

# INDICE

## Introduzione

### Capitolo 1 - Sistemi Wireless

1.1	Introduzione .....	1
1.2	Reti cellulari.....	1
1.3	Reti cellulare analogica.....	2
1.4	Reti cellulare digitale .....	3
1.5	Sistemi a commutazione di pacchetto.....	4
1.5.1	Sistema GPRS .....	5
1.5.2	Sistema UMTS.....	6
1.6	Reti wireless a "short range" .....	7
1.7	Le tecnologie wireless concorrenti .....	8
1.7.1	HomeRF .....	9
1.7.2	Le tecnologie wireless concorrenti.....	11
1.7.3	Bluetooth.....	12
1.7.4	IEEE 802.11x.....	13
1.8	Sicurezza nelle Wlan.....	19
1.7.3	Autenticazione.....	20
1.7.4	Riservatezza.....	22

### Capitolo 2 – La mobilità

2.1	Introduzione .....	25
2.2	Reti mobili wireless .....	28
2.2.1	Reti cellulari.....	28
2.2.2	Ad hoc networks .....	29
2.3	Tipologie di utenze mobili.....	29
2.3.1	Mobilità di pedoni.....	30

2.3.2	Mobilità veicolare .....	30
2.3.3	Mobilità marina e sottomarina .....	31
2.3.4	Mobilità aerea .....	31
2.3.4	Mobilità nello spazio libero.....	32
2.4	Modelli di mobilità	
2.4.1	Modelli di mobilità per reti cellulari ed ad hoc.....	32
2.4.2	Brownian motion model .....	34
2.4.3	Random walk model .....	36
2.4.4	Trace based model .....	36
2.4.5	Fluid flow mobility model .....	36
2.4.6	Random waypoint mobility model .....	37
2.4.7	Random direction mobility model .....	38
2.4.8	Gauss-Markov mobility model .....	40
2.4.9	Una versione probabilistica del random walk.....	42
2.4.10	A boundless simulation area .....	42
2.4.11	Modello di mobilità manhattan.....	44
2.5	Modelli di mobilità di gruppo.....	44
2.5.1	Exponential correlated random mobility model .....	44
2.5.2	Column mobility model .....	45
2.5.3	Nomadic community mobility model .....	47
2.5.4	Pursue mobility model .....	48
2.5.5	Reference point group mobility model .....	48
2.5.5.1	In-place mobility model.....	50
2.5.5.2	Overlap mobility model.....	51
2.5.5.3	Conventional mobility model.....	51
2.6	Particle based mobility.....	52
2.7	Modelli non ricorrenti.....	52

## Capitolo 3 - Modello di mobilità manhattan

3.1	Introduzione .....	54
3.2	Progettazione del simulatore di traffico urbano.....	55
3.3	Struttura mappa.....	55
3.4	Veicoli.....	58
3.4.1	Distanza di sicurezza .....	60
3.4.2	Auto che si avvicina ad un incrocio.....	60
3.4.3	Comportamento di un auto vicina ad un semaforo rosso .....	61
3.4.4	Comportamento di un auto vicina ad un auto più lenta .....	62
3.4.5	Sorpasso .....	63
3.4.6	Accelerazione .....	63
3.4.7	Decelerazione.....	64
3.4.8	Veicoli di emergenza.....	65
3.5	Pedoni .....	66
3.6	Implementazione e output.....	67

## Capitolo 4 - Simulazioni e analisi statistiche

4.1	Introduzione .....	70
4.2	Passi e procedure delle simulazioni .....	71
4.2.1	Elementi caratteristici della simulazione .....	72
4.2.2	Tipo di modello.....	72
4.3	Modello di simulazione.....	73
4.3.1	Catteristiche mappa.....	74
4.3.2	Copertura cellulare ipotetica.....	76
4.3.3	Mobilità utente.....	78
4.3.4	Catteristiche veicoli.....	80
4.4	Campagne di simulazioni .....	81
4.5	Analisi dei risultati.....	83
4.6	Analisi dei risultati mediante regressione .....	86
4.7	Considerazione altre campagne di simulazione.....	91

Conclusioni .....	93
Bibliografia .....	95

## Indice delle Figure

Figura 1.1. Riuso delle frequenze.....	3
Figura 1.2. Lan a confronto.....	15
Figura 1.3. Confrono di bit-rate.....	23
Figura 2.1. Relazione tra accessibilità, traffico e mobilità.....	26
Figura 2.2. Classificazione dei modelli di mobilità.....	32
Figura 2.3. Movimento dei nodi nel modello brownian.....	33
Figura 2.4. Esempio di RWM in 2-D.....	34
Figura 2.5. Random waypoint model.....	36
Figura 2.6. Random Direction Mobility Model.....	37
Figura 2.7. Gauss-Markov Mobility Model.....	38
Figura 2.8. Automa che descrive le probabilità date dalla matrice P1.....	40
Figura 2.9. Esempio di movimento di un nodo mobile.....	40
Figura 2.10. Struttura dell' area di simulazione del modello.....	42
Figura 2.11. Esempio di Boundless Simulation Area Models.....	42
Figura 2.12. Column Model.....	44
Figura 2.13. Esempio di Column Model.....	45
Figura 2.14. Esempio reale di Column Model.....	45
Figura 2.15. Nomadic Community Mobility Model.....	46
Figura 2.16. Pursue Mobility Model.....	47
Figura 2.17. RPGM.....	48
Figura 2.18. Esempio di In-Place Mobility Model.....	49
Figura 2.19. Esempio di Overlap mobility model.....	50
Figura 2.20 <i>Esempio di Conventional model</i> .....	51
Figura 3.1. Modello manhattan.....	54
Figura 3.2. Manhattan Grid in 2D.....	55
Figura 3.3. Mappa toroidale.....	56
Figura 3.4. Struttura Mappa simulatore.....	57
Figura 3.5. Utenti mobili.....	58
Figura 3.6. Tipi di incroci e direzioni possibili per i veicoli.....	59
Figura 3.7. Comportamento di un'auto vicina al semaforo.....	62
Figura 3.8. Comportamento di un'auto vicina ad un'auto più lenta.....	63
Figura 3.9. Diverse tipologie di auto nella mappa.....	66
Figura 3.10. Comportamento di un pedone in prossimità di un incrocio.....	67
Figura 3.11. Pedoni che si muovono sui marciapiedi nella mappa.....	67
Figura 3.12. Mappa completa di auto e pedoni.....	68
Figura 4.1. Struttura dell'area di simulazione.....	76
Figura 4.2. Esempio di una cella usata nel modello.....	77
Figura 4.3. Overlapping tra due celle adiacenti.....	77
Figura 4.4. Ipotetica copertura cellulare della mappa.....	78
Figura 4.5. Possibili In e Out in una cella per utente.....	79
Figura 4.6. Esempio di utenti ad un incrocio.....	83
Figura 4.7. <i>Distribuzioni di <math>\mu_{pIO}</math> per le celle verticali.</i> .....	85
Figura 4.8. Curva di regressione $\mu_{pIO}$ di In0/Out0 per le celle verticali.....	87
Figura 4.9. Curva di regressione di $\sigma_{pIO}$ In0/Out0 per le celle verticali.....	88
Figura 4.10. Curva di regressione $\mu_{pIO}$ di In0/Out0 per le celle orizzontali.....	88
Figura 4.10. Curva di regressione $\mu_{pIO}$ di In0/Out0 per le celle verticali.....	89
Figura 4.11. Curva di regressione di $\sigma_{pIO}$ In1/Out0 per le celle verticali.....	89
Figura 4.12. <i>Curva di regressione <math>\mu_{pIO}</math> di In2/Out1 per le celle verticali.</i> .....	90

Figura 4.13. Curva di regressione di $\sigma_{pIO}$ In2/Out1 per le celle verticali. ....	90
Figura 4.14. Curva di regressione $\mu_{pIO}$ di In3/Out2 per le celle verticali. ....	91
Figura 4.15. Curva di regressione di $\sigma_{pIO}$ In3/Out2 per le celle verticali. ....	92

## Indice delle Tabelle

Tabella 1.1. Tabella con tecnologie IEEE 802.11 a confronto.....	19
Tabella 2.1. Caratteristiche principali di alcuni modelli di mobilità.....	52
Tabella 4.1. Matrice In/out di cella.....	80
Tabella 4.2. tabella campagna temporizzazione semafori.....	82
Tabella 4.3. tabella campagna accelerazione massima.....	82
Tabella 4.4. tabella campagna probabilità di direzione.....	83
Tabella 4.5. valori di $\mu_{pIO}$ e $\sigma_{pIO}$ per celle verticali.....	86

## **INTRODUZIONE**

Negli ultimi decenni la telefonia mobile e la trasmissione di dati tramite Internet hanno subito uno sviluppo ed una diffusione notevoli, diventando i due più grandi successi nel campo delle Telecomunicazioni. I sistemi radiomobili, infatti, hanno raggiunto livelli di utenza superiori a quelli della telefonia fissa. Internet invece, è diventato uno dei mezzi più importanti per raccogliere e distribuire informazioni in tutto il mondo, offrendo numerose applicazioni di diverso genere. I sistemi radiomobili possono essere divisi in due grandi categorie in base alle tecniche di trasmissione adottate: analogici o digitali. I primi trasmettono in modulazione di frequenza e impiegano per tutto il corso della chiamata, una coppia di canali. Essendo le risorse radio limitate, questa metodologia, che suddivide lo spettro in tante porzioni corrispondenti a frequenze portanti diverse (metodo FDMA), non ne permette un buon utilizzo, inoltre, l'uso della modulazione di frequenza rende le comunicazioni facilmente intercettabili. Con le tecnologie digitali si può ottenere una maggiore sicurezza della privacy degli utenti, grazie alla possibilità di crittografare la comunicazione; inoltre, si può avere un sostanziale aumento della capacità del sistema a parità di banda allocata, potendo utilizzare la tecnica TDMA, che permette l'utilizzo dello stesso canale radio tra più utenti, poiché ogni canale radio viene partizionato in intervalli di tempo, detti *time-slot* e ad ogni utente è assegnata una particolare combinazione di frequenze e *time-slot*. Attraverso l'affermazione dei sistemi denominati di "terza generazione" si è voluto conciliare la mobilità dell'utente con la crescente esigenza di comunicazione multimediale. In altri termini si vuole far confluire in un'unica realtà la telefonia mobile e i servizi multimediali.

In questa direzione è stato fatto un passo importante dai sistemi radiomobili (quelli cioè di "seconda generazione" come il GSM - *Global System for Mobile Communications*), introducendo servizi come l'accesso ad Internet (pur con capacità limitate) basati sulla tecnica a commutazione di pacchetto, che permette di impegnare le risorse trasmissive della rete solo quando c'è qualche dato da trasmettere e di

pagare solo per la reale quantità di informazione inviata. Il primo passo per trasformare il cellulare in uno strumento di accesso ai dati contenuti in rete è stato il WAP (*Wireless Application Protocol*), il protocollo nato per consentire l'accesso ai servizi *web* tramite un terminale dotato di *micro-browser*. I servizi possibili riguardano per lo più la possibilità di accedere alla propria casella di posta elettronica, di ricevere le quotazioni dei titoli in borsa, di fare transazioni *online* o di collegarsi alla propria banca per le ultime notizie. Le informazioni vengono tradotte in un formato compatibile ai piccoli schermi, mantenendo la navigabilità e interattività tipiche di Internet. Il WAP si è rivelato però lento e costoso, deludendo le aspettative. Le cause di ciò sono da ricondursi all'assenza di un vero standard unificante per il protocollo e alla ridotta capacità del canale dati GSM, che si appoggia ad un circuito con una banda trasmissiva di soli 9.6 kbit/s. Per ovviare a questi inconvenienti, si è preparato un secondo passo evolutivo, il GPRS (*General Packet Radio System*), che consente di arrivare ad una velocità di 171 kbit/s. Verso la fine del 2000 è stata completata la sperimentazione tecnica di questo sistema, mentre nel 2001 i gestori di telefonia mobile hanno avviato le prime azioni commerciali, offrendo tariffe relativamente basse per favorirne la diffusione. Il GPRS comporta un miglioramento significativo rispetto al WAP, ma il suo vero vantaggio risiede nella capacità di trasferire informazione a pacchetto via etere, tra il telefono cellulare e la sua stazione base. GPRS è la prima tecnologia che rende possibile la trasmissione di pacchetti dati da un telefono cellulare, occupando così il canale radio solo nel momento stesso in cui l'informazione viaggia tra telefono e stazione radio base e permettendo in tal modo un uso condiviso di quello stesso canale da parte di altri terminali mobili. Negli ultimi anni si è affermato in Europa i sistemi di "terza generazione" *Universal Mobile Telecommunications System* (UMTS), uno degli obiettivi principali è stato quello di consentire l'erogazione di un'ampia gamma di servizi vocali, dati e multimediali in un ambiente estremamente competitivo e dinamico. Questo dovrebbe condurre verso uno scenario in cui gli stessi operatori potrebbero decidere di specializzarsi in ruoli diversi, quali, per esempio, il fornitore di servizi e contenuti, e dove, contemporaneamente, altre aziende tradizionalmente estranee al mercato radiomobile



potrebbero ricavarne una nicchia di mercato. L'obiettivo non sarà comunque solo quello di offrire classi di servizio sempre più ampie e innovative, ma anche quello di garantire all'utente un ambiente integrato e omogeneo, che astragga completamente dal tipo di terminale o di rete tramite cui si accede al servizio. I servizi multimediali rappresentano sicuramente una delle caratteristiche più attraenti e affascinanti di UMTS. La disponibilità di banda renderà, infatti, possibile lo sviluppo di un'ampia gamma di servizi, direttamente fruibili dal terminale mobile dell'utente. Le applicazioni sono svariate: si va, per esempio, dalle applicazioni di video-comunicazione (rese possibili grazie all'uso di terminali dotati di mini videocamere) alla possibilità di ricevere, su richiesta, filmati direttamente sul telefonino. Per quanto riguarda i servizi di messaggistica, che rappresentano, ad oggi, una delle applicazioni più diffuse, l'obiettivo è quello di associare contenuti multimediali ai messaggi trasmessi. Infine anche i servizi basati sul concetto di localizzazione rappresentano un altro settore di vasto interesse, essendo la mobilità la caratteristica principale dei sistemi radiomobili. Uno dei requisiti fondamentali dei telefonini di terza generazione è comunque quello di mantenere le principali prerogative di quelli attuali, e cioè peso limitato e l'alta maneggevolezza. Nei sistemi cellulari, per poter garantire una copertura adeguata al territorio, utilizzando le limitate risorse a disposizione, viene usata una tecnica di copertura che consiste nel suddividere l'area di servizio in celle, ciascuna delle quali servita da una stazione base. Ogni cella ha a disposizione un certo numero di canali radio, che possono essere riutilizzati in altre celle, opportunamente distanziate, per evitare i problemi di interferenza dovuti all'uso simultaneo dello stesso canale. Per garantire il completamento di una chiamata di un utente, che si muove da una cella ad un'altra, la rete deve reistradare ogni volta la chiamata nella nuova cella. Questo meccanismo, detto di *handover* o *handoff*, deve avvenire il più rapidamente possibile per evitare una riduzione della "qualità del servizio" (QoS), a causa del degrado del collegamento radio o addirittura la perdita della chiamata. Per far fronte al crescente aumento della richiesta di servizio, in aree densamente popolate, si ha la necessità di utilizzare sistemi che abbiano una capacità

sempre più elevata. Questo risultato può essere conseguito riducendo opportunamente la dimensione delle celle a discapito, però, del costo del sistema.

Per ottenere una copertura ancora migliore del territorio è possibile realizzare sistemi cellulari ad architettura mista, in cui la copertura continua viene assicurata da celle di tipo tradizionale (macrocelle), affiancate da microcelle disposte nelle aree più congestionate. Si può pensare anche ad un'architettura mista tra la rete cellulare e la WLAN attraverso i telefoni dual-mode. WLAN (*Wireless Local Area Network*) è una rete radio d'area locale in grado di offrire copertura in zone ad alta densità di traffico con tipica estensione fino al centinaio di metri per trasmissione dati e per l'accesso veloce a Internet e alle Intranet aziendali. Si è affermato in tutto il mondo lo standard *IEEE 802.11*, che è uno standard per *wireless LAN* di strato fisico (*OSI layer 1*) e strato di collegamento (*OSI layer 2*) per connessioni Ethernet negli uffici e per applicazioni domestiche. Sulla base dello standard operano i prodotti Wi-Fi (*Wireless Fidelity*) certificati dalla *Wi-Fi Alliance*. Wi-Fi è, dunque, un marchio commerciale che assicura la compatibilità tra prodotti basati sullo standard *IEEE 802.11*. A seguito del successo delle *Wireless LAN* in ambito privato (uffici, abitazioni), si è esteso il Wi-Fi anche ad aree pubbliche caratterizzate da un'alta densità di traffico (dette *hotspot*) per l'accesso a Internet a banda larga. Wi-Fi, non più realizzato soltanto attraverso schede esterne PCMCIA, è ora disponibile come funzionalità integrata in molti terminali d'utente.

Una delle principali ragioni alla base della diffusione del Wi-Fi consiste nella scelta della banda di frequenza. Infatti, lo standard *IEEE 802.11* opera in una banda di frequenza allocata per utilizzazioni industriali, scientifiche e mediche (da cui la denominazione di banda ISM). Le bande ISM (*Instrument Scientific Medical*) sono state originariamente concepite per la messa in opera di sistemi atti a utilizzare in uno spazio ridotto (da pochi metri a qualche centinaio di metri) le radioonde a fini industriali, scientifici, medici, domestici o analoghi, con esclusione, quindi, dell'impiego per servizi di telecomunicazioni a grande distanza. Le bande ISM sono impiegate per sistemi di identificazione a radiofrequenza (*Radio Frequency Identification Device*, RFID), dispositivi di comunicazioni a corto raggio e a bassa

potenza per collegamenti audio, video e dati (inclusi WLAN, Bluetooth e HomeRF), sistemi di telecomando e telecontrollo . La mobilità in reti WLAN, in realtà, abbraccia molteplici funzionalità, dove il primo requisito di mobilità è il cosiddetto requisito di *close and go - open and resume* che consiste nel mantenere attiva la sessione del cliente che si muove da un'area di copertura a un'altra ponendo in *stand-by* il proprio computer portatile; in tal caso, quando il PC viene riattivato, occorre fornire all'istante una connessione sicura al cliente. Inoltre, se i due hotspot interessati non appartengono allo stesso WISP(*Wireless Internet Service Provider*) occorre anche assicurare la trasparenza nel cambiamento di rete servente attraverso la funzionalità di roaming. Un requisito di mobilità a livello di rete ancora più stringente, applicabile al caso di terminali PDA in movimento, concerne il *seamless hand-over*, funzionalità che consente all'utente di muoversi in aree di copertura di AP adiacenti, dello stesso operatore o di operatori differenti, mantenendo il terminale sempre operativo, cioè senza interruzione del flusso dati. Tale requisito, meno importante per servizi dati a bassa velocità, è viceversa necessario per servizi in tempo reale come la fonia o l'acquisizione di flussi video (*streaming*). La tecnologia considerata più adatta ad assicurare la mobilità entro le reti *wireless* è la tecnologia IP mobile, tale tecnologia è basata su una gestione centrale della mobilità mediante il cosiddetto *home agent* e sulla mobilità nella rete ospite mediante *foreign agent*. La mobilità offerta da una rete WLAN consente di risparmiare tempo e lavorare dove e quando si desidera. Per un'azienda questo significa un aumento della produttività, con conseguente risparmio sui costi di manodopera. Utilizzando telefoni WLAN o PDA abilitati per l'utilizzo in reti WLAN, è possibile scambiare dati da un magazzino o all'interno di un grande stabilimento. In altre organizzazioni, quali ospedali o strutture sanitarie, un aumento di produttività può significare un maggior numero di vite salvate. La possibilità di inserire i dati di un paziente direttamente dal suo posto letto, dal laboratorio o da qualsiasi punto in cui tali dati vengano rilevati, può consentire di offrire cure migliori, nonché di aumentarne l'efficienza e l'accuratezza. La mobilità dell'utente è l'aspetto più importante per questi sistemi di comunicazione. Infatti, l'introduzione delle tecnologie wireless hanno cambiato radicalmente i

comportamenti degli individui nella società. Il lavoro di tesi svolto è concentrato soprattutto sulla mobilità dell'utente in un centro urbano. Ci sono relazioni che possono esistere tra mobilità, accessibilità e traffico, dove per mobilità intendiamo gli spostamenti effettuati dall'individuo, per accessibilità l'interazione degli utenti alla rete attraverso dispositivi wireless e per traffico la mobilità motorizzata.

La mobilità dell'individuo è subordinata alle scelte (decisioni) degli individui circa la partecipazione alle attività. Su di essa influisce l'attrattività delle attività ed il tipo di accesso (fisico e virtuale), le alternative di trasporto, i livelli dei servizi, le informazioni relative al traffico e l'attitudine degli individui a spostarsi;

L'opportunità di sicurezza nei trasporti, qualità dei servizi, coordinamento dei sistemi di trasporto e dei flussi informativi sono, invece, caratteristiche del traffico;

L'interazione, attrattività e connessione virtuale sono determinanti dell'accessibilità; Quindi la mobilità può subire variazioni nel caso gli individui che si spostano abbiano fatto uso di informazioni usufruendo di fonti informative tradizionali (cartine, orari) o di fonti avanzate, quali rappresentate dalle cosiddette Information Communication Technologies (ICT): il telefono cellulare, Internet, i sistemi GPS, e in base a queste informazioni fare una scelta di percorso (traffico) diversa.

Questo è tutto ciò che riguarda gli aspetti della mobilità reale dell'individuo con l'uso delle tecnologie wireless (notebook, palmari, cellulari, ecc..).

Per migliorare le esigenze dell'individuo e della sua mobilità, si studiano, in questo lavoro di tesi, attraverso le simulazioni, gli aspetti fondamentali delle tecnologie wireless relative alla mobilità. Le simulazioni vengono fatte usando dei modelli di mobilità. I quali sono, in generale, basati su semplici assunzioni riguardo al comportamento di movimento degli utenti, ma permettono anche lo sviluppo di espressioni matematiche per testare le prestazioni del sistema. Un modello di mobilità deve riuscire a riprodurre fedelmente un sistema reale: i cambi di velocità, di direzione, di un utente devono poter accadere in tempi ragionevoli affinché il modello possa rispecchiare la realtà. Nelle reti cellulari si analizzano oltre al moto individuale, ai cambi di velocità e di direzione, anche gli spostamenti in differenti celle nel tempo;

Nelle reti ad-hoc, i modelli di mobilità riflettono il comportamento di un individuo mobile, oppure di un gruppo mobile, ma al contrario delle reti cellulari non vi è alcuna nozione di movimento di gruppo in riferimento a particolari ‘celle’. Nel secondo capitolo si fa ampia descrizione dei vari modelli di mobilità utilizzati per la simulazione. I modelli di mobilità che sono usati comunemente per simulare le reti ad-hoc possono essere classificati in due categorie:

- individuale;
- di gruppo.

La maggior parte della ricerca che si è occupata delle reti ad-hoc ha svolto la propria attività soprattutto nella direzione della mobilità individuale perché il codice di simulazione è prontamente disponibile, al contrario della mobilità di gruppo dove ci sono troppi parametri a cui badare. Un modello individuale descrive la mobilità del nodo in modo indipendente dagli altri nodi. Nel modello di gruppo, invece, la mobilità definisce il movimento individuale dei nodi che dipende dal movimento di chiusura del gruppo; in questi modelli le decisioni sul movimento dei nodi sono prese da altri nodi del gruppo. I modelli di mobilità si possono distinguere per i seguenti parametri:

- tempo dipendenti;
- spazio dipendenti;
- restrizione geografiche;
- random.

Dove tra i modelli random più usati vi è il Random Waypoint, tra quelli tempo dipendenti. Questo modello è molto usato per valutare i protocolli di routing per le ad hoc network. Il Guass-Markov è caratterizzato da una dipendenza temporale. Spazio dipendente è il RPGM (*Reference Point Group Mobility Model*), che rappresenta il movimento casuale di un gruppo e il movimento di un singolo nodo all’interno del gruppo. Infine il modello Manhattan che è sia tempo dipendente, sia con restrizioni geografiche. Nel terzo capitolo viene descritto il Modello di Mobilità Manhattan in cui l'area di simulazione è una rete stradale che rappresenta una sezione di una città dove esiste una rete wireless.

L'area di simulazione è una mappa costituita da strade disposte a griglia, dove i nodi mobili si possono muovere liberamente rispettando i versi di percorrenza delle strade. Il nodo che si muove su questa griglia, arrivato ad un incrocio, punto di intersezione tra strade verticali e orizzontali, può scegliere di girare a destra o a sinistra (condizionati dal senso unico di strada), oppure continuare dritto. In questo lavoro di tesi viene progettato e implementato un simulatore di traffico urbano. Il progetto è stato realizzato utilizzando la piattaforma Java. Con il simulatore si possono costruire diverse mappe o aree di simulazioni, infatti, si possono impostare da input la base e l'altezza della mappa, nonché il numero di strade verticali e orizzontali e la larghezza della strada. La mappa è toroidale, cioè un utente che esce da un'estremità della mappa, rientra sulla stessa strada, con lo stesso verso, ma dal lato opposto. Le strade sono a senso unico di circolazione. Per gli utenti mobili i parametri più importanti sono: il numero massimo di utenti presenti nella mappa, e le frequenze di arrivo. Ogni tipo di utente ha delle caratteristiche proprie, per le auto vi sono range di velocità e accelerazione da cui si distinguono tre tipi di auto: utilitaria, berlina e sportiva. Inoltre si hanno auto civili e auto di emergenza con un diverso livello di priorità. I pedoni invece hanno una velocità costante e accelerazione nulla. Sia i veicoli, che i pedoni devono rispettare i segnali semaforici. Da input si può anche definire il periodo di funzionamento del semaforo. Nel quarto capitolo si descrivono le simulazioni fatte per avere risultati, da cui studiare la mobilità di utente in un centro cittadino. Attraverso la simulazione discreta ad eventi, si è costruito un modello di simulazione dinamico e stocastico: dinamico in quanto esso viene eseguito e studiato durante tutta la sua evoluzione temporale, stocastico data la presenza di eventi che si verificano ad intervalli di tempo che seguono l'evoluzione propria di una variabile aleatoria, ad esempio i tempi d'interarrivo di un'auto all'ingresso di una cella. Il modello viene definito discreto perché il clock del sistema procede ad intervalli discreti di tempo, effettuando un'istantanea di tutte le sue variabili di stato. Essendo casuale l'output del sistema, è indispensabile valutare le sue prestazioni seguendo le leggi dell'inferenza statistica. Bisogna, quindi, dare al sistema la possibilità di evolvere per un tempo lungo, in modo da avere un numero di

eventi abbastanza elevato da poter considerare i risultati attendibili. Questo è realizzato effettuando un numero di run della simulazione sufficiente a costituire un campione valido e atto a soddisfare i requisiti necessari, quindi i risultati ottenuti devono essere sempre compresi entro un range di confidenza del 95%. Per le simulazioni si sono fissati i parametri dell'area di simulazione, quindi del numero di strade, della larghezza di strada e del numero di utenti mobili presenti. La mappa costruita è di 1000mq, con 10 strade verticali e 10 orizzontali, ed una larghezza di strada di 30m. Si realizza un'ipotetica rete cellulare adatta a questo modello con celle ellittiche disposte sulle strade verticali e orizzontali. La cella ha dimensione 270m di lunghezza e 60m di larghezza, e ricoprono tre incroci. Ci sono 5 celle per ogni strada verticale e orizzontale, quindi, considerando 10 strade verticali e 10 orizzontali, sono in totale 100. Le celle sono ipotetiche, cioè non vi è segnale radio, ma servono solo ad individuare la mobilità dell'utente. Lo scopo del lavoro svolto è, infatti, quello di stimare il numero medio di spostamenti dell'utente nella mappa di simulazione. Ogni cella è suddivisa in 8 parti, cui 4 entrate e 4 uscite. Per memorizzare i risultati di simulazione, per ogni cella si è costruita una matrice 4x4, dove ogni elemento della matrice indica l'ingresso e l'uscita di utente da una cella. Stabilite le campagne di simulazione, cioè vedere come si comporta il modello al variare di alcuni parametri, si sono fatte le simulazioni. Le campagne di simulazione fatte sono tre, i parametri variabili sono: l'accelerazione massima consentita per le auto, la temporizzazione dei semafori e la probabilità di scegliere una direzione. I migliori risultati sono stati ottenuti dalla terza campagna, dove si evince che è possibile predire la mobilità di utente in una qualsiasi strada cittadina. Infatti, dalle curve di regressione si ricavano la media della probabilità di *In/Out* (ingresso /uscita) degli utenti e la deviazione standard al variare di un parametro di direzione dell'utente. I risultati ottenuti possono essere usati per applicazioni future, quali il progetto di una copertura di segnale, mediante l'installazione di antenne. Dalle altre due campagne di simulazione non si sono avuti, i risultati sperati. Ma sono utili per studi futuri sul tempo di permanenza in cella (Cell stay time) di un utente.