagano bene così come i segnali radio a 2.4 GHz, il range dello standard 802.11a è limitato rispetto a quello degli standard 802.11b e 802.11g. Questi standard sono stati pensati per condizioni di traffico best effort (al meglio delle possibilità), ovvero per condizioni di traffico che non richiedono particolari risorse. Con l'introduzione dei concetti di QoS (qualità del servizio) si cerca di garantire una certa qualità del servizio offerto e quindi viene introdotto lo standard IEEE 802.11e che si occupa essenzialmente dei concetti di qualità del servizio ed è tutt'ora uno standard in fase di sviluppo. A partire da questi standard, sono stati definiti successivamente gli standard **WAVE** (Wireless Access in Vehicular Environments) per facilitare la fornitura di accesso wireless in ambienti veicolari. Gli standard WAVE sono principalmente due: lo standard IEEE 802.11p e lo standard IEEE 1609.4. Lo standard IEEE 802.11p definisce il livello PHY e il livello MAC dello stack di comunicazione 802.11 mentre lo standard IEEE 1609.4 fornisce la banda di frequenza per il coordinamento e per la gestione del livello MAC.

IEEE 802.11p è una variante di 802.11a, quindi utilizza una banda di frequenza a 5.9 GHz e avrà un segnale altamente direzionale con capacità di penetrazione molto bassa;

quindi nella maggior parte dei casi, gli edifici assorbono le onde radio con questa frequenza, rendendo la comunicazione possibile solo se i veicoli sono in linea di vista. Lo standard 802.11p si occupa di descrivere le funzioni e i servizi richiesti per operare in rapidità scambiando messaggi senza avere a disposizione un Basic Service Set (BSS) come avviene utilizzando lo standard IEEE802.11. Inoltre definisce le tecniche di segnalazione e le funzioni di interfaccia che sono controllate dal livello MAC.

L'idea proposta dallo standard IEEE802.11p è quella di creare una comunicazione molto efficiente senza il pesante overhead tipicamente presente in 802.11 a livello MAC e questo a vantaggio della velocità di trasmissione per l'utilizzo nelle reti veicolari. Per stabilire la connessione è necessario effettuare l'autenticazione e l'associazione e questo comporta lo scambio di messaggi denominati "Beacon". Una BSS è una rete basata sullo standard 802.11 ed è composta da un access point e da un certo numero di componenti wireless.

È necessario effettuare operazioni di identificazione e autenticazione all'interno di una BSS ma ciò nelle reti ad hoc è decisamente oneroso e quindi non adottabili con lo standard IEEE 802.11p. Le comunicazioni tra veicoli richiedono, soprattutto in caso di comunicazioni di sicurezza, la capacità di scambiare dati rapidamente, il che rende inefficiente la procedura di adesione utilizzata in 802.11. Pertanto è fondamentale che tutti i dispositivi basati su 802.11p siano configurati sullo stesso canale e settati con lo stesso indirizzo MAC. Con lo standard IEEE 802.11p viene introdotto un nuovo concetto di BSS, ovvero la WBSS (Wave Basic Service Set): un tipo di BSS che consiste in una serie di stazioni (veicoli) che cooperano tra loro in modalità WAVE e che comunicano utilizzando uno stesso indirizzo BSSID (Basic Service Set Identification). Una WBSS è inizializzata quando una stazione in modalità WAVE invia un "WAVE beacon" nel quale include tutte le informazioni necessarie perché il ricevitore si configuri alla WBSS; a sua volta la stazione ricevente diffonde il messaggio di beacon a stazioni radio vicine in modo tale da espandere la WBSS.

Una WBSS può inviare e ricevere dati indipendentemente se appartiene alla stessa WBSS o meno. Inoltre una stazione non può appartenere a più di una WBSS.

Il protocollo MAC nello standard IEEE 802.11p usa il meccanismo ECDA (Enhanced Distributed Channel Access) fornito originariamente dallo standard IEEE 802.11e che si occupa, come detto, della qualità del servizio. Differenti valori di AIFS (Arbitration Inter Frame Space) e CW (Contention Window) sono scelti per diverse categorie di



applicazioni (ACs). Nei protocolli MAC wireless come CSMA/CA, una finestra basata sul meccanismo di back-off viene utilizzata in modo che un nodo disposto a trasmettere rileverà il primo mezzo, e se il mezzo non è libero sceglierà un tempo di back-off uniforme.

A livello fisico invece, lo standard IEEE 802.11p cerca di apportare cambiamenti minimi al già esistente 802.11 PHY, in modo da ottimizzare quest'ultimo per l'utilizzo nelle VANET. La modulazione di frequenza utilizzata è la stessa di 802.11a e cioè OFDM. Questa tecnica suddivide i 75 MHz del canale in sette sottocanali da 10 MHz. Il vantaggio principale della modulazione OFDM è la sua adattabilità alle condizioni del canale radio dovute, ad esempio, all'attenuazione alle varie frequenze e ai fenomeni di fading causati dai cammini multipli delle onde radio. Uno dei più importanti problemi delle comunicazioni radio è il ritardo introdotto dai cammini multipli (multi-path). Questo problema causa interferenza intersimbolica e la tecnica OFDM offre una valida soluzione a questo inconveniente. In 802.11p è stata raddoppiata la durata dei simboli OFDM e di conseguenza è stato raddoppiato il periodo di guardia tra simboli differenti. Come detto, a far parte del protocollo WAVE, oltre allo standard IEEE 802.11p, vi è anche il draft IEEE 1609.4. Questo standard è stato proposto per fornire operazioni multicanale di accesso wireless nelle VANET. Inoltre descrive la modalità WAVE a livello MAC e a livello PHY e definisce gli intervalli di tempo delle operazioni del controllo del canale (CCH) e del canale di servizio (SCH). Questi parametri sono utili per le priorità di accesso, commutazione e routing del canale, servizi di gestione e primitive progettate per operazioni multicanale. L'obiettivo di questo standard è quello di consentire efficaci meccanismi che controllino le operazioni dei livelli superiori attraverso canali multipli, senza richiedere una particolare conoscenza dei parametri facenti parte del livello fisico, e descrivere le operazioni multicanale e di commutazione per diversi scenari. I servizi forniti da questo standard sono utilizzati per gestire il coordinamento del canale e supportare la consegna delle MSDU (MAC service data unit). Il servizio di coordinamento del canale gestisce gli intervalli del canale in accordo alle operazioni di sincronizzazione del canale del livello MAC.

Nel terzo capitolo ci si è concentrati nella modellazione del canale radio nelle VANET. La comunicazione in ambito veicolare può essere essenzialmente di due tipi: comunicazione veicolo-veicolo e comunicazione veicolo-unità a bordo della strada. Nelle VANET assume particolare importanza la comunicazione veicolo-veicolo che

avviene tra i veicoli che si incontrano per caso. Una rete VANET si verifica quando due o più veicoli sono a distanza di comunicazione. Poiché nessuna infrastruttura è coinvolta, le VANET fanno molto affidamento su misure distribuite per regolamentare l'accesso al canale wireless. La scelta di un modello di propagazione radio ha un forte impatto sulle prestazioni di un protocollo di comunicazione poiché il modello di propagazione determina il numero di nodi all'interno di un dominio di collisione, un input importante per la contesa e le interferenze. Questo, a sua volta, ha un effetto diretto sulla capacità di un nodo di trasmettere un pacchetto ad un altro nodo. Ciò può portare a diverse cifre per parametri quali il rendimento, pacchetti scartati, carico medio e latenza. I sistemi radio fissi sono costruiti in modo tale da non avere ostacoli che causano l'attenuazione durante il cammino delle onde radio. Questa situazione, nota come "line of sight" (LOS), è impossibile da mantenere per sistemi mobili, come le reti wireless, in quanto vengono solitamente utilizzati in ambienti urbani nei quali sono presenti molti oggetti e superfici riflettenti che possono causare una variazione della potenza del segnale. Inoltre gli oggetti presenti nell'ambiente possono oscurare l'antenna ricevente, situazione nota come "no line of sight"(NLOS).

La mobilità nelle reti veicolari è limitata perché i nodi seguono strade secondo alcuni modelli fisici dei veicoli.

A differenza dei nodi mobili di una MANET, i nodi di una VANET non hanno necessariamente limitazioni nelle risorse (energetiche, dimensionali). Inoltre, i nodi VANET possono tranquillamente presumere di avere accesso ad alcune periferiche come l'hardware di posizionamento e di navigazione.

Quando si crea un ambiente di simulazione per le reti veicolari è importante modellare correttamente il movimento dei veicoli, quindi dare una quanto più corretta stima della mobilità dei veicoli. Un'altra caratteristica importante da soddisfare è quella di essere in grado di modificare dinamicamente la mobilità veicolare a seguito dei protocolli di comunicazione veicolare. Per tale motivo molti modelli di mobilità sono stati sviluppati per raggiungere il più possibile questi due obiettivi. Un altro fattore di rilievo in una VANET è l'ambiente di propagazione del canale radio poiché si può avere perdita di potenza dovuta a segnali che si propagano attraverso uno specifico ambiente e assorbimento del segnale dovuto ad alcuni ostacoli nell'ambiente. Come detto l'ambiente veicolare è altamente dinamico e si possono avere principalmente due effetti di propagazione, ovvero effetti a larga scala e effetti a piccola scala. Fanno parte degli

effetti a larga scala alcuni fenomeni quali diffrazione, riflessione e dispersione. Invece gli effetti a piccola scala sono spesso indicati con il nome di fading; in pratica al ricevitore arrivano più versioni del segnale originale.

Quando si simula la trasmissione di un segnale radio, una formulazione matematica dell'onda di propagazione radio è solitamente definita come una funzione di parametri quali ad esempio la distanza tra i veicoli. Da un punto di vista implementativo, i modelli di propagazione delle onde radio possono essere essenzialmente di due tipi, ovvero modelli deterministici e modelli probabilistici. I modelli deterministici tentano di modellare il comportamento del segnale in base all'ambiente esatto in cui il veicolo si trova attualmente, e con le posizioni specifiche degli oggetti che circondano il veicolo. I modelli stocastici, d'altra parte, assumono la posizione degli oggetti circostanti sulla base di una certa distribuzione statistica (spesso predefinita). Un modello deterministico permette di calcolare la potenza del segnale ricevuto, in base ad alcune proprietà dell'ambiente di propagazione come ad esempio la distanza tra i veicoli. Esempi di modelli deterministici sono il modello *Free Space* e il modello *Two-ray Ground*. Il primo modello di propagazione viene impiegato per caratterizzare la potenza del segnale ricevuto in ambienti in cui le onde possono propagarsi da trasmettitore a ricevitore senza incontrare ostacoli sul loro cammino; la potenza di tale segnale viene definita come una funzione della distanza che separa le due antenne elevata ad un qualche esponente. La potenza del segnale che arriva ad un'antenna ricevente posta a distanza  $d$  da un'antenna trasmittente è data dall'equazione di Friis. Il pathloss (perdita di percorso) che rappresenta l'attenuazione del segnale come quantità positiva espressa in dB, è definita come la differenza tra l'effettiva potenza in trasmissione e la potenza in ricezione, e può o meno includere l'effetto prodotto dal guadagno d'antenna. Il modello *Two-ray Ground* (riflessione a due raggi) prende in considerazione la propagazione del segnale dovuta alla riflessione del terreno tra trasmettitore e ricevitore. Questo modello risulta accurato sia in sistemi di comunicazione mobile che utilizzano antenne molto alte poste a diversi chilometri di distanza, sia in ambienti urbani in cui i dispositivi possono comunicare direttamente. In molti sistemi di comunicazione mobile, la distanza massima tra due antenne è di qualche chilometro così che la superficie terrestre può essere considerata piatta. La potenza del segnale ricevuto è quindi ottenuta dalla composizione del segnale giunto lungo cammini differenti.

I modelli probabilistici invece consentono una modellazione più realistica della propagazione delle onde radio. La caratteristica fondamentale è che un modello probabilistico prende in input un modello deterministico al fine di ottenere un intervallo medio di trasmissione. I principali modelli stocastici sono: modello *Log-Normal Shadowing*, modello *Rayleigh*, modello *Ricean* e modello *Nakagami*. Il modello Log-Normal Shadowing utilizza una normale distribuzione con varianza  $\sigma$  per distribuire la potenza di ricezione nel dominio logaritmico e riceve come input la potenza calcolata con un modello deterministico. Il modello Rayleigh dipende anche da un modello deterministico al quale è applicata una certa distribuzione uniforme. Il modello Ricean modella le potenze di ricezione seguendo la distribuzione di Rayleigh, ma tiene inoltre conto degli effetti positivi di un percorso LOS con un certo fattore di scala  $K$ . Infine il modello Nakagami rappresenta una modellazione matematica generale di un canale radio con fading. La potenza di ricezione segue una distribuzione probabilistica gamma. Si è cercato di fornire un'analisi quanto più chiara possibile dell'impatto dei canali radio sulle prestazioni delle reti veicolari.

Nell'ultima parte di questa tesi, ovvero all'interno del quarto capitolo, si è cercato di effettuare delle simulazioni riguardanti le reti veicolari secondo i parametri presentati in questo lavoro di tesi. Sono state effettuate delle modifiche ad un simulatore autoprodotta sviluppato in Java, l'ARF 1.1. Le principali modifiche apportate sono state quelle di implementare due dei modelli probabilistici presentati in questo lavoro: il modello Log-Normal Shadowing e il modello Rayleigh. Ciò ci ha permesso di effettuare delle simulazioni basate sulla potenza di ricezione in un particolare ambiente veicolare al variare del raggio di trasmissione e delle simulazioni sulla lunghezza media del percorso. Tutti i risultati ottenuti saranno descritti nell'ultimo capitolo di questa tesi.