Universita' di Modena e Reggio Emilia

Facolta di Ingegneria di Modena

Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

STUDIO, SIMULAZIONE E VALUTAZIONE DI UN ALGORITMO V2V PER LO SCAMBIO DI INFORMAZIONI

Relatore:

Prof. Federica Mandreoli

Candidato:

Matteo Pergola

Correlatori:

Ing. Luca Carafoli

Prof. Riccardo Martoglia

Anno Accademico 2010 / 2011

Parole Chiave

Clustering
V2V
Trasporto Intelligente
Simulazione

Indice

Introduzione

I Stato dell'arte

1.1 Il progetto Pegasus
1.1 .1 Il problema della gestione dei dati nel progetto PEGASUS
1.1.2 Acquisizione dati
1.2 Obiettivo della tesi

II Un algoritmo per l'elezione di CH e confronto con lo stato dell'arte

2.1 Descrizione dell'algoritmo
2.1.1 Algoritmo allo stato dell'arte
2.1.2 Algoritmo proposto
2.1.3 Esempi di simulazione traffico veicolare
2.2 Analisi CM appartenenti a piu' CH: CMMCH
2.2.1 Esempi di risoluzione di CMMCH

III Sperimentazione e confronto

3.1 Vissim
3.2 Scenario utilizzato
3.3 Implementazione in java
3.3.1 Tabelle virtuali impiegate
3.3.2 Classi usate per i cluster
3.3.3 Classi usate per le prestazioni
3.4 Parametri utilizzati
3.5 Analisi algoritmi
3.5.1 Analisi al variare del campionamento
3.5.2 Analisi al variare della portata WiFi
3.5.3 Analisi con la finestra temporale limitata
3.5.4 Note e deduzioni conclusive

Conclusioni e sviluppi futuri

Bibliografia

Introduzione

I problemi relativi al traffico delle nostre citta', caratterizzati dall'aumento del consumo di carburante, dall'inquinamento acustico e ambientale, dall'elevato tasso d'incidenti e dalla conseguente generazione di congestioni, sono problemi che comunemente deteriorano la qualita' di vita delle persone. Lo sviluppo di nuovi concetti del trasporto e della mobilita' sono stati promossi dal 7th UE Framework Programme, con l'obiettivo di sviluppare innovative ed efficaci iniziative, riunendo tutti gli elementi di un trasporto pulito, a basso consumo energetico, sicuro ed intelligente.
L'Intelligent Transportation System (ITS) definisce le tecnologie tese ad integrare l'Information and Communications Technology (ICT) alle infrastrutture dei trasporti e dei veicoli, al fine di aumentare la sicurezza, e di ridurre l'inquinamento, i tempi di trasporto, il numero di incidenti e i consumi di carburante.
Nell'ambito ITS e' inserito il progetto PEGASUS, il cui obiettivo e' sviluppare un sistema di trasporto intelligente realizzando una piattaforma infotelematica per fornire soluzioni di mobilita' per una gestione del traffico efficiente ed efficace. Questo progetto nasce dalla collaborazione di diverse aziende, e dalla collaborazione di diversi gruppi di ricerca universitari tra cui ISGroup, presso il quale e' stato svolto il seguente lavoro di ricerca.
Nel contesto cosi' descritto, ogni veicolo appartenente al sistema e' equipaggiato con un On-Board Unit (OBU), ovvero un'unita' di bordo che comunica tramite GPRS con un centro di controllo, e via rete WiFi con le altre unita' di bordo nelle vicinanze. La comunicazione mediante GPRS tra OBU e centro di controllo e' denominata V2I, ovvero Vehicle to Infrastructure, mentre la comunicazione via rete WiFi tra le varie unita' di bordo e' denominata V2V, ovvero Vehicle to Vehicle.
Considerando che nella realta' sono circa settecentomila i veicoli circolanti dotati di OBU, e se ne prevedono almeno un milione in tempi brevi, il numero di comunicazioni e la quantita' di dati scambiati risultano ostativi. L'obiettivo delle tecniche communication-saving e' appunto quello di ridurre il traffico di dati sia tra le varie unita' di bordo che tra unita' di bordo e centrale operativa.

Nello scenario cosi' descritto e' inserito questo progetto di ricerca, il cui obiettivo principale e' la riduzione delle comunicazioni V2I mediante strategie di aggregazione V2V. Quindi si vuole creare un nuovo algoritmo di clustering, confrontandolo con uno gia' presente in letteratura. La difficolta' principale nella sperimentazione di algoritmi in reti V2V, consiste nella scelta di un algoritmo che riesca ad affrontare l'alta dinamicita' della rete e la ricerca di una stabilita' dei cluster eletti.
L'algoritmo allo stato dell'arte assegna ad ogni veicolo una probabilita'

casuale, quindi le OBU comunicano in V2V in modo da eleggere un veicolo cluster head nel caso abbia la probabilita' massima tra i suoi vicini nella sua rete WiFi. Il nuovo algoritmo proposto controlla nella regola di elezione di un cluster head, che un veicolo veda il numero massimo di veicoli tra lui e tutti i suoi vicini nella portata WiFi, oltre al possibile controllo sulla probabilita' in caso di parita di veicoli visti.

Scendendo nei particolari, per studiare la formazione dei cluster tra OBU, e' stato necessario continuare lo sviluppo di un simulatore, poiche' non sarebbe stato possibile utilizzare mezzi fisici necessari per questo scopo. La validazione dei risultati ottenuti sara' quindi sostenuta, dalla validita' dei dati in input, i quali saranno generati da un simulatore di traffico professionale della PTV Vision chiamato Vissim, operante su scenari pressoche' identici alla viabilita' reale. In particolare qui si e' analizzato lo scenario di Roma nella variante in Via Tiburtina nel tratto Via di Casal Bruciato Ponte Mammolo redatta a Perugia nel 1999 .
Tramite un file prodotto da Vissim ci si e' interfacciati al simulatore, in modo da poter implementare le strutture software necessarie alla creazione degli algoritmi, e quindi alla generazione dei risultati.

L'analisi dei risultati si e' discussa andando a variare la frequenza di scambio dati nella rete V2V e la portata WiFi delle OBU. Quindi le conclusioni sono orientate a misurare la stabilita' e il confronto degli algoritmi testati, e infine si e' misurata la performance degli algoritmi in base al numero di comunicazioni V2I risparmiate.

La struttura dei suddetti argomenti in questo documento e' suddivisa in tre parti: la prima riporta lo stato dell'arte e l'obiettivo della tesi, la seconda spiega nel dettaglio il funzionamento degli algoritmi, e l'ultima descrive la sperimentazione e le relative considerazioni.

I Stato dell'arte

1.1 Progetto Pegasus

Figura 1: Logo Progetto Pegasus

Le aree urbane e periurbane del paese sono sempre piu' congestionate dal traffico con conseguente aumento degli incidenti, dei rallentamenti, dell'inquinamento atmosferico e acustico, del numero degli automobilisti alla ricerca di parcheggi non sempre disponibili, o che devono affrontare vincoli/restrizioni all'accesso ai centri storici. L'insieme di tali fenomeni ha un impatto negativo sia dal punto di vista dello sviluppo economico che sociale del paese. Obiettivo del progetto finanziato dal programma Industria 2015 di PEGASUS (ProgEtto per la Gestione della mobilita' Attraverso Sistemi infotelematici per l'ambito Urbano, per la Sicurezza di passeggeri, veicoli e merci) [6] e', quindi, la realizzazione di una piattaforma infotelematica integrata che sia l'elemento abilitante di un approccio sistemico alla gestione sostenibile ed in sicurezza dei flussi di persone, veicoli e merci all'interno delle aree urbane. In particolare, la piattaforma si basera' sulla raccolta ed elaborazione in tempo reale dei dati provenienti dai veicoli, dalle infrastrutture e dalle loro interazioni e li sfruttera' per una migliore gestione della mobilita' nelle aree urbane e periurbane.

Una breve panoramica degli obiettivi di PEGASUS e delle innovazioni attese dalla realizzazione della Piattaforma Infotelematica sono riportati di seguito e suddivisi in base all'area di riferimento, tenendo comunque conto che il risultato finale sara' frutto dell'interazione di tutte le azioni strategiche di innovazione industriale del progetto di sistema.

- *Miglioramento della mobilita' in termini di miglioramento dell'accesso attraverso la riduzione della congestione e dei tempi di percorrenza*

  L'introduzione e la diffusione del sistema eCall, dell'alert preventivo e delle reti di comunicazione "Vehicle to Vehicle" tramite la diffusione del servizio e degli standard correlati determineranno un miglioramento della sicurezza sulle strade delle aree urbane e periurbane, ma anche dei veicoli. L'impatto sociale e

commerciale di questa ASII (Azione Strategica di Innovazione Industriale) e' indubbio e, se ne trova una conferma di cio' anche nelle azioni di indirizzo, sostegno e promozione supportate dalla Unione Europea tramite la Commissione e le iniziative eSafety.

- Incremento dell'efficienza nell'uso degli attuali mezzi di trasporto e delle infrastrutture urbane e periurbane

  Gestione flussi, razionalizzazione della viabilita' e determinazione dei livelli di inquinamento: la piattaforma infotelematica tramite il suo approccio di sistema permettera' alle Amministrazioni di pianificare le politiche sulla mobilita' con una visione di lungo termine, monitorando allo stesso tempo il reale impatto inquinante della mobilita', ed avendo cosi' a disposizione potenti strumenti per lanciare politiche basate sui concetti “pay as you pollute” e “crediti d’inquinamento”. L’Urban Mobility in particolare permettera' di sviluppare un sistema integrato di gestione di nodi e servizi strategici della citta': come permessi di transito/circolazione elettronici, disponibilita' dei parcheggi in tempo reale e da remoto, gestione del flusso delle merci all’interno della rete stradale cittadina. L’azione coerente e coordinata, basata su informazioni raccolte ed elaborate dalla Piattaforma, fornira' uno strumento di gestione fondamentale a tutti gli attori coinvolti nella gestione della mobilita' in ambito urbano per realizzare e monitorare “politiche di mobilita' sostenibile”

- *Incremento della sicurezza e riduzione degli impatti ambientali derivanti dalla mobilita' veicolare*

  La navigazione intelligente potra' essere garantita attraverso l’invio di informazioni sul traffico in tempo reale ai veicoli, consentendo cosi' al navigatore di bordo di aggiornare continuamente il percorso ottimo. Tale servizio e' reso possibile dall’elevato numero di On Board Unit gia' installate o in corso di installazione su una molteplicita' di veicoli che trasmettono ad un centro di controllo informazioni legate alla velocita' media, garantendo cosi' la conoscenza, in tempo reale, di eventuali rallentamenti o ingorghi. L’acquisizione e l’elaborazione da parte di un centro di controllo di dati provenienti dalle diverse unita' e dalle infrastrutture gia' esistenti permetteranno di fornire un dato attendibile e puntuale, il piu' prossimo possibile al concetto di real traffic information system. La sempre piu' sentita esigenza da parte delle persone di avere informazioni sul traffico sara' soddisfatta dal sistema di smart navigation anche tramite la possibilita' di fornire informazioni ulteriori in linea con i profili di interesse degli utenti e con le

informazioni derivabili dalle altre aree della Piattaforma (es.: green driving, e urban mobility…). Il mezzo con cui verranno fornite le informazioni sara' potenzialmente ogni dispositivo mobile (cellulare o navigatore) che decidera' di usufruire dei servizi forniti dalla Piattaforma.

1.1.1 Il problema della gestione dei dati nel progetto PEGASUS

I problemi relativi al traffico nelle nostre citta', ovvero l'aumento di consumo di carburante e l'inquinamento (inteso sia come rumore che come emissioni, soprattutto a causa di stop e ripartenze), l'aumento dei tassi di incidenti e la conseguente ulteriore congestione proprio a causa di questi ultimi, sono problemi ben noti che comunemente deteriorano la qualita' di vita delle persone. I concetti di sviluppo del settore dei trasporti e della mobilita' sono infatti stati promossi nel 7° Framework Program dell'UE, con l'obiettivo di sviluppare iniziative innovative ed efficaci, riunendo tutti gli elementi di un trasporto pulito, a basso consumo energetico, sicuro ed intelligente. Il sostegno alla mobilita' urbana di persone e merci in un territorio cosi' e' diventato una delle grandi sfide dell'ICT[10] di diverse aree di ricerca.

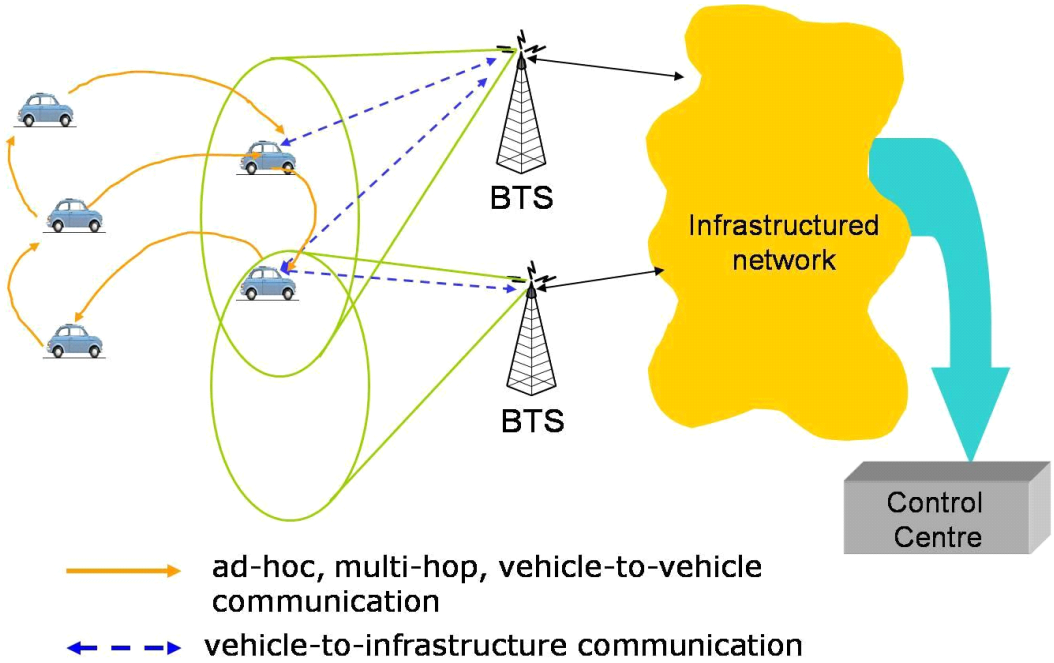


Figura 2: Scenario di riferimento del progetto PEGASUS

In questo contesto, il progetto PEGASUS si propone di impiegare sistemi per l'infomobilita' in grado di fornire soluzioni per una gestione efficiente ed efficace del traffico. Lo scenario di riferimento e' illustrato in Figura 2. I veicoli sono equipaggiati con i dispositivi basati su sensori chiamati On Board Unit (OBU) che inviano uno stream di dati ricavati da sensori (ad

esempio, velocita' media, decelerazione improvvisa, etc.) al centro di controllo. La comunicazione dei dati e' effettuata in due fasi: i veicoli si auto-organizzano in un sistema di cluster basato su comunicazione V2V, e i cluster head inviano in broadcast i dati raccolti verso le Stazioni Radio Base (BTS) che compongono una rete con infrastruttura collegata alla centrale di controllo (comunicazione V2I). La centrale di controllo raccoglie, integra e analizza la grande quantita' di dati provenienti dalle OBU, gestisce eventi di interesse (es. incidenti, ingorghi) e produce in tempo reale mappe con punti di interesse (ad esempio distributori di benzina, parcheggi, cinema, ristoranti, etc.), che vengono a loro volta re-distribuiti alle OBU a secondo delle esigenze dell’utente e della posizione.

Il sistema intelligente di navigazione collegato all'OBU sfrutta queste informazioni per fornire agli utenti finali i vari servizi per migliorare la mobilita': la prevenzione degli ingorghi e degli incidenti, i percorsi alternativi, le condizioni meteo sulla strada, la disponibilita' di parcheggio, le stazioni di servizio piu' economiche, etc. L’obiettivo principale del progetto PEGASUS e' quindi quello di fornire un sistema di trasporto intelligente (Intelligent Transportation System)[9] che fornisca informazioni attendibili e tempestive per migliorare la sicurezza e l’efficienza dei veicoli e dei flussi di merci.

Una delle grandi sfide di PEGASUS e' la gestione dell’immenso flusso di dati che proviene dai veicoli. Il centro di controllo ha l’incarico di memorizzare in tempo reale questo flusso che deve anche essere accessibile e manipolato in modo efficiente per rispondere prontamente alle richieste degli utenti. Scalabilita', modularita' e capacita' di gestione dei dati geografici, sono quindi i requisiti essenziali che caratterizzano il centro di controllo. Il lavoro affidato all’ISGroup [4] e' quindi lo sviluppo e la gestione di un Data Stream Management System (DSMS) e l'ntroduzione di tecniche communication-saving per la riduzione del flusso di comunicazione delle OBU verso la centrale.

1.1.2 Aquisizione Dati

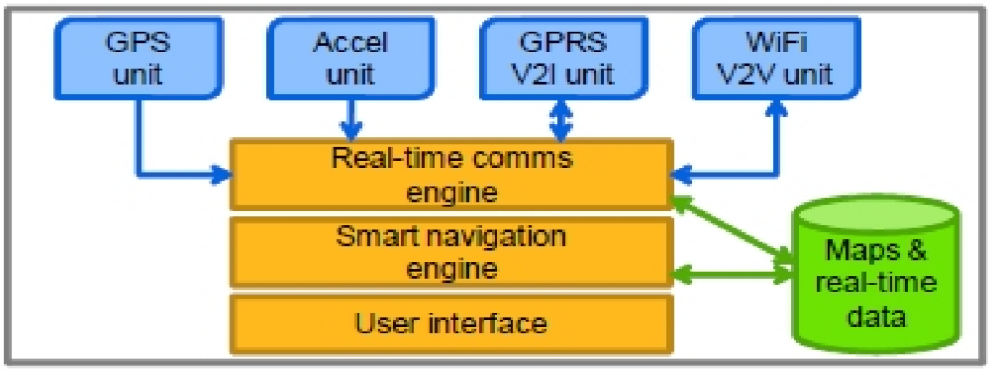


Figura 3: Architettura delle On-Board Unit (OBU)

Nell'idea del sistema, ognuno dei veicoli partecipanti e' equipaggiato con un OBU, il quale e' responsabile della raccolta dei dati che devono essere inviati al Centro di Controllo (interazione V2I). L'OBU e' un dispositivo di elaborazione mobile piccolo e intelligente (vedi Figura 3) che acquisisce i dati attraverso un unita' GPS e un accelerometro, ed effettua comunicazioni in tempo reale attraverso la tecnologia GPRS (per V2I) e WiFi (per V2V). Il real-time communication engine gestisce tutte le acquisizioni di dati e le operazioni di comunicazione . Il dispositivo dispone inoltre di una flash-memory dove sono memorizzate le mappe statiche della rete stradale, insieme alle informazioni acquisite in tempo reale dalla centrale di Controllo e/o da veicoli vicini; questa memoria e' acceduta dal motore di navigazione intelligente al fine di supportare il guidatore con i servizi richiesti.

I dati che vengono acquisiti e gestiti da un OBU sono:

- posizione, velocita', tempo di viaggio e altri dati acquisiti dal modulo GPS (utili per i servizi di traffico in tempo reale);
- accelerazioni ricavate dall'accelerometro (utilizzato per il rilevamento di assistenza di emergenza ad esempio in caso di incidente);
- Notifiche di incidenti, ingorghi stradali o altro.

Le OBU inviano alla centrale in tempo reale opportuni messaggi (es. velocita' media in un tratto stradale, incidente, etc.) e con stream continui di dati derivati dal GPS. Dal momento che i costi di comunicazione GPRS sono ancora significativamente alti, ogni OBU segue un'innovativa strategia ibrida di comunicazione basata su tecniche intra-veicolo e inter-veicolo. In particolare le comunicazioni tra veicoli (V2V) non sono fine a se stesse (come nella maggior parte della letteratura disponibile [1, 13, 3]), ma sono invece sfruttate per ridurre il carico sulle comunicazioni V2I. Le diverse tecniche di risparmio sono scelte e combinate dinamicamente dalla

OBU sulla base degli specifici requisiti e condizioni del Centro di Controllo, consentendo cosi' al sistema di sfruttarle al meglio, al fine di ridurre al minimo i costi globali e massimizzare l'utilita' e la tempestivita' dei servizi offerti.

Tecniche V2I

Diverse politiche di aggiornamento del server sono disponibili per la trasmissione dei dati derivati dal modulo GPS. Le politiche basate sul campionamento consentono al Centro di Controllo di tenere traccia della posizione di ogni veicolo nel tempo, ad esempio per i servizi assicurativi e di emergenza: oltre al simple sampling, che invia i dati a intervalli di tempo/distanza percorsa regolari (ad esempio ogni minuto o ogni 2 km), il map-based sampling permette di scegliere comunicazioni piu' intelligenti sulla base della posizione del veicolo sulla mappa (ad esempio, aggiornamenti frequenti a livello di strada in navigazione un'area urbana, tassi piu' elevati in caso di andatura regolare autostradale). Le politiche di information-need, d'altra parte, si rivelano preziose per ridurre al minimo le comunicazioni in tempo reale dei servizi di informazione sul traffico, presupponendo che uno dei principali obiettivi del Centro di Controllo e' in genere mantenere una stima sufficientemente precisa degli attuali tempi di percorrenza medi dei diversi segmenti di strada (dalle Autostrade alle strade normali). Nella politica deterministic information-need, ogni OBU riceve dinamicamente in broadcast una velocita' vb dal Centro di Controllo per ogni segmento di interesse e, per ogni segmento completato, trasmette la velocita' media misurata vm se e solo se vb − vm supera una determinata soglia T [13].
Indipendentemente da questa regola, nella politica probabilistic information-need, ogni veicolo trasmette le informazioni con una data probabilita' p, che puo' essere aggiornata dal Centro di Controllo al fine di garantire una determinata confidenza nel calcolo della velocita' media [14]. Gli autori [4, 15] prevedono che tali politiche potranno coesistere e che saranno rese disponibili attraverso una selezione dinamica.
Infine, per l'interazione V2I, si pensa di adattare alcune tecniche promettenti che sono comunemente sfruttate in reti di sensori wireless, come packet merging [16] (inviare un pacchetto grande e' meno caro che spedire piu' pacchetti piccoli) e linear regression [17] (sfruttando eventualmente le notevoli quantita' di ridondanza nelle letture da un veicolo nel tempo).

Tecniche V2V

Nella nostra visione, i veicoli sfruttano il canale di comunicazione gratuito WiFi, se disponibile, auto-organizzandosi in cluster e aggregando i propri dati, cosi' da minimizzare le comunicazioni V2I. Questa auto-

organizzazione e' un aspetto particolarmente critico in un ambiente wireless molto dinamico, mobile e ad alto tasso di errore, nel quale la perdita di dati e le collisioni sono molto comuni e il sistema di comunicazione potrebbe facilmente bloccarsi nelle cosiddette “storm broad- cast”. Similmente a [1] i vicini di viaggio di un segmento si auto-organizzano dinamicamente in un cluster, formando cosi' un sistema di comunicazione V2V multicanale clustering-based. I Cluster Member (CM) comunicano ai Cluster Head (CH) del cluster d’appartenenza, e, nel nostro caso, i CH comunicano i risultati al Centro di Controllo in modalita' V2I (opzionalmente puo' anche eseguire comunicazioni inter-cluster per ridurre al minimo ulteriori comunicazioni).

Le comunicazioni WiFi sono quasi immediate e consentono alle OBU una reazione rapida in caso di emergenza (per esempio, una notifica di incidente potrebbe essere istantaneamente trasmessa tra le OBU, consentendo ai veicoli vicini di essere informati prontamente circa la situazione di emergenza, e i CH potrebbero inviare una singola notifica di aggregati al Centro di Controllo), per questo si puo' adoperare un protocollo di comunicazione V2V cooperative collision warning [2], in modo da ottenere una diffusione rapida di uno o piu' messaggi di emergenza.

Inoltre, a fini del monitoraggio del traffico, l’esecuzione di protocolli di aggregazione distribuita dinamica consente di eseguire delle funzioni d’aggregazione per stimare misure utili all’interno di un cluster: tali protocolli, come il conteggio dinamico (ad esempio per il numero di veicoli) e la media distribuita (ad esempio per la velocita' media) [3], sono essenziali nel nostro scenario, dal momento che, a differenza della maggior parte delle soluzioni d’aggregazione. Questi protocolli non presumono una connessione stabile e quindi anche la visione persistente dei fallimenti di comunicazione.

1.2 Obiettivo della tesi

Un aspetto importante nella formazione dei cluster, consiste nella scelta di un algoritmo di elezione dei cluster head valido. Cioe' un algoritmo che riesca ad affrontare l'alta dinamicita' della rete e la ricerca di una stabilita' dei cluster eletti.

Obiettivo della presente tesi e' quello di proporre un algoritmo con tali caratteristiche, e di paragonare le sue performance con un secondo algoritmo gia' presente in letteratura [1]. L'algoritmo allo stato dell'arte [1] associa ad ogni veicolo una probabilita' casuale, per poi eleggerlo come CH nel caso in cui tale probabilita' sia la maggiore tra i veicoli visti nel suo

raggio wifi. L'algoritmo proposto nella tesi associa ad ogni veicolo anche il numero di OBU viste nel suo raggio wifi, quindi si stabilisce la seguente regola di elezione di un veicolo come CH: il veicolo deve avere il piu' alto numero di vicini visti nella copertura wifi, e in caso di parita' controlla se la sua probabilita' e' maggiore.
Il lavoro descritto in questa tesi non affronta i problemi di realizzazione fisica dei collegamenti wi-fi e i relativi protocolli di comunicazione nella rete VANET (Vehicular Ad Hoc Network), ma si occupa di confrontare la simulazione di un un algoritmo di elezione con l'algoritmo [1] nel caso di una possibile comunicazione wifi V2V.

Principalmente la performance e' stata misurata tramite il numero di comunicazioni V2I effettuate. Inoltre sono stati analizzati i tempi di vita dei CH e dei CM, e la loro stabilita' tramite vari indicatori: numero di CH eletti, cambi di dimensione del CH, numero di CH isolati, cambi di CH di un CM, etc. Sono stati usati principalmente due parametri per la sperimentazione: la frequenza di invio dati nella rete V2V, e la copertura wifi di un OBU.

Esempi di comunicazione V2V e V2I

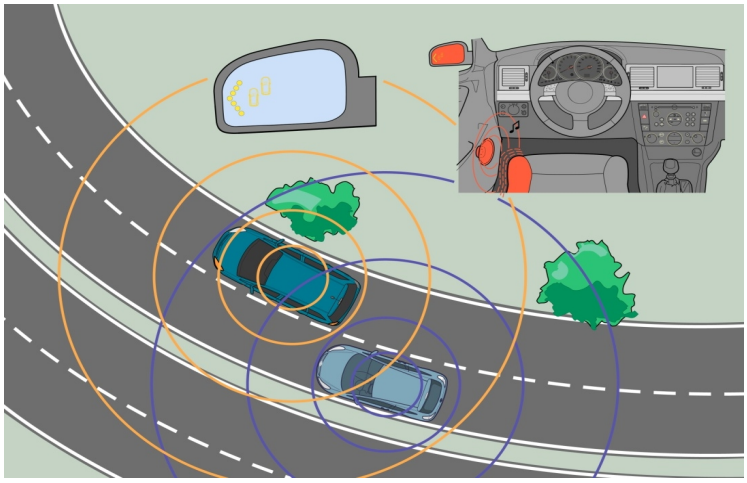


Figura 4: Collegamento Vehicle to Vehicle del progetto General Motors V2V

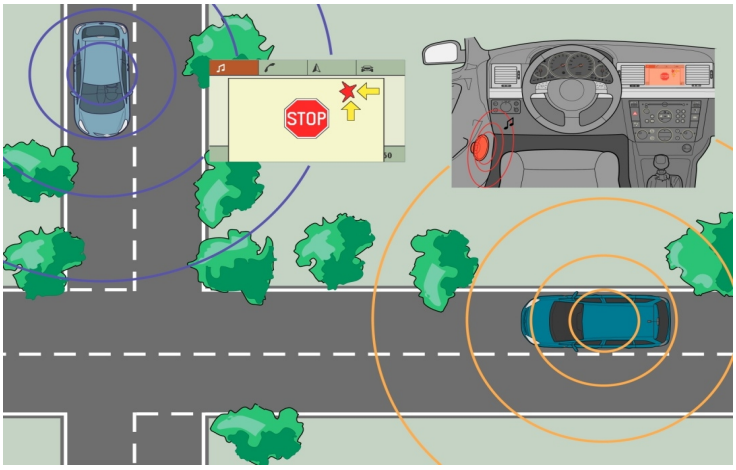


Figura 5: Collegamento Vehicle to Vehicle del progetto General Motors V2V

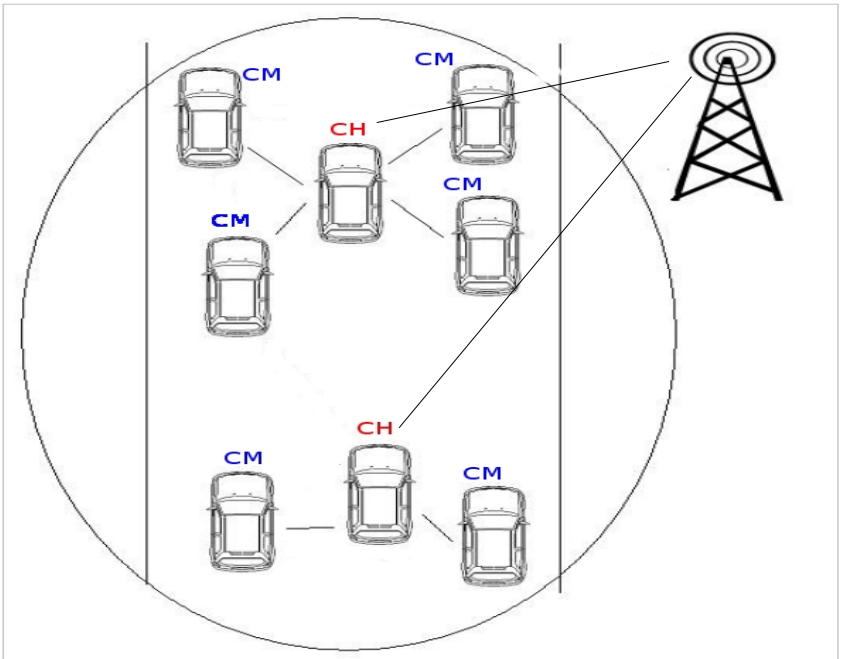


Figura 6: Schema di collegamento tra CH, CM, e la Centrale di Controllo

II Un algoritmo per l'elezione di CH e confronto con lo stato dell'arte

2.1 Descrizione dell'algoritmo

L'algoritmo proposto e' una variante dell'algoritmo presentato in [1] in cui oltre alla probabilita' viene preso in considerazione il numero di veicoli visti da ogni OBU nel suo raggio wi-fi.

Per comprendere in modo semplice l'algoritmo proposto si descrive ora l'algoritmo allo stato dell'arte [1], in modo da evidenziarne successivamente le differenze col nuovo. Per una maggiore chiarezza, dopo la spiegazione dei due algoritmi seguono alcuni esempi di applicazione degli algoritmi in diverse simulazioni di traffico veicolare.

2.1.1 Algoritmo allo stato dell'arte

L'algoritmo presentato in [1] si basa su due fasi:

- Fase 1: Ad ogni veicolo viene assegnata una probabilita' casuale di elezione come cluster head (CH).
- Fase 2: I veicoli tramite la comunicazione V2V inviano la propria probabilita' e ricevono la rispettiva degli altri veicoli che entrano nel proprio raggio wi-fi. Quindi viene eletto CH ogni veicolo con probabilita' maggiore rispetto a tutti i suoi vicini, e tutti gli altri veicoli diventano CM. Nel caso di veicoli isolati, essi diventano automaticamente CH.

Due sole fasi potrebbero non bastare per rendere ogni veicolo CH o CM, cio' porterebbe ad avere dei veicoli chiamati per convenzione FN. Per tali veicoli basta reiterare la fase 2 laddove ogni FN si confronta con altri FN, se presenti tra i suoi vicini, con lo stesso metodo descritto alla seconda fase. Il confronto puo' avvenire solo tra FN vicini e non tra FN e CM vicini, perche' un CM e' gia' in grado di inviare i suoi dati alla centrale tramite il rispettivo CH, mentre un FN non puo' inviare nessun dato alla centrale non essendo ne' capo-cluster ne' membro di un cluster.

Il procedimento di reiterazione inizia solo se sono presenti FN, per terminare quando tali FN vengono eliminati tramite l'elezione a CH o CM

2.1.2 Algoritmo proposto

L'algoritmo proposto si basa su due fasi:

- Fase 1: Ogni veicolo memorizza il numero di vicini nella portata wi-fi visti e genera una probabilita' casuale di elezione come cluster head (CH).
- Fase 2: I veicoli tramite la comunicazione V2V inviano il proprio numero di vicini visti e la propria probabilita' e ricevono il messaggio corrispondente dagli altri veicoli che entrano nel proprio raggio wi-fi. Quindi viene eletto CH ogni veicolo che vede il maggior numero di vicini tra i veicoli adiacenti al raggio wi-fi, e in caso di parita' di veicoli visti l'elezione si basa sulla probabilita' maggiore rispetto a tutti i suoi vicini, e tutti gli altri veicoli diventano CM. Nel caso di veicoli isolati, essi diventano automaticamente CH.

Due sole fasi potrebbero non bastare per rendere ogni veicolo CH o CM, cio' porterebbe ad avere dei veicoli chiamati per convenzione FN. Per tali veicoli ci si comporta come descritto sopra sull'algoritmo allo stato dell'arte.

2.1.3 Esempi di simulazione traffico veicolare

Esempio 1:

Algoritmo allo stato dell'arte

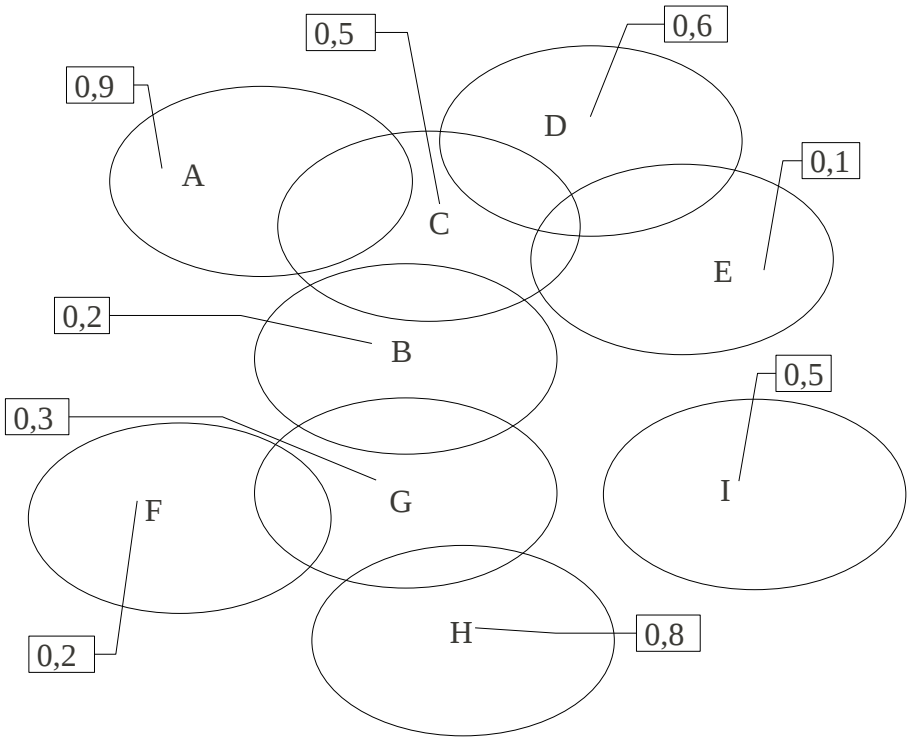


Figura 7: Algoritmo allo stato dell'arte Fase 1

Si analizza la Fase 1 mostrata in figura 7: si supponga che i veicoli identificati da A a H, siano disposti come in figura 7, con il corrispondente raggio d'azione mostrato con il cerchio attorno ad ogni veicolo, e in cui ogni etichetta identifica la probabilita' casuale generata da ogni OBU.

Si prosegue con la figura 8 che rappresenta la seconda fase dell'algoritmo:

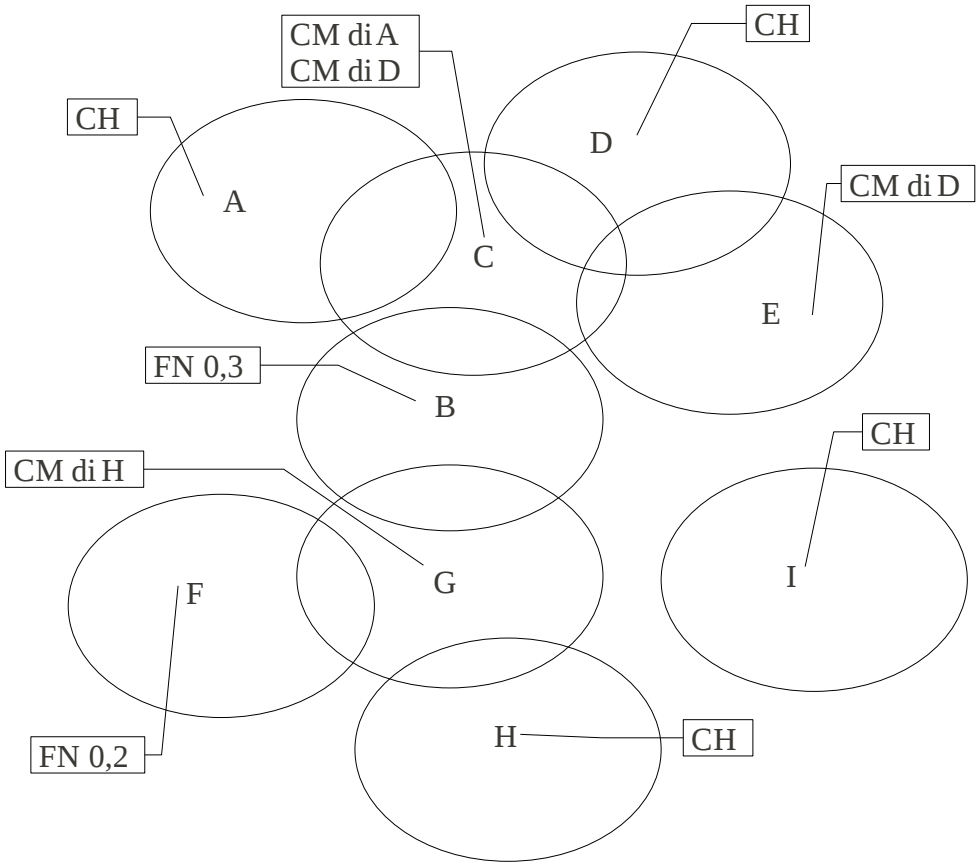


Figura 8: Algoritmo allo stato dell'arte Fase 2

Come descritto nella Fase 2 dell'algoritmo si eleggono i CH: A, D, H, I che hanno rispettivamente i seguenti CM: C; C, E; G; I e' isolato. Si nota che alcuni veicoli non diventano ne CH ne CM, e vengono identificati come FN. Tali FN, non sono raggiungibili dalla centrale essendo isolati da ogni cluster. Questo comporta un ulteriore iterazione dell'algoritmo per rendere partecipi della comunicazione tutti i veicoli. Le osservazioni fatte sono mostrate sulle etichette, differenti da figura 7. Quindi si arriva alla seguente di figura 9.

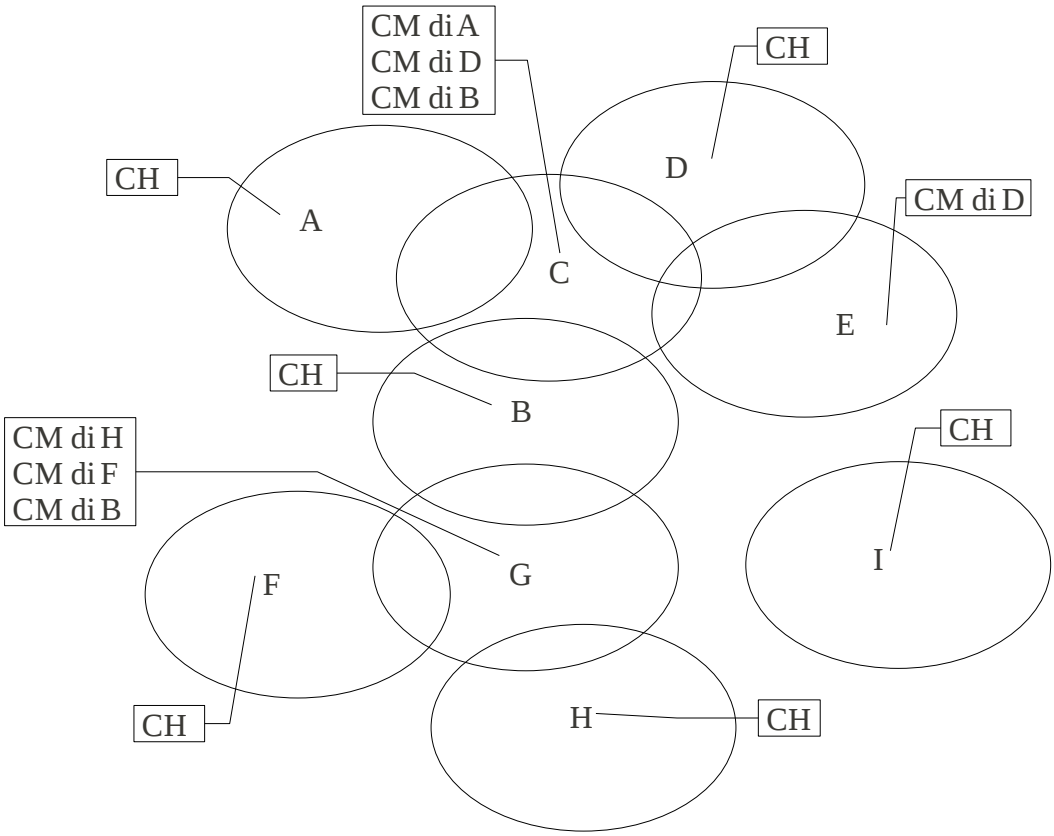


Figura 9: Algoritmo allo stato dell'arte Reiterazione 1

Come prevedibile in questa fase F e B sono stati eletti CH, e inoltre ogni veicolo e' raggiungibile dalla centrale. Sono presenti 6 CH e 3 CM, quindi si riduce il numero di comunicazioni V2I da 9 a 6.

Esempio 2:

Algoritmo proposto

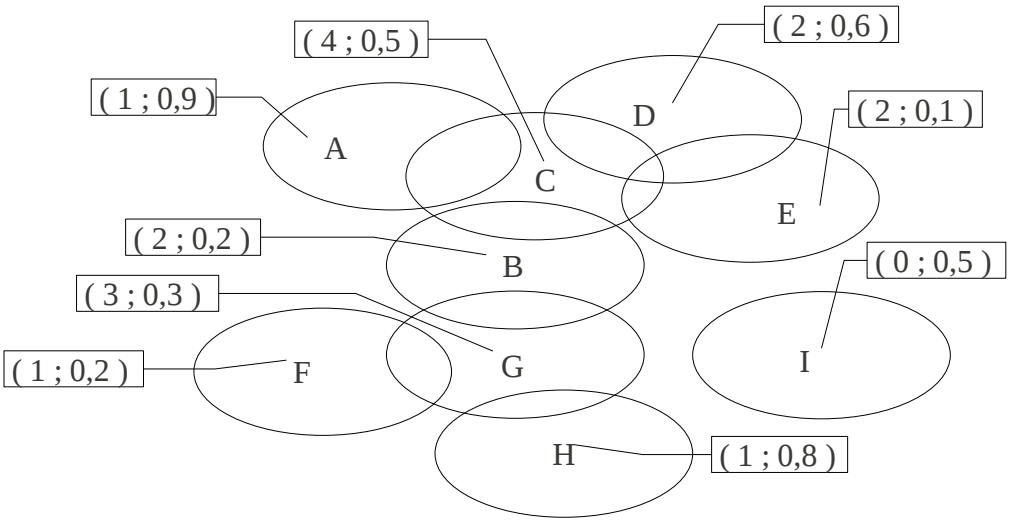


Figura 10: Algoritmo proposto Fase 1

Si analizza la Fase 1 mostrata in figura 10: si supponga che i veicoli identificati da A a H, siano disposti come in figura 10 in cui ogni etichetta identifica rispettivamente il numero di veicoli vicini visti e la probabilita' casuale generata da ogni OBU.

Si prosegue con la figura 11 che mostra la seconda fase dell'algoritmo:

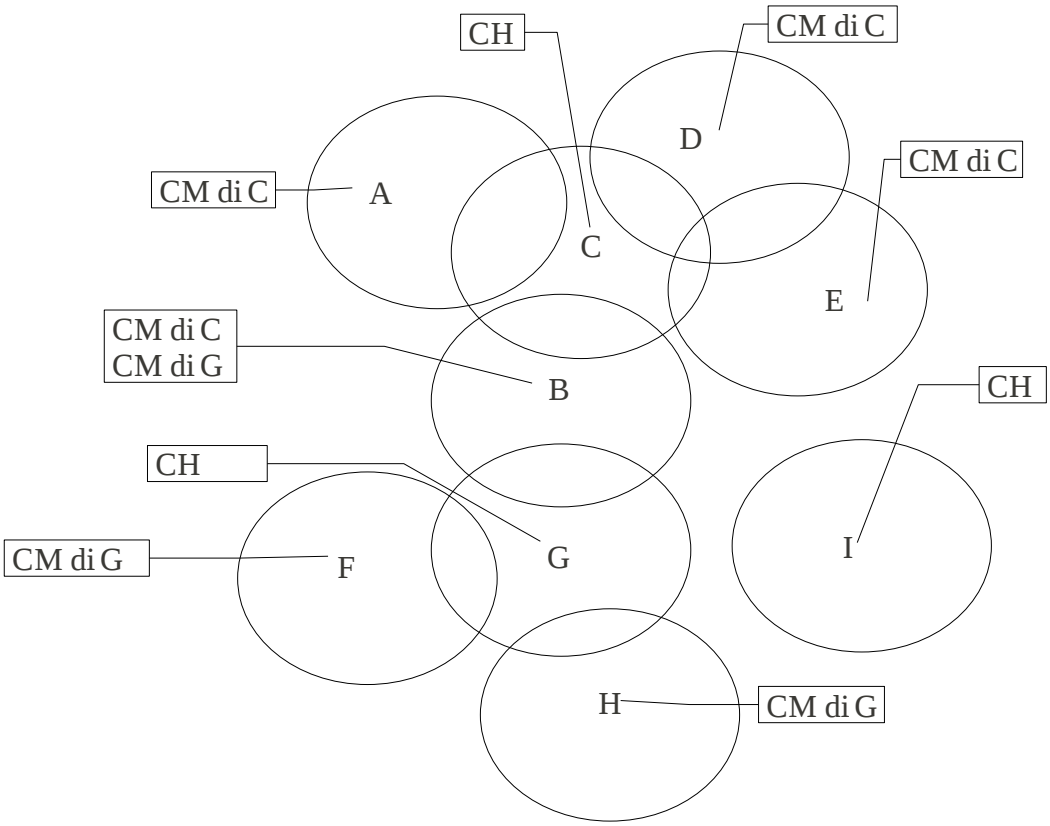


Figura 11: Algoritmo proposto Fase 2

Secondo la regola della fase 2 dell'algoritmo si eleggono i CH: C, G, I che hanno rispettivamente i seguenti CM: A, B, D, E; F, H, B; I e' isolato. In questo esempio non sono presenti FN.

Sono presenti 3 CH e 6 CM, cosa che riduce di conseguenza il numero di comunicazioni V2I da 9 a 3. Rispetto all'algoritmo gia' presente in letteratura si nota un minor numero di CH presenti, e un iterazione in meno per ottenere l'elezione a CH o CM di ogni veicolo. Questi due vantaggi sono stati il punto di partenza della tesi nella ricerca di un nuovo algoritmo.

2.2 Analisi CM appartenenti a piu' CH: CMMCH

Dagli esempi precedenti si nota subito un problema: la presenza di CM appartenenti a due o piu' CH, per convenzione chiamati CMMCH (cluster member multi cluster head). Questa situazione non puo' esserci perche' introduce ridondanze nei messaggi ricevuti in centrale dai vari CH, e porta anche un aumento del numero di messaggi inviati tramite la comunicazione V2I, cosa che si sta cercando invece di ridurre. Per risolvere il problema si sono adottate due soluzioni differenti negli algoritmi.

Nell'algoritmo allo stato dell'arte i CMMCH vengono assegnati al CH con probabilita' minore, questo in quanto tale CH dovrebbe avere il numero inferiore di membri tra tutti i CH vicini, cosi' si dovrebbe ricercare una dimensione mediamente uniforme dei CH. In realta' tenendo solo conto della probabilita' per l'assegnamento del CH a un CMMCH, si possono trovare dei CH con dimensioni sbilanciate. Per capire questo sbilanciamento, si osserva il seguente esempio: si suppone di avere 5 CMMCH che vedono 2 CH A e B con probabilita' rispettive 0,5 e 0,8 e con dimensione 11 e 7: cio' comporta che tutti e 5 i CMMCH si auto-assegnano membri del cluster head A, che porta ad avere le nuove dimensioni finali dei CH A e B pari a 11 e 2. Quindi qui non si cerca un vero equilibrio uniforme.

Nell'algoritmo proposto i CMMCH vengono assegnati al CH che vede il numero minore di veicoli, e con la probabilita' minore. Tenendo conto del numero di veicoli visti da un CH ad ogni risoluzione di un CMMCH, si riesce a cercare un equilibrio realmente uniforme tra le dimensioni dei CH.

Nel seguito, si vedono gli esempi precedenti per la risoluzione dei CMMCH.

2.2.1 Esempi di risoluzione di CMMCH

Esempio 1:

Algoritmo allo stato dell'arte

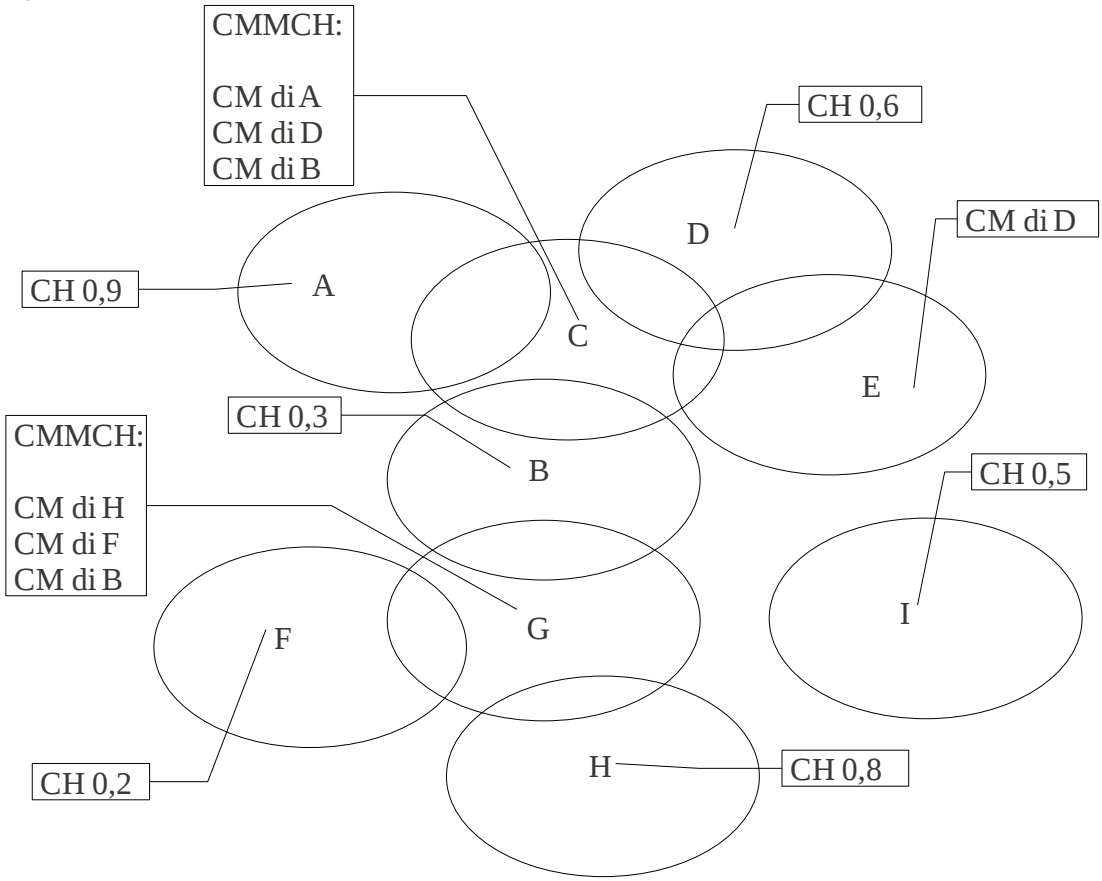


Figura 12: Presenza di CMMCH con l'algoritmo allo stato dell'arte

In figura 12 si vede la stessa situazione di figura 9, in cui inoltre si sottolinea nelle etichette quando un veicolo e' CMMCH. Segue la risoluzione di questi CMMCH.

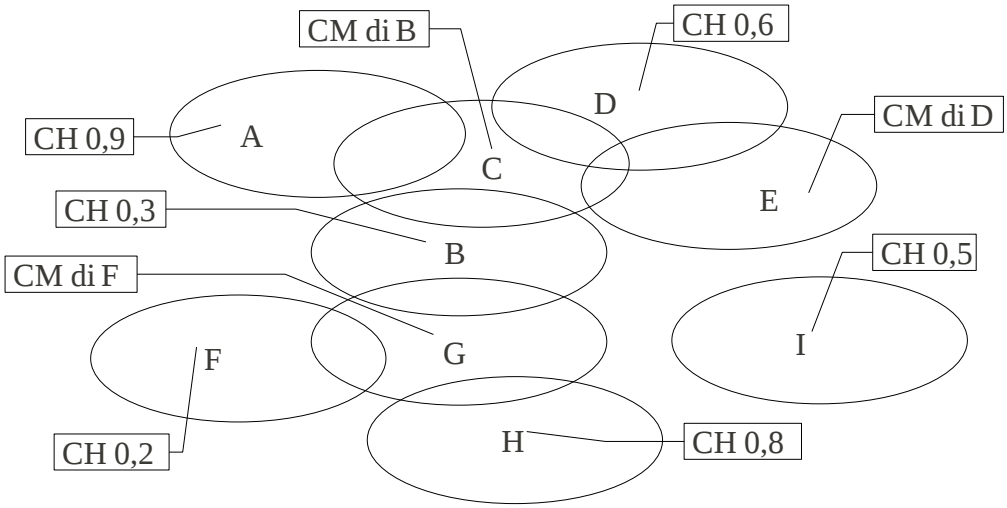


Figura 13: Risoluzione di CMMCH con l'algoritmo allo stato dell'arte

In figura 13 inizialmente i veicoli G e C vedono i CH rispettivi: H, F e B; A, D e B. In cui H, F, B, A e D hanno le probabilita': 0.8, 0.2, 0.3, 0.9 e 0.6. Quindi G si auto-assegna membro del CH F mentre C del CH B. Si arriva alla situazione finale in cui i CH H, F, B, A, D e I hanno dimensioni rispettive: 1, 2, 2, 1, 2 e 1.

Esempio 2:

Algoritmo proposto

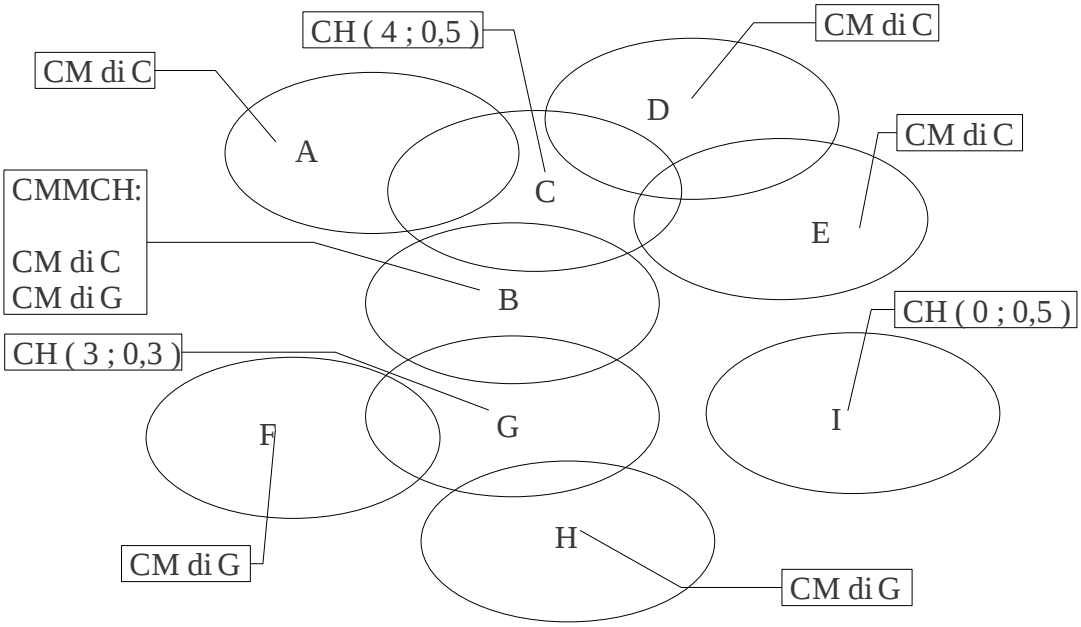


Figura 14: Presenza di CMMCH con l'algoritmo proposto

In figura 14 si mostra la stessa situazione della figura 11, in cui inoltre si mostra quando un veicolo e' CMMCH nell'opportuna etichetta. Segue la risoluzione dei CMMCH.

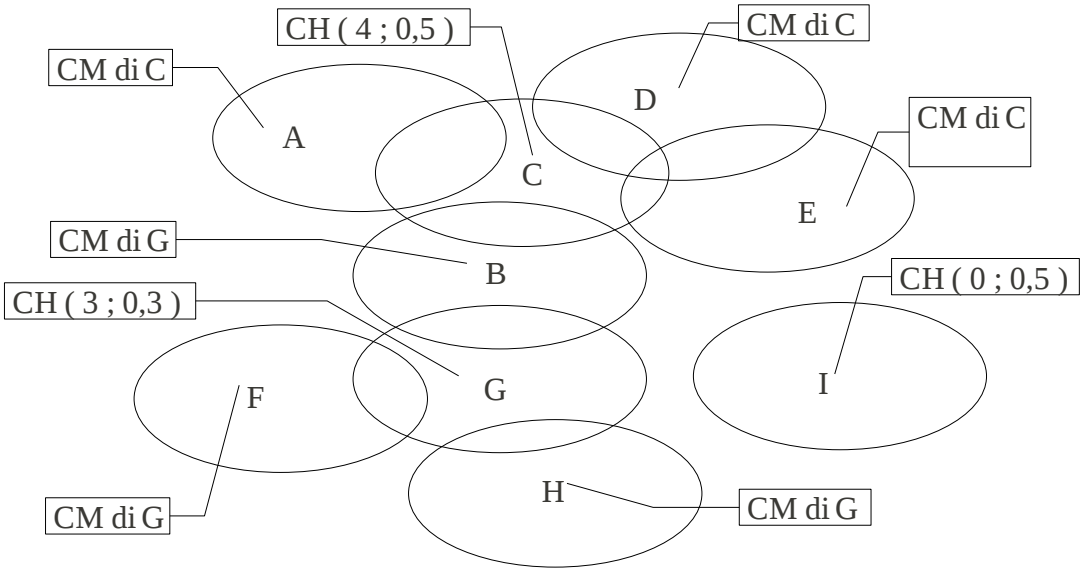


Figura 15: Risoluzione di CMMCH con l'algoritmo proposto

In figura 15 inizialmente il veicolo B vede i CH: C e G che vedono rispettivamente un numero di veicoli 4 e 3 con probabilita' associate 0,5 e 0,3. Quindi G si auto-assegna membro del CH G. Si arriva alla situazione finale in cui i CH C, G e I hanno dimensioni rispettive 4, 4 e 1.

Dagli esempi mostrati, risulta evidente che gli algoritmi tramite la propria politica di elezione avviano una prima formazione dei CH, che si completa con successive iterazioni della stessa regola. Finite le iterazioni necessarie si provvede poi ad assegnare un CM a un solo CH la dove necessario.

Questo permette ad ogni OBU di comunicare alla Centrale di Controllo, tramite una sola comunicazione V2I nel caso il veicolo sia un CH, altrimenti attraverso il suo CH se il veicolo e' un CM.

III Sperimentazione e confronto

3.1 Vissim

Per poter testare i due algoritmi prima di tutto e' stato necessario usare una simulazione di uno scenario preciso contenente le informazioni dei veicoli presenti durante il loro periodo di vita, all'interno di una mappa precisa. Per questo si e' deciso di proseguire gli studi gia' trattati in [4], lavorando sul file prodotto in uscita dal simulatore Vissim [7]. In particolare si e' studiata la mappa della variante in Via Tiburtina nel tratto Via di Casal Bruciato Ponte Mammolo a Roma redatta a Perugia nel 1999.

Vissim

Vissim e' un modello di microsimulazione dinamica della circolazione stradale che fa parte della linea di prodotti PTV Vision [18]. Si tratta del piu' potente strumento disponibile per la simulazione multimodale dei flussi di traffico e comprende varie categorie veicolari: auto, veicoli presanti, bus, tram, treni, cicli, motocicli e pedoni. La sua struttura flessibile di rete permette all'utente di modellizzare qualsiasi tipo di infrastruttura di trasporto e differenti comportamenti di guida dei conducenti. Vissim puo' essere utilizzato come supporto allo studio di molteplici problemi del traffico pubblico e privato quali per esempio, studi di pianificazione, analisi e confronto di diversi scenari progettuali, analisi degli interventi in corrispondenza di nodi, come incroci a raso regolati da segnaletica o semaforizzati, rotatorie, incroci a livelli sfalsati; valutazione ed ottimizzazione del traffico in reti con impianti semaforici attuati e coordinati; valutazione dell'impianto di nuovi sistemi di trasporto in reti stradali urbane; interventi di traffic calming; analisi degli attraversamenti ferroviari; etc etc.

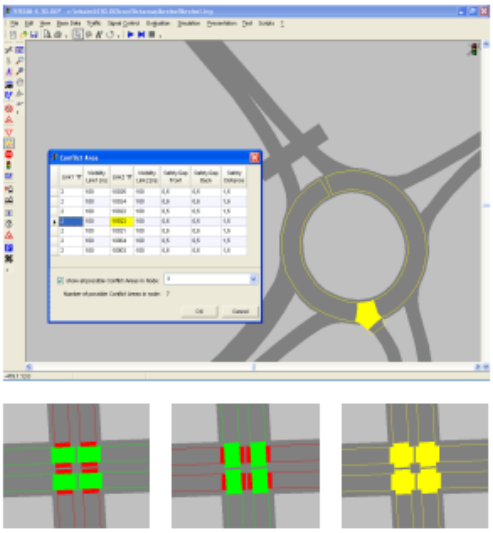
Oltre a questo il sistema ha un interfaccia aperta garantendo cosi' piena compatibilita' con software esterni. La possibilita' di definire geometricamente archi e connessioni in modo dettagliato e l'elevata risoluzione dei movimenti veicolari consentono una rappresentazione realistica del comportamento di veicoli sulla rete.

Vissim viene utilizzato per lo studio di reti di trasporto di qualsiasi dimensione, dalle singole intersezioni ad intere aree metropolitane. Consente la modellizzazione delle diverse tipologie di strada, dalle autostrade alle strade pedonali e piste ciclabili. Permette inoltre di modellizzare reti per semplici sistemi di trasporto definendo liberamente ulteriori caratteristiche geometriche e funzionali.

Vissim permette la modellizzazione di intersezioni regolate da segnali di precedenza, segnali di stop o da impianti semaforici. A differenza di altri software permette inoltre la modellizzazione di qualsiasi altro tipo di dispositivo di controllo. La regolazione semaforica del traffico puo' avvenire seguendo modalita' diverse. In particolare possono essere definiti impianti semaforici a ciclo fisso e impianti semaforici attuati dal traffico.

Infine in Vissim sono anche presenti i seguenti moduli addizionali: Assegnazione dinamica, VAP (Vehicle Actuated Programming) e VisVAP (Visual VAP), Modellazione 3D, Emissioni, e API.

Alcune immagini del simulatore sono mostrate in figura:



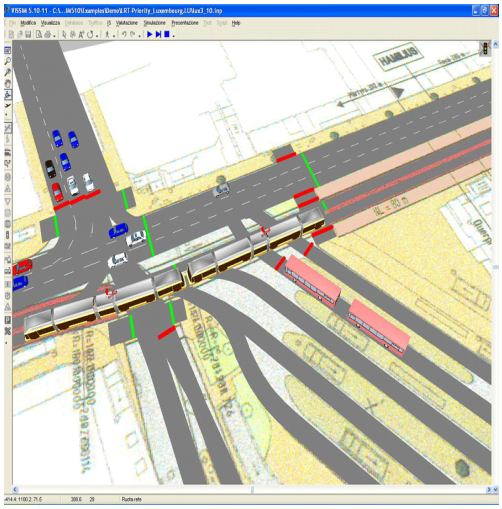


Figura 17:
Immagine del simulatore Vissim

Figura 16: Immagine del simulatore Vissim

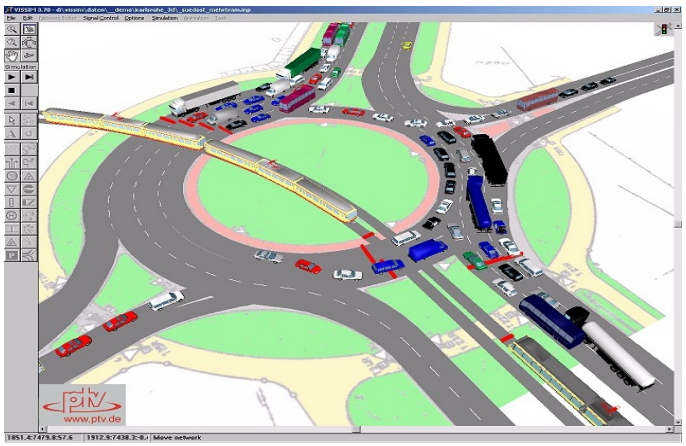


Figura 18: Immagine del simulatore Vissim

Interfaccia di Vissim

Per poter implementare gli algoritmi usa un file prodotto da Vissim per interfacciarsi col simulatore. Questo file ha estensione .fzp e consiste in una tabella strutturata nel seguente modo:

Riga n-esima: OBU i-esima a un dato istante se presente nella mappa analizzata

Colonna n-esima: Informazione precisa di un OBU tra le seguenti:

Legenda colonne:

VehNr	: Number of the Vehicle
t	: Simulation Time [s]
WorldX	: World coordinate x (vehicle front end at the end of the simulation step)
WorldY	: World coordinate y (vehicle front end at the end of the simulation step)
v	: Speed [km/h] at the end of the simulation step
vTheo	: Theoretical Speed [km/h] Without Obstructions
DistX	: Total Distance Traveled in the Network [m]
Route	: Route number
Link	: Number of the Active Link

Prime righe del file studiato:

```
Vehicle Record

File:     C:\Programmi\PTV_Vision\VISSIM520\Examples\Demo\UrbanExpressway_Rome.IT\Rome_A_2D.inp
Comment:
Date:     venerdì 30 luglio 2010 18.07.58
VISSIM:   5.20-06 [22271]

VehNr  : Number of the Vehicle
t      : Simulation Time [s]
WorldX : World coordinate x (vehicle front end at the end of the simulation step)
WorldY : World coordinate y (vehicle front end at the end of the simulation step)
v      : Speed [km/h] at the end of the simulation step
vTheo  : Theoretical Speed [km/h] Without Obstructions
DistX  : Total Distance Traveled in the Network [m]
Route  : Route number
Link   : Number of the Active Link

    VehNr;       t;    WorldX;    WorldY;      v;  vTheo; DistX; Route;  Link;
        1;     0.5; -643.8974; -947.5824;  60.52;   60.2;     8;     0;    73;
        1;     1.0; -647.6952; -940.0621;  60.80;   60.2;    17;    25;    73;
        2;     1.0;   24.1479;  496.3712;  76.61;   76.3;    11;     0;   101;
        1;     1.5; -651.5108; -932.5062;  61.09;   60.2;    25;    25;    73;
        2;     1.5;   17.4813;  487.9695;  76.91;   76.3;    21;     1;   101;
        4;     2.0; -714.2648; -255.8661;  31.21;   30.9;     4;     0;    50;
        1;     2.0; -655.3444; -924.9150;  61.37;   60.2;    34;    25;    73;
        3;     2.0;   28.4610;  495.6526;  68.30;   67.9;     9;     0;   101;
        2;     2.0;   11.3481;  479.0790;  77.21;   76.3;    32;     1;   101;
        4;     2.5; -714.1523; -260.2190;  31.49;   30.9;     9;    11;    50;
        5;     2.5; -644.6811; -954.4604;  77.39;   76.9;    11;     0;    73;
        1;     2.5; -659.1959; -917.2882;  61.66;   60.2;    42;    25;    73;
        6;     2.5; -1033.1132; -277.8848;  72.78;   72.3;    10;     0;    74;
        3;     2.5;   22.4963;  488.3157;  68.66;   67.9;    19;     0;   101;
        2;     2.5;    5.6585;  469.8788;  77.50;   76.3;    43;     1;   101;
        2;     3.0;    0.2752;  460.2819;  77.80;   76.3;    54;     1; 10111;
        4;     3.0; -714.0389; -264.6100;  31.76;   30.9;    13;    11;    50;
        5;     3.0; -649.5423; -944.8343;  77.89;   76.9;    21;     0;    73;
        7;     3.0; -642.7609; -949.8330;  62.71;   68.2;     9;     0;    73;
        1;     3.0; -663.0653; -909.6260;  61.95;   60.2;    51;    25;    73;
        8;     3.0; -1025.4948; -278.6823;  74.52;   74.0;    10;     0;    74;
        6;     3.0; -1025.1951; -284.0259;  73.26;   72.3;    20;    11;    74;
        3;     3.0;   17.0124;  480.5855;  69.02;   67.9;    29;     1;   101;
        4;     3.5; -713.9245; -269.0392;  32.04;   30.9;    17;    11;    50;
        5;     3.5; -654.4347; -935.1461;  78.39;   76.9;    32;    31;    73;
        7;     3.5; -646.7010; -942.0308;  63.16;   68.2;    17;    31;    73;
        1;     3.5; -666.9526; -901.9283;  62.23;   60.2;    60;    25;    73;
        8;     3.5; -1017.6451; -285.6404;  75.04;   74.0;    21;    11;    74;
```

Figura 19: Immagine del file prodotto da Vissim usato

3.2 Scenario utilizzato

Date le premesse su Vissim, la sperimentazione e' stata effettuata su un singolo scenario preso di riferimento, sul quale si sono implementati e testati gli algoritmi, andando a variare il campionamento, cioe' la lettura dei dati, nella tabella .fzp descritta.

Lo scenario consiste nella mappa di Roma nella variante in Via Tiburtina nel tratto Via di Casal Bruciato Ponte Mammolo redatta a Perugia nel 1999, analizzata tramite Vissim per una durata di 600 secondi, con un campionamento di 0.5 secondi. Segue la descrizione dettagliata dello scenario.

Per questo scenario si riportano parte delle informazioni del documento allegato, intitolato “variante via tiburtina, tratto Via di Casal Bruciato Ponte Mammolo, verifica mediante modello di simulazione, Relazione generale” redatto a Perugia nell’aprile del 1999. In particolare, la descrizione dell’offerta di trasporto, gli impianti semaforici nella 1° soluzione progettuale, gli impianti semaforici nella 2° soluzione progettuale.

Il programma VISSIM consente la ricostruzione della rete stradale e della disciplina di circolazione. Con un modello simile si puo' tener conto dell’effettiva lunghezza dei tronchi di scambio, delle corsie d’immissione, d’uscita e di preselezione alle intersezioni, cosi' come dei triangoli di visibilita', degli angoli fra le traiettorie conflittuali fra i veicoli e dell’ampiezza delle aree di intersezione. Nella definizione delle caratteristiche delle strade e' necessario implementare: gli archi, caratterizzati da numero e modulo delle corsie, e definiti dal loro punto di inizio e di fine oltre che eventualmente da punti intermedi che ne definiscono la geometria; le connessioni fra archi per la modellizzazione dei cambi di direzione (movimenti di svolta alle intersezioni) e per la riduzione o l’aumento del numero di corsie. Sia per gli archi sia per le connessioni bisogna specificare la velocita' di percorrenza desiderata e le zone di rallentamento in prossimita' di curve e restringimenti di carreggiata. In entrambi i casi va indicata non una velocita' massima di progetto ma va descritta la legge di distribuzione delle velocita' desiderate, distinta per le autovetture e per i veicoli pesanti. Per le intersezioni sono stati inseriti i dati relativi al modo di risoluzione dei punti di conflitto: a livelli sfalsati (nelle rappresentazioni grafiche del modello allegate alla presente relazione, le sottovie sono rappresentate in grigio scuro); a precedenza, con l’indicazione della posizione e dei valori relativi al distanziamento spaziale e temporale minimo tra i veicoli, e con limitazione sulle velocita'; mediante semafori, con l’indicazione della posizione della linea d’arresto e dei riferimenti relativi all’impianto e ai gruppi semaforici (insieme delle lanterne che cambiano colore nello stesso istante).

L’elevato livello di definizione nella geometria delle strade e il rispetto delle caratteristiche dimensionali e' semplificato dalla possibilita' di implementare la planimetria numerica di progetto. Tale possibilita' e' stata inoltre sfruttata per il caricamento della planimetria generale che agevola la lettura dei luoghi nella rappresentazione a video e nelle immagini allegate. Per la seconda soluzione progettuale nelle simulazioni effettuate per Via dei Monti Tiburtini sono state assunte carreggiate a tre corsie per senso di marcia.

- Gli impianti semaforici nella 1° soluzione progettuale:

Per gli impianti semaforici in corrispondenza dell’intersezione di Via Tiburtina con Via dei Monti Tiburtini e Via F.Fiorentini cosi' come della rotatoria sulle complanari di Via Tiburtina vicino a P.za S.Maria del Soccorso sono stati definiti i gruppi semaforici, la durata del ciclo, delle fasi e delle interfasi, cioe' i tempi di giallo e di tutto rosso.

Nella figura 20 viene rappresentato graficamente il ciclo semaforico (durata 50s) a quattro gruppi semaforici e 3 fasi dell’intersezione di Via Tiburtina con Via dei Monti Tiburtini e Via F.Fiorentini:

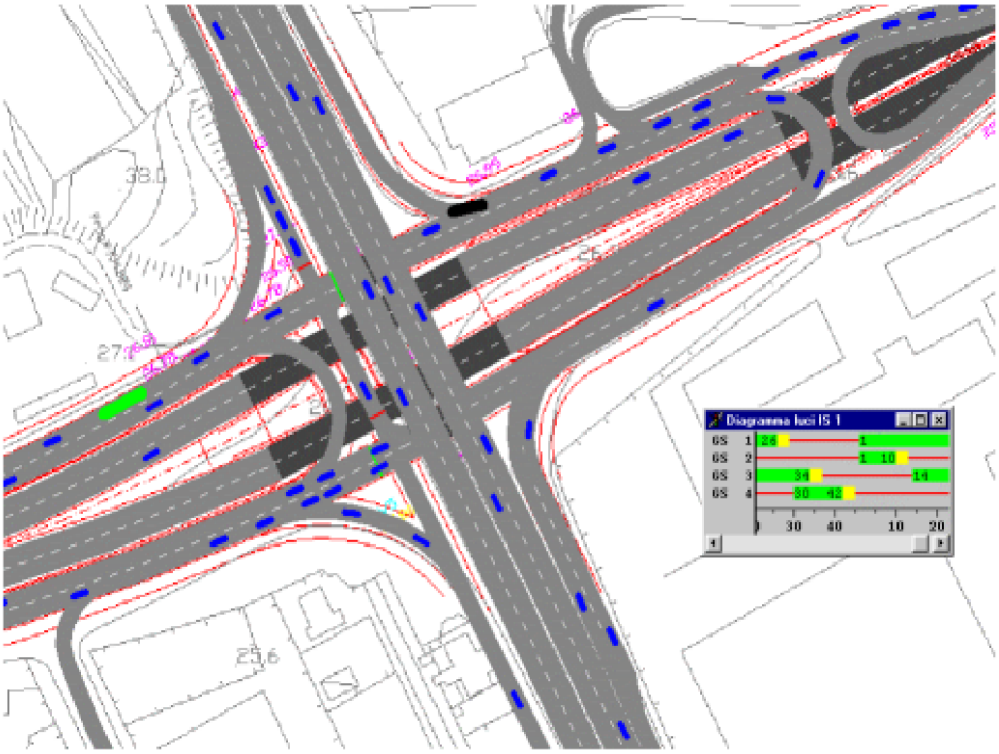


Figura 20: Roma planimetria 1

Nella figura 21 sotto viene rappresentato graficamente il ciclo semaforico (durata 60s) a nove gruppi semaforici, comprensivi dei due relativi agli attraversamenti pedonali, e 3 fasi della rotatoria sulle complanari di Via Tiburtina vicino a P.za S.Maria del Soccorso:

- Gli impianti semaforici nella 2° soluzione progettuale

Per semplicita' di immissione dati, gli impianti semaforici attuati dal traffico a priorita' del trasporto pubblico, per l'inversione di marcia in Via Tiburtina

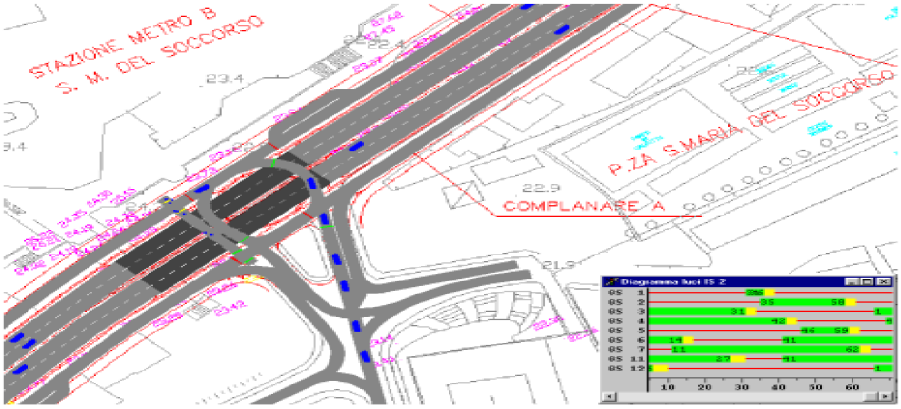


Figura 21: Roma planimetria 2

in corrispondenza delle fermate autobus, sono stati sostituiti dall'obbligo del rispetto di precedenze i cui parametri definiti sono tali da rendere del tutto equivalenti i risultati ottenuti.

Il solo impianto definito nel secondo scenario simulato e' quindi quello che risolve il conflitto tra le manovre Via Tiburtina centro e Via Tiburtina GRA e tra Via Tiburtina GRA e Via Fiorentini. Nella figura 22 viene rappresentato graficamente il ciclo semaforico (durata 50s) a due gruppi semaforici e due fasi.

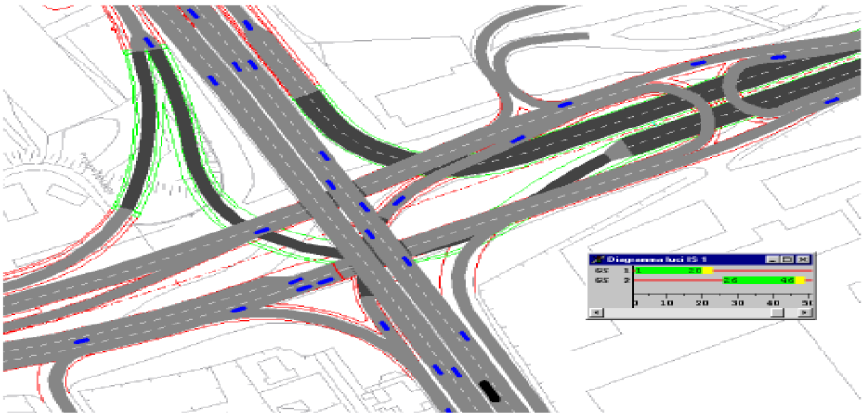


Figura 22: Roma planimetria 3

Nella figura 23 e' possibile vedere il quadro generale, mentre nella figura 24 si mostra lo scenario riportato in Vissim senza veicoli.

Figura 23: Roma quadro definitivo

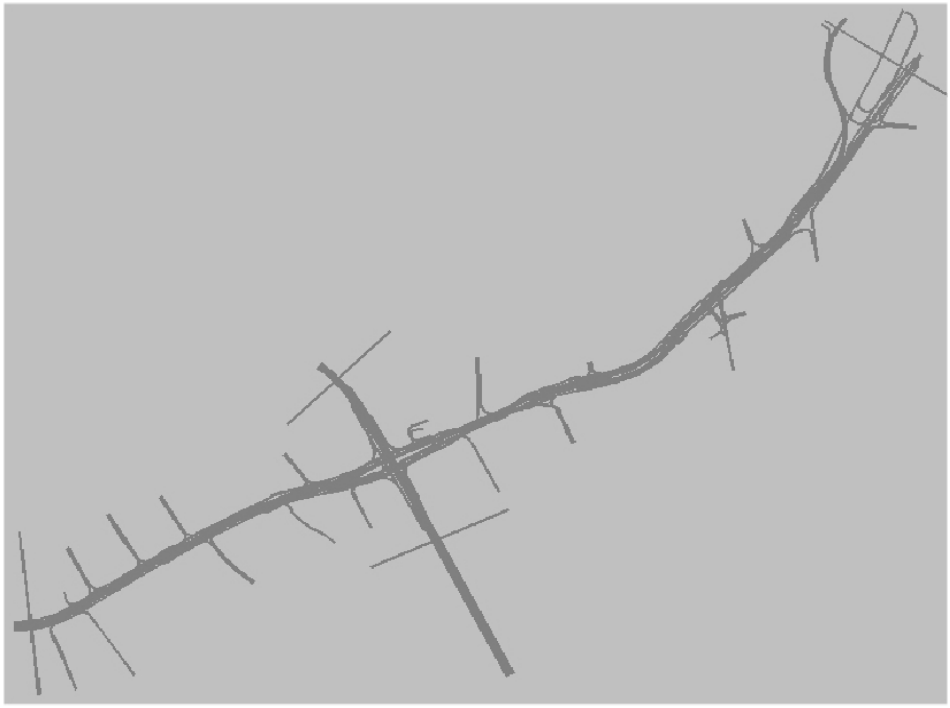


Figura 24: Roma da Vissim senza veicoli

Nelle figure 27 e 25 si mostrano rispettivamente lo scenario riportato in Vissim con i veicoli in moto, e uno scenario simile ingrandito.

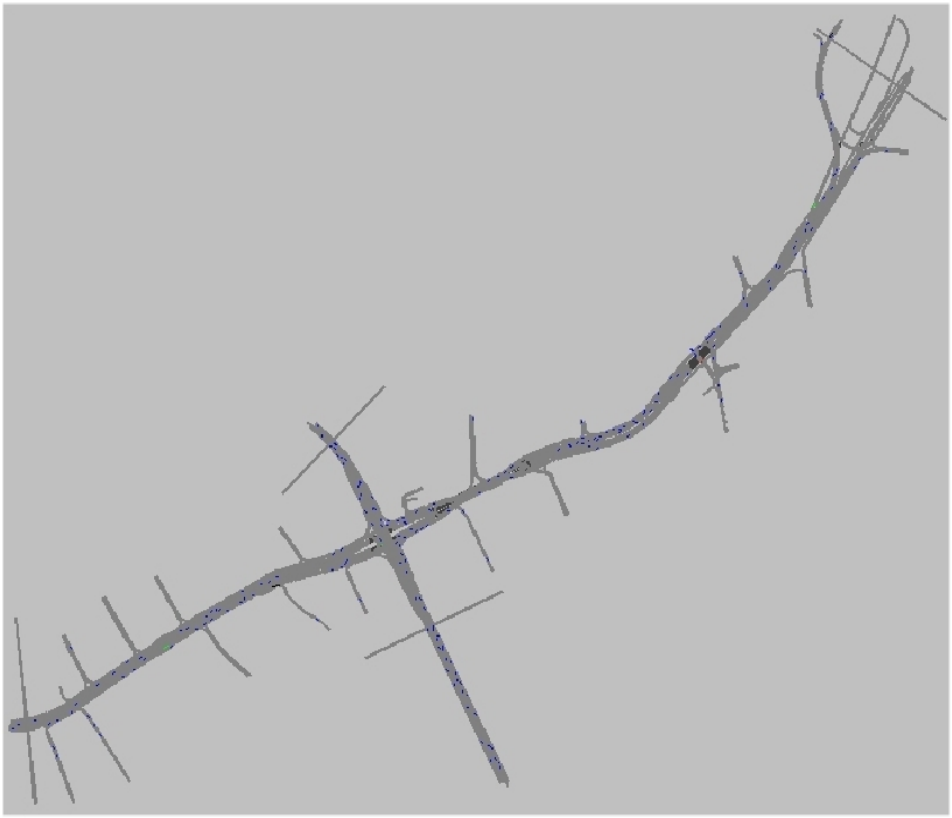


Figura 27: Roma da Vissim con veicoli

Le dimensioni di questo scenario risultano di circa 700m per il tratto breve (verticale) e 2200m per quello lungo (orizzontale).

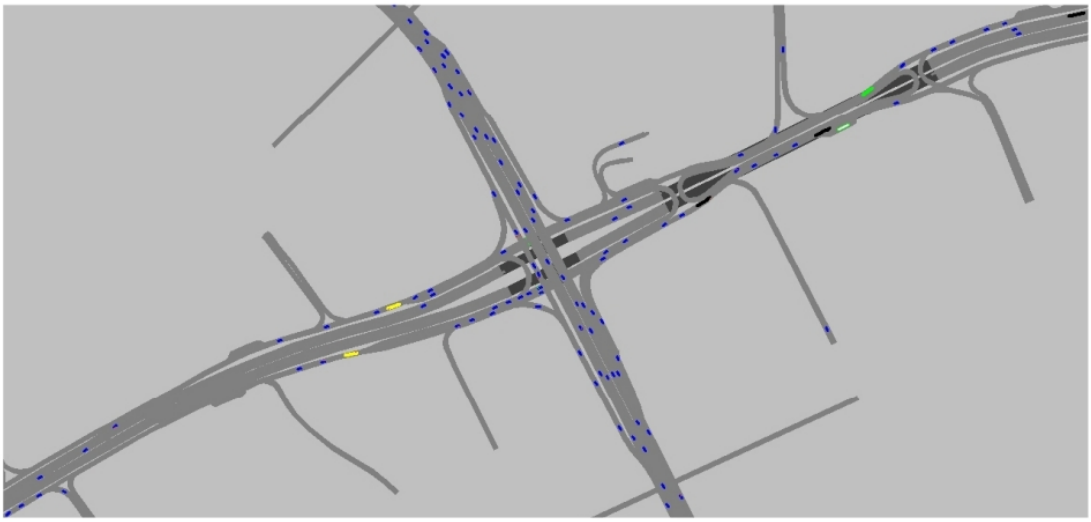


Figura 25: Roma da Vissim con veicoli - zoom

3.3 Implementazione in java

Ora che e' stato definito il punto di partenza sul quale sperimentare gli algoritmi, e' stato scelto di continuare lo sviluppo di un simulatore gia' impegato nel [4], che era focalizzato principalmente sulla comunicazione V2I. Tale simulatore e' scritto in java sotto l'ambiente di sviluppo Eclipse, quindi per compatibilita' si e' deciso di continuare a scrivere il codice in java tramite Eclipse.

Data la scelta, e' stato necessario esaminare la struttura del codice gia' scritto per andare a definirne le nuove integrazioni. In questo sono state utili le [5, 11, 12, 19].

Dato che il codice per l'implementazione degli algoritmi, e' stato inserito in un programma gia' sviluppato, e' stato creato un nuovo package: clusterMode. Quindi tutte le classi nuove sono state scritte in tale package. Le altre modifiche necessarie sono state poste nelle classi e nei packages gia' presenti.

Per poter simulare gli algoritmi via software si e' suddivisa l'elezione in piu' fasi.

Fase 1: Creazione tabella virtuale

- Ogni OBU genera una propria probabilita' casuale
- Si crea una tabella virtuale in ogni istante temporale analizzato in cui: ogni riga contiene l'ID dell'OBU e un insieme di terne di dati pari al il numero di veicoli visti. Questa terna di dati corrisponde all'ID di un OBU vista nella portata wi-fi, seguita dal rispettivo numero di veicoli visti, e infine dalla probabilita' di elezione rispettiva generata casualmente

Fase 2: Ordinamento della tabella per l'algoritmo allo stato dell'arte

- Si riprende la tabella virtuale creata in fase 1, ordinandone le terne secondo la probabilita' decrescente

Fase 2: Ordinamento della tabella per l'algoritmo proposto

- Si ordinano le terne di ogni riga della tabella creata in fase 1 secondo il numero di veicoli visti da ogni terna (ogni OBU) decrescente, e contemporaneamente, in caso di parita' di vicini visti, si ordina la tabella anche secondo la probabilita' decrescente

Fase 3: Iterazioni di elezione CH degli algoritmi

- Tramite la tabella ordinata nel modo opportuno risulta diretta l'elezione dei vari CH e CM per la prima iterazione descritta nel capitolo precedente
- Bisogna gestire opportunamente la presenza eventuale di FN per iterare nuovamente il processo di elezione dei CH
- Si risolvono gli eventuali CMMCH presenti

Fase 4: Creazione tabelle delle velocita' medie presenti nei settori e stampa risultati

- Si crea una prima tabella in ogni istante temporale analizzato in cui: ogni riga contiene l'istante di simulazione, il numero di veicoli presenti nel dato istante, e l'insieme dei settori presenti rilevati da tutti i veicoli nella mappa nel medesimo istante. In particolare per l'insieme dei settori, si specifica il numero di veicoli presenti nel settore e la rispettiva velocita' media aritmetica. Per creare questa prima tabella si leggono i dati direttamente da ogni OBU, cio' simula una comunicazione V2I tra la centrale e ogni singolo veicolo
- Si crea una seconda tabella identica alla prima, con due differenze fondamentali: solo i CH eletti secondo l'algoritmo 1 possono comunicare con la centrale componendo un dato aggregato dei rispettivi CM, e quindi questo porta a cambiare il contatore dei messaggi tra le OBU e la centrale
- Si crea una terza tabella identica alla prima, con due differenze fondamentali: solo i CH eletti secondo l'algoritmo 2 possono comunicare con la centrale componendo un dato aggregato dei rispettivi CM, e quindi questo porta a cambiare il contatore dei messaggi tra le OBU e la centrale
- Stampa delle tabelle riassuntive la storia di ogni OBU come CH o CM nel suo periodo di vita
- Stampa delle tabelle riassuntive la storia per ogni step dei CH e CM presenti
- Stampa delle tabelle per confrontare l'efficacia degli algoritmi simulati, tramite il minor numero di comunicazioni V2I ricercate

Si mostra ora una panoramica piu' dettagliata sulle classi software create per l'effettiva realizzazione della simulazione

3.3.1 Tabelle virtuali impiegate

Le tabelle necessarie esattamente sono di due tipi:

1) tabelle virtuali necessarie a implementare gli algoritmi di elezione
2) tabelle riassuntive la storia di ogni OBU e di ogni step
3) tabelle di dati delle velocita' medie nei settori ad ogni istante di simulazione

Si noti che la prima tipologia di tabelle e' di natura virtuale, cioe' utile principalmente come componente software. La seconda e la terza tipologia di tabelle invece, sono fondamentali per misurare dei due algoritmi.

Tabelle tipo 1:

La forma della tabella che si vuole creare e' la seguente:

Algoritmo allo state dell'arte

STEP CORRENTE

ID	VEICOLI VISTI	PROBABILITA'	TERNA 1	TERNA 2	….	TERNA N
1	1	0,9	(3 ; 4 ; 0,5)			
2	2	0,2	(3 ; 4 ; 0,5)	(7 ; 3 ; 0,3)		
3	4	0,5	(1 ; 1 ; 0,9)	(4 ; 2 ; 0,6)	(2 ; 2 ; 0,2)	(5 ; 2 ; 0,1)
4	2	0,6	(3 ; 4 ; 0,5)	(5 ; 2 ; 0,1)		
5	2	0,1	(4; 2 ; 0,6)	(3 ; 4 ; 0,5)		
6	1	0,2	(7 ; 3 ; 0,3)			
7	3	0,3	(8 ; 1 ; 0,8)	(6 ; 1 ; 0,2)	(2 ; 2 ; 0,2)	
8	1	0,8	(7 ; 3 ; 0,3)			
9	0	0,5				

TABELLA 21: TABELLA VIRTUALE DI DETERMINAZIONE DELL'INIZIO DELLA SIMULAZIONE DELL'ALGORITMO PRESENTE IN LETTERATURA

Algoritmo proposto

STEP CORRENTE

ID	VEICOLI VISTI	PROBABILITA'	TERNA 1	TERNA 2	….	TERNA N
1	1	0,9	(3 ; 4 ; 0,5)			
2	2	0,2	(3 ; 4 ; 0,5)	(7 ; 3 ; 0,3)		
3	4	0,5	(4 ; 2 ; 0,6)	(2 ; 2 ; 0,2)	(5 ; 2 ; 0,1)	(1 ; 1 ; 0,9)
4	2	0,6	(3 ; 4 ; 0,5)	(5 ; 2 ; 0,1)		
5	2	0,1	(3 ; 4 ; 0,5)	(4 ; 2 ; 0,6)		
6	1	0,2	(7 ; 3 ; 0,3)			
7	3	0,3	(2 ; 2 ; 0,2)	(8 ; 1 ; 0,8)	(6 ; 1 ; 0,2)	
8	1	0,8	(7 ; 3 ; 0,3)			
9	0	0,5				

TABELLA 22: TABELLA VIRTUALE DI DETERMINAZIONE DELL'INIZIO DELLA SIMULAZIONE DELL'ALGORITMO PROPOSTO

Legenda tabelle:

STEP CORRENTE: istante di simulazione
ID: identificatore del veicolo
VEICOLI VISTI: numero di veicolo visti dall'OBU
PROBABILITA': probabilita' generata casualmente dall'OBU

TERNE: il numero di terne e' pari al valore di VEICOLI VISTI e contiene ordinatamente i seguenti valori dell'OBU vista:

- ID
- numero di veicoli visti
- probabilita' di elezione

Per la realizzazione di queste due tabelle sono state create le seguenti classi:

- Functions
- CarsInMyRange
- LineCluster
- ClusterTable

Functions

Classe statica usata per determinare il numero di veicoli visti da ogni OBU

CarsInMyRange

Classe rappresentante una generica terna tra quelle mostrate in tabella

LineCluster

Classe rappresentante una riga della tabella mostrata, contenente quindi un opportuno insieme (vettori) della classe CarsInMyRange

ClusterTable

Cuore della tabella che dispone di una tabella virtuale a un dato istante di simulazione, contenente quindi un oppurtuno insieme (vettori) della classe LineCluster. In particolare la classe si occupa di delimitare inizialmente la dimensione della tabella, per poi riempirla coi dati del caso e procedere poi all'ordinamento di ogni riga

Si puo' notare l'ordinamento differente delle tabelle, in quanto riferite agli esempi mostrati nel capitolo 2

Tabelle tipo 2:

Come gia' detto, le prestazioni si possono studiare anche in merito alla stabilita' dei clusters creati. Per questo sono utili le classi seguenti, spiegate nel paragrafo successivo:

- ClusterHead
- GeneralCM
- ClusterTable

Cioe', da qui si vanno a creare altre due tabelle, riassuntive la storia di un cluster di ogni OBU, e riassuntive della storia dei cluster per ogni step. Esattamente queste tabelle saranno quattro, cioe' due per algoritmo con estensione .csv.

Per semplicita' si suppone di lavorare momentaneamente con l'algoritmo proposto, le tabelle riassuntive sono strutturate nel seguente modo

Tabella riassuntiva la storia di un cluster di ogni OBU:

Ogni riga della tabella identifica l'ID di un veicolo preciso con tutti i suoi dati storici di simulazione

Ogni colonna della tabella rappresenta un dato storico di un veicolo, ed esattamente si definiscono le seguenti colonne:

- ID: Identificatore del veicolo
- AVG LIFE CM: Tempo medio percentuale di esistenza del veicolo come CM, calcolato come rapporto tra il suo tempo totale di esistenza come CM e il tempo totale di esistenza
- CHs CHANGED: CH cambiati durante l'esistenza da CM
- AVG LIFE IN ONE CH: Tempo medio percentuale di esistenza del veicolo in un CH, calcolato come [(Tempo Step x (n Elezioni da CM - n Cambi nei CH)) / Tempo totale da CM]
- n ELECTIONS CM: Numero di elezioni da CM
- LIFE CM: Durata totale del veicolo nello stato CM
- TIMES CM JUMP: Discontinuita' nel tempo di elezione del CM
- LIFE CH: Durata totale del veicolo nello stato CH
- n ELECTIONS CH: Numero di elezioni da CH
- TIMES CH JUMP: Discontinuita' nel tempo di elezione del CH
- CMs AVG SIZE: Dimensione media del CH
- CH DIM CHANGES: Numero di cambi di dimensione del CH
- AVG LIFE CH: Tempo medio percentuale di esistenza del veicolo come CH, calcolato come rapporto tra il suo tempo totale di esistenza come CH e il tempo totale di esistenza
- LIFE TIME: Tempo di vita totale del veicolo

Tabella riassuntiva la storia dei cluster per ogni step:

Ogni riga della tabella individua un istante della simulazione, con tutte le caratteristiche dei CH e CM eletti al caso.

Ogni colonna della tabella definisce una caratteristica specifica dei CH e CM eletti, tramite le seguenti colonne:

- STEP: Step della simulazione
- n CHs: Totale Cluster Head presenti
- n CHs LONELY: Totale CH soli con nessun membro
- STATE LONELY: Rapporto percentuale di presenza di CHs Lonely come divisione tra i CHs Lonely e i CHs totali
- n CMs: Totale Cluster Member presenti
- AVG CMs: Numero medio di CM per CH calcolato come rapporto tra i CM e il numero di CH
- NEW CHs: Nuovi CHs eletti nello step
- NEW CHsCMs: Nuovi CH eletti nello step con almeno un CM
- NEW CHs LONELY: Nuovi CH eletti nello step con nessun membro
- OLD CHs: CH rimasti dallo step precedente
- OLD CHs HOLD DIM: CH rimasti dallo step precedente con la stessa dimensione
- OLD CHs CHANGE DIM: CH rimasti dallo step precedente con dimensione differente
- OLD CHs LONELY: CH rimasti dallo step precedente con nessun CM
- OLD CHs HOLD IDs: CHs rimasti dallo step precedente con gli stessi IDs
- OLD CHs CHANGE IDs: CH rimasti dallo step precedente con ID differenti

Tabelle tipo 3:

La forma della tabella che si vuole creare e' la seguente:

Con uno dei due algoritmi

STEP	LINKS	CARS	V2I MESSAGGES	TERNA 1	TERNA 2	..	TERNA N
….	…..	….	…..	…..	…..	..	….
1	1	1	1	(73 ; 60,52 ; 1)			
2	9	21	9	(41 ; 41,49 ; 1)	(50 ; 32,01 ; 2)	..	(82 ; 75,72 ; 1)
3	14	45	18	(74 ; 72,44 ; 7)	(18 ; 30,18 ; 1)	..	(4 ; 39,73 ; 10)
..	...	….	…..	…...	…...	..	…..

TABELLA 23: PERFORMANCE DI UN ALGORITMO

Senza algoritmi

STEP	LINKS	CARS	V2I MESSAGGES	TERNA 1	TERNA 2	..	TERNA N
….	…..	….	…..	…..	…..	..	….
1	1	1	1	(73 ; 60,52 ; 1)			
2	9	21	21	(41 ; 41,49 ; 1)	(50 ; 32,01 ; 2)	..	(82 ; 75,72 ; 1)
3	14	45	45	(74 ; 72,44 ; 7)	(18 ; 30,18 ; 1)	..	(4 ; 39,73 ; 10)
..	...	….	…..	…...	…...	..	…..

TABELLA 24: PERFORMANCE SENA L'USO DI ALGORITMI

Legenda tabelle:

STEP: istante di simulazione
LINKS: links in cui e' presente almeno un veicolo
CARS: numero di veicolo presenti nello step
V2I MESSAGES: terne inviate in centrale totali

TERNE: il numero di terne e' pari al valore di LINKS e contiene i valori seguenti:

- codice link
- velocita' media nel segmento
- numero di veicoli presenti nel settore

E' importante osservare che il valore di V2I MESSAGES non equivale sempre al numero di CH eletti nell'algoritmo, ma spesso e' superiore dato che un CH ha piu' membri, dei quali deve aggregare le medie sui vari settori visti nel suo insieme. Questo si traduce in un invio di piu' terne per ogni settore visto nel suo cluster

Per realizzare queste tre tabelle simili sono state create le seguenti classi:

- VelocitaMedia
- StepVelocitaMedia

Infine, queste tabelle sono state scritte su file con estensione .csv.

VelocitaMedia

Classe rappresentante la terna vista in tabella sopra

StepVelocitaMedia

Cuore di una riga della tabella: contiene le funzioni di dimensionamento iniziale del numero di colonne, e le rispettive di riempimento. In particolare determina le varie velocita' medie per settore con i veicoli presenti, ma soprattutto tiene conto del numero di comunicazioni V2I effettuate. Quest'ultimo valore esprime il minor numero di comunicazioni in centrale, rispetto all'assenza di un algoritmo di clustering.

3.3.2 Classi usate per i cluster

Per gestire l'elezione dei clusters sono state usate le seguenti classi:

- ClusterHead
- GeneralCM
- ClusterTable

E' da segnale che queste tre classi si appoggiano alle tabelle di tipo 1 descritte sopra, cioe' alle loro classi.

ClusterHead

Classe usata per rappresentare un cluster head, quindi ha il suo ID, e i rispettivi ID di tutti i suoi CM se presenti.

GeneralCM

Classe usata per rappresentare ad ogni iterazione dell'algoritmo un veicolo che non e' stato eletto CH. E' importante non confondere il nome della classe con il suo contenuto, cioe' questa classe inizialmente puo' essere uno di tre tipi di veicoli: CM (cluster member), FN (free node) o CMMCH (cluster member multi cluster heads).

Vale che:

- Se il veicolo e' un CM, allora ha solo l'informazione del suo ID e dell'ID del suo CH
- Se il veicolo e' un FN, ha come informazione il suo ID e gli eventuali ID degli FN visti vicini
- Se il veicolo e' un CMMCH, ha come informazione il suo ID e i due o piu' CH visti

Cio' comporta che durante le iterazioni dell'algoritmo un GeneralCM puo' cambiare il suo stato, e piu' dettagliatamente:

- Se viene eletto CM rimarra' sempre CM
- Se viene eletto FN dopo un opportuno numero di iterazioni verra' eletto CM o CMMCH
- Se viene eletto CMMCH dopo un opportuno numero di iterazioni verra' eletto CM

ClusterTable

Classe fondamentale per l'elezione dei CH, dei CM, dei FN e dei CMMCH. Ha tutte le funzioni per determinare il numero degli elementi presenti ad ogni iterazione, e inserire in modo corretto gli ID su ognuno di questi elementi. Questo vuol dire che la classe contiene i metodi necessari a controllare le elezioni per ogni iterazione, cosa che via codice si traduce in un impostazione di vari cicli software. Infine si sottolinea che questa classe fa da collegamento con le tabelle virtuali di tipo 1 create.

3.3.3 Classi usate per le prestazioni

Per esprimere le prestazioni si e' deciso di confrontare la velocita' media, calcolata in ogni settore dalla centrale tramite la ricezione dei veicoli presenti in ogni segmento, nei quali si va poi a calcolarne la velocita' media. Inoltre per una analisi piu' accurata si usano anche le tabella di tipo 2 descritte sopra.

Per determinare i valori senza l'uso di algoritmi o con essi si usano le classi gia' introdotte:

- ClusterHead
- GeneralCM
- ClusterTable
- VelocitaMedia
- StepVelocitaMedia

Si osserva che nel caso di uso degli algoritmi di clustering, le velocita' medie e il numero di comunicazioni V2I sono calcolate collegandosi alle classi di clustering con particolare attenzione a ClusterTable. Altrimenti questo collegamento non e' necessario.

3.4 Parametri utilizzati

I parametri variabili per l'analisi V2V sono principalmente due:

- Campionamento: frequenza d'invio dati di un OBU nella comunicazione V2V
- Portata WiFi: Copertura del raggio di azione di un OBU circolare

Questi parametri si variano lungo l'intera simulazione della durata di 600 secondi.

I valori di campionamento studiati sono 0.5, 1, 2, 4 e 8 secondi. In particolare con 0.5 secondi la simulazione approssima una continuita' temporale di scambio dati tra le OBU.

A differenza della figura 26, dove il raggio di azione dell'antenna WiFi dell'OBU e' influenzato dagli oggetti circostanti e di conseguenza assume diverse forme, in questa simulazione si considera il raggio di azione perfettamente circolare.

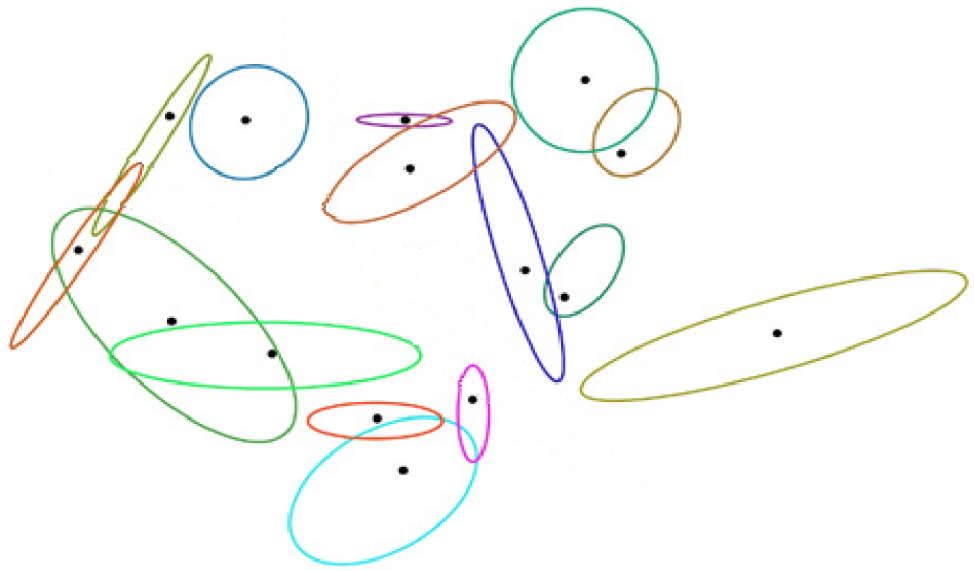


Figura 26: Esempio copertura antenna WiFi

Come specificato dallo standard IEEE_802.11 [20] e riportato in [8], il parametro che determina la portata dell'antenna WiFi sara' variato tra 100 120 140 e 250 metri.

E' stato esaminato anche un terzo parametro: la finestra temporale di analisi nella simulazione presa da Vissim. Attraverso varie prove sperimentali non si sono trovate particolari anomalie nell'elezione dei cluster al variare di questa finestra, di conseguenza in tutte le analisi fatte la finestra temporale e' estesa alla durata dell'intera simulazione. Si mostra nei risultati solo l'effetto del campionamento sulla finestra delimitata dall'intervallo: 224,5 – 280,5 secondi.

3.5 Analisi algoritmi

Di seguito sono mostrate un insieme di tabelle che riassumono le varie simulazioni effettuate al variere dei parametri detti nella sezione precedente, cioe' il campionamento e la portata WiFi

3.5.1 Analisi al variare del campionamento

Le misure fatte in questo paragrafo sono tutte con un raggio WiFi di 100 metri. Inoltre in tutte le tabelle la colonna nominata con un 1 finale esprime un dato dell'algoritmo proposto, mentre la colonna nominata con un 2 finale e' riferita all'algoritmo allo stato dell'arte, quindi per una lettura piu' semplice della tesi in questa sezione si useranno anche i termini algoritmo 1 e algoritmo 2 per non ripetere sempre i lori nomi per esteso.

Di seguito sono mostrate le tabelle ottenute dal simulatore per mettere a confronto i due algoritmi e valutarli singolarmente nella loro stabilita'.

Analisi della stabilita' di un CM sulla media di tutte le OBU presenti

	AVG LIFE IN ONE CH 1	AVG LIFE IN ONE CH 2
CAMPIONAMENTO	ALGORITMO 1	ALGORITMO 2
0,5	24,04%	11,84%
1	18,55%	11,31%
2	14,61%	12,79%
4	14,11%	15,06%
8	19,87%	21,26%
AVG LIFE CM 1	AVG LIFE CM 2	
89,88%	87,96%	
89,95%	87,94%	
89,65%	87,84%	
89,53%	87,77%	
88,89%	86,82%	

TABELLA 1: ANDAMENTO VALORI MEDI AL VARIARE DEL CAMPIONAMENTO CON 100 METRI

Tabella 1: L'algoritmo 1, per bassi valori del campionamento ha dei CM con un tempo medio di permanenza nello stesso CH maggiore rispetto all'algoritmo 2, e entrambe queste percentuali variano intorno a un 5% e un

10% lungo il campionamento. La situazione si sbilancia a favore del secondo algoritmo con alti valori di campionamento. Inoltre, nel primo algoritmo un veicolo nel suo arco di vita, passa un tempo maggiore nell'essere CM rispetto al secondo algoritmo.

CAMPIONAMENTO	CHs CHANGED 1	CHs CHANGED 2	TIMES CM JUMP 1	TIMES CM JUMP 2	
0,5	76,63%	88,99%	6,79%	9,57%	
1	82,70%	90,11%	7,29%	9,39%	
2	87,47%	89,60%	7,63%	8,97%	
4	89,35%	88,72%	7,45%	8,14%	
8	85,61%	85,00%	6,28%	7,06%	
n ELECTIONS CM 1	CHs CHANGED 1	TIMES CM JUMP 1	n ELECTIONS CM 2	CHs CHANGED 2	TIMES CM JUMP 2
136,33	104,47	9,25	133,95	119,21	12,82
68,11	56,33	4,97	66,93	60,31	6,28
34,04	29,77	2,60	33,43	29,95	3,00
17,00	15,19	1,27	16,70	14,82	1,36
8,47	7,25	0,53	8,31	7,07	0,59

TABELLA 2: ANDAMENTO CM AL VARIARE DEL CAMPIONAMENTO CON 100 METRI

Tabella 2: L'algoritmo 1 ha delle variazioni percentuali maggiori sul numero di CH cambiati da un CM al cambio di campionamento, mentre in questo l'algoritmo 2 e' leggermente piu' stabile. Stabilita' a parte il numero di CH cambiati e' pero' mediamente inferiore nel primo algoritmo per campionamenti stretti. Dall'altra parte l'algoritmo 1 contiene maggiormente i cambi di discontinuita' attraverso il campionamento, con una stabilita' simile al secondo algoritmo.

Analisi della stabilita' di un CH sulla media di tutte le OBU presenti

CAMPIONAMENTO	TIMES CH JUMP 1	TIMES CH JUMP 2	DIM CHANGE CHs AVG 1	DIM CHANGE CHs AVG 2	
0,5	58,40%	71,74%	66,36%	77,03%	
1	59,65%	68,16%	68,52%	75,08%	
2	57,12%	60,50%	64,97%	69,17%	
4	47,14%	48,31%	54,40%	57,69%	
8	32,66%	33,76%	39,20%	41,61%	
n ELECTIONS CH 1	TIMES CH JUMP 1	DIM CHANGE CHs AVG 1	n ELECTIONS CH 2	TIMES CH JUMP 2	DIM CHANGE CHs AVG 2
14,96	8,74	9,93	17,34	12,44	13,36
7,50	4,47	5,14	8,69	5,92	6,52
3,74	2,13	2,43	4,34	2,63	3,00
1,86	0,88	1,01	2,16	1,05	1,25
0,92	0,30	0,36	1,08	0,36	0,45

TABELLA 3: ANDAMENTO CH AL VARIARE DEL CAMPIONAMENTO CON 100 METRI

CAMPIONAMENTO	CMs AVG SIZE 1	CMs AVG SIZE 2
0,5	10,36	8,79
1	9,78	8,51
2	8,62	7,81
4	7,20	6,51
8	5,04	4,67

TABELLA 4: DIMENSIONE CH AL VARIARE DEL CAMPIONAMENTO CON WIFI 100

Tabella 3 e 4: Nei CH l'algoritmo 1 contiene meglio sia le discontinuita' che i cambi di dimensione, piuttosto che nel secondo algoritmo. Inoltre, il primo algoritmo e' anche piu' stabile al variare del campionamento. Si nota anche che l'algoritmo proposto ha un numero medio di CM per CH mediamente superiore rispetto all'algoritmo allo stato dell'arte.

CAMPIONAMENTO	AVG LIFE CH 1	AVG LIFE CH 2
0,5	10,06%	11,98%
1	9,94%	11,94%
2	10,06%	11,87%
4	9,95%	11,71%
8	9,50%	11,57%

TABELLA 5: VITA MEDIA CH AL VARIARE DEL CAMPIONAMENTO CON WIFI 100

Tabella 5: Un CH nel secondo algoritmo ha un tempo di vita leggermente maggiore dell'algoritmo 1.

Analisi della stabilita' dei CH eletti sulla media degli step di simulazione

CAMPIONAMENTO	AVG CMs 1	AVG CMs 2	STATE LONELY 1	STATE LONELY 2
0,5	4,53%	3,90%	5,94%	8,31%
1	4,51%	3,89%	5,97%	8,51%
2	4,53%	3,89%	5,92%	8,55%
4	4,53%	3,89%	6,18%	8,58%
8	4,59%	3,89%	6,66%	8,82%
n CMs 1	AVG CMs 1	n CMs 2	AVG CMs 2	
197,56	8,94	194,12	7,58	
197,41	8,91	193,98	7,55	
197,29	8,93	193,79	7,54	
197,12	8,94	193,61	7,54	
196,49	9,02	192,76	7,51	

TABELLA 6: ANDAMENTO CM AL VARIARE DEL CAMPIONAMENTO CON WIFI 100

Tabella 6: Entrambi gli algoritmi sono molto stabili riguardo la ripartizione dei CM nei CH e la permanenza di CH isolati. Risulta leggermente piu' instabile l'algoritmo proposto di un 1% rispetto all'algoritmo allo stato dell'arte. Inoltre, la permanenza di CH isolati e' minore nel primo algoritmo.

CAMPIONAMENTO	NEW CHs LONELY 1	NEW CHs LONELY 2	OLD CHs LONELY 1	OLD CHs LONELY 2			
0,5	1,31%	12,83%	4,68%	18,42%			
1	2,19%	13,43%	5,45%	17,24%			
2	3,44%	12,30%	6,90%	12,46%			
4	4,71%	8,24%	7,67%	7,40%			
8	5,23%	3,16%	8,02%	2,82%			
NEW CHs 1	NEW CHs LONELY 1	OLD CHs 1	OLD CHs LONELY 1	NEW CHs 2	NEW CHs LONELY 2	OLD CHs 2	OLD CHs LONELY 2
14,08	0,18	7,60	0,98	19,46	0,91	5,66	1,04
15,69	0,34	6,05	0,81	19,98	1,09	5,20	0,90
17,32	0,60	4,34	0,53	20,48	1,41	4,68	0,58
18,67	0,88	2,91	0,24	21,21	1,63	3,87	0,29
19,12	1,00	2,11	0,07	22,12	1,77	2,84	0,08

TABELLA 7: ANDAMENTO CH NEW E OLD AL VARIARE DEL CAMPIONAMENTO CON WIFI 100

Tabella 7: Qui l'algoritmo proposto e' discretamente piu' stabile rispetto al secondo algoritmo, riguardo la presenza di CH isolati “nuovi e vecchi” ad ogni step di elezione nella simulazione. Inoltre, e' evidente il minor numero di CH isolati “nuovi e vecchi” dell'algortimo 1 rispetto all'algoritmo 2 fino al campionamento 2.

CAMPIONAMENTO	NEW CHs 1	NEW CHs 2	
0,5	64,95%	77,46%	
1	72,19%	79,34%	
2	79,98%	81,40%	
4	86,50%	84,56%	
8	90,08%	88,62%	
n CHs 1	NEW CHs 1	n CHs 2	NEW CHs 2
21,68	14,08	25,13	19,46
21,74	15,69	25,18	19,98
21,66	17,32	25,16	20,48
21,58	18,67	25,09	21,21
21,23	19,12	24,96	22,12

TABELLA 8: ANDAMENTO CH NEW AL VARIARE DEL CAMPIONAMENTO CON WIFI 100

Tabella 8: Da questa tabella risulta piu' stabile il secondo algoritmo, riguardo l'elezione di nuovi CH ad ogni step. Inizialmente il nuovo algoritmo ha una percentuale minore di nuovi CH, ma con campionamenti piu' alti la situazione si ribalta.

CAMPIONAMENTO	OLD CHs HOLD DIM 1	OLD CHs HOLD DIM 2	OLD CHs HOLD IDs 1	OLD CHs HOLD IDs 2	
0,5	38,57%	25,84%	78,36%	89,12%	
1	30,16%	20,89%	72,76%	81,60%	
2	23,60%	15,03%	62,21%	65,88%	
4	15,10%	12,22%	46,97%	42,25%	
8	9,49%	7,98%	26,67%	23,53%	
OLD CHs 1	OLD CHs HOLD DIM 1	OLD CHs HOLD IDs 1	OLD CHs 2	OLD CHs HOLD DIM 2	OLD CHs HOLD IDs 2
7,60	2,93	2,30	5,66	1,46	1,30
6,05	1,82	1,33	5,20	1,09	0,89
4,34	1,02	0,64	4,68	0,70	0,46
2,91	0,44	0,21	3,87	0,47	0,20
2,11	0,20	0,05	2,84	0,23	0,05

TABELLA 9: ANDAMENTO CH OLD AL VARIARE DEL CAMPIONAMENTO CON WIFI 100

Tabella 9: I CH che mantengono la dimensione costante sono piu' stabili nel secondo algoritmo, mentre i CH che a parita' di dimensione conservano anche gli stessi CM sono piu' stabili nel primo algoritmo. Inizialmente i CH a dimensione costante sono maggiormente presenti nell'algoritmo 1, mentre l'algoritmo 2 ha una percentuale piu' alta dei CH con anche gli stessi ID. L'aumentare del campionamento puo' sbilanciare la situazione.

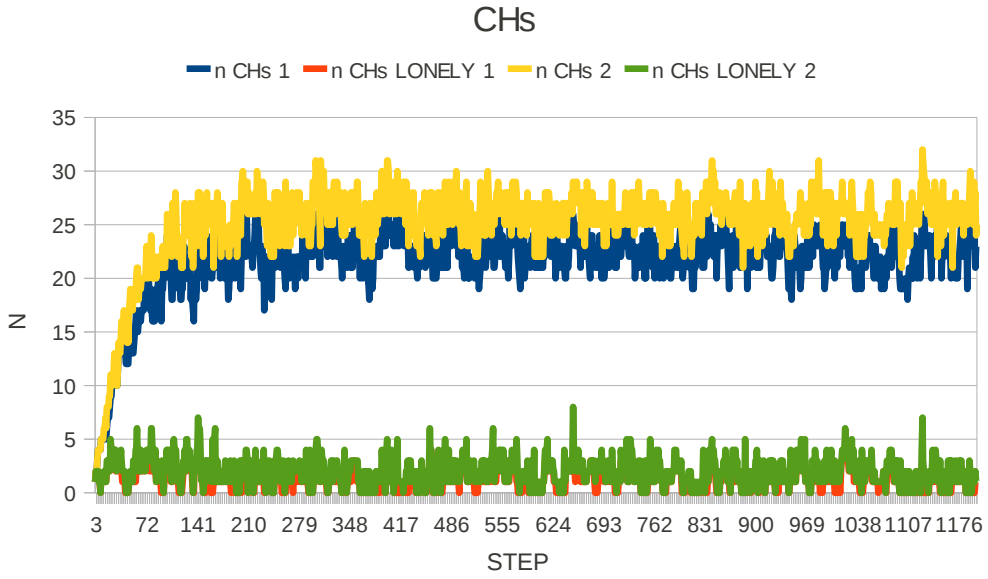


Grafico 1: CH eletti negli algoritmi

Grafico 1: La distribuzione dei valori in questo grafico, mostra il vantaggio teorico dell'algoritmo proposto. Cioe' nel primo grafico si hanno meno CH eletti e meno CH isolati rispetto all'algoritmo 2, lungo gli step della simulazione.

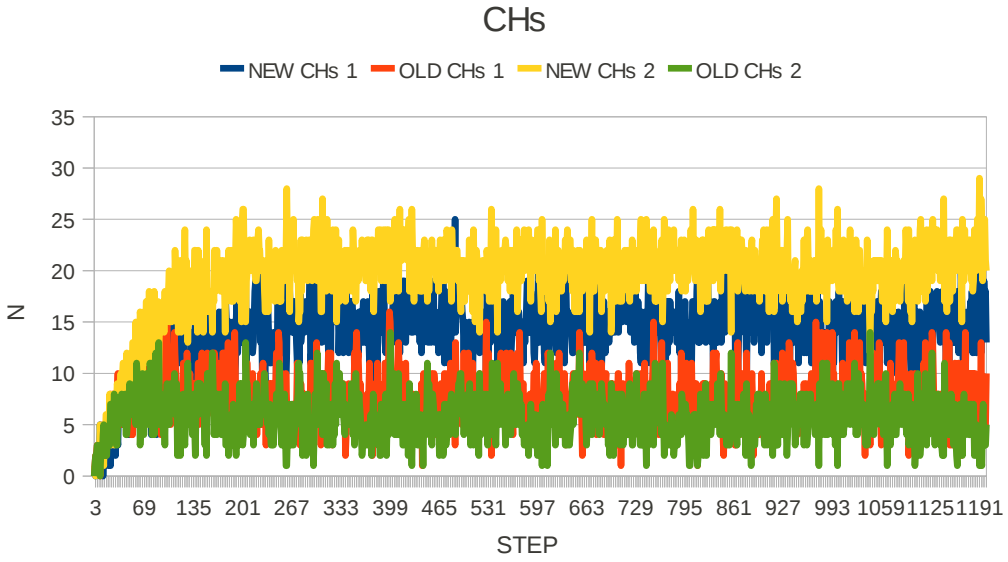


Grafico 2: CH New e Old eletti

Grafico 2: Nel grafico si evidenzia la stabilita' maggiore dell'algoritmo 1, visto che mediamente ad ogni step ha un minor numero di “nuovi CH eletti” e maggior numero di “vecchi CH eletti” allo step precedente.

Analisi delle performance

CAMPIONAMENTO	TOT SEND MESSAGES 1	TOT SEND MESSAGES 2
0,5	42,63%	43,86%
1	42,75%	43,88%
2	42,64%	44,00%
4	42,57%	43,78%
8	42,51%	43,82%
TOT SEND MESSAGES	TOT SEND MESSAGES 1	TOT SEND MESSAGES 2
263094	112162	115386
131491	56207	57698
65685	28011	28901
32805	13965	14363
16329	6942	7156

TABELLA 19: ANDAMENTO TERNE CON LA VARIAZIONE DEL CAMPIONAMENTO E WIFI 100

Tabella 19: La performance, cioe' il numero di comunicazioni con la centrale (V2I), e' leggermente piu' stabile con l'algoritmo proposto, circa di un 1%, e inoltre risulta sempre minore la percentuale di messaggi inviati con il nuovo algoritmo proposto, anche con il campionamento piu' alto di 8 secondi.

Valutazione globale sull'effetto del campionamento:

Come prima cosa, dalle tabelle e' evidente un vantaggio iniziale nell'uso dell'algoritmo proposto con bassi valori di campionamento, rispetto all'algoritmo presente in letteratura. Mentre questo vantaggio diminuisce progressivamente o diventa addirittura uno svantaggio, all'aumentare del campionamento, specialmente con un campionamento di 8 secondi. Cio' e' prevedibile, dato che una comunicazione V2V con frequenza di trasmissione di 8 secondi e' molto lenta rispetto all'alta dinamicita' del traffico veicolare, e dal lato opposto una frequenza di trasmissione di 0,5 secondi si avvicina a una continuita' temporale.

3.5.2 Analisi al variare della portata WiFi

Le misure fatte in questo paragrafo sono tutte con un campionamento di 0,5 secondi. Inoltre in tutte le tabelle le colonne nominate con un 1 finale o con un 2 finale seguono i riferimento spiegati al paragrafo precedente.

Di seguito sono mostrate le tabelle ottenute dal simulatore per mettere a confronto i due algoritmi e valutarli singolarmente nella loro stabilita'.

Analisi della stabilita' di un CM sulla media di tutte le OBU presenti

	AVG LIFE IN ONE CH 1	AVG LIFE IN ONE CH 2
WIFI	ALGORITMO 1	ALGORITMO 2
100	24,04%	11,84%
120	22,32%	9,90%
140	22,00%	8,57%
250	18,04%	5,44%
AVG LIFE CM 1	AVG LIFE CM 2	
89,88%	87,96%	
91,59%	90,13%	
92,60%	91,74%	
96,28%	95,62%	

TABELLA 10: ANDAMENENTO VALORI MEDI AL VARIARE DELLA PORTATA WIFI CON CAMPIONAMENTO 0,5

Tabella 10: L'algoritmo 1 ha dei CM mediamente piu' stabili nello stesso CH, rispetto all'algoritmo 2, e entrambe queste percentuali variano intorno a un 5% e un 10% lungo il campionamento. Inoltre nell'algoritmo 1 un veicolo nel suo arco di vita, passa un tempo maggiore nell'essere CM rispetto al secondo algoritmo. E' un comportamento molto simile a quello trovato precedentemente variando il campionamento (tabella 1).

WIFI	CHs CHANGED 1	CHs CHANGED 2	TIMES CM JUMP 1	TIMES CM JUMP 2	
100	76,63%	88,99%	6,79%	9,57%	
120	77,94%	90,99%	5,73%	8,10%	
140	78,03%	92,07%	5,06%	6,97%	
250	81,41%	95,07%	2,84%	3,84%	
n ELECTIONS CM 1	CHs CHANGED 1	TIMES CM JUMP 1	n ELECTIONS CM 2	CHs CHANGED 2	TIMES CM JUMP 2
136,33	104,47	9,25	133,95	119,21	12,82
139,04	108,37	7,96	136,98	124,64	11,10
140,55	109,67	7,11	139,33	128,28	9,72
145,47	118,44	4,13	144,99	137,84	5,57

TABELLA 11: ANDAMENTO CM AL VARIARE DELLA PORTATA WIFI CON CAMPIONAMENTO 0,5

Tabella 11: L'algoritmo 1 ha una percentuale minore del secondo algoritmo sia riguardo la percentuale dei CH cambiati, che la percentuale delle discontinuita'. Inoltre anche le variazioni percentuali al variare della portata WiFi, risultano piu' contenute nel primo algoritmo.

Analisi della stabilita' di un CH sulla media di tutte le OBU presenti

WIFI	TIMES CH JUMP 1	TIMES CH JUMP 2	DIM CHANGE CHs AVG 1	DIM CHANGE CHs AVG 2	
100	58,40%	71,74%	66,36%	77,03%	
120	60,57%	74,52%	70,12%	80,27%	
140	61,34%	76,93%	72,84%	81,88%	
250	60,94%	77,37%	73,13%	79,80%	
n ELECTIONS CH 1	TIMES CH JUMP 1	DIM CHANGE CHs AVG 1	n ELECTIONS CH 2	TIMES CH JUMP 2	DIM CHANGE CHs AVG 2
14,96	8,74	9,93	17,34	12,44	13,36
12,25	7,42	8,59	14,31	10,67	11,49
10,74	6,59	7,83	11,96	9,20	9,79
5,82	3,54	4,25	6,30	4,88	5,03

TABELLA 12: ANDAMENTO CH AL VARIARE DELLA WIFI CON CAMPIONAMENTO 0,5

WIFI	CMs AVG SIZE 1	CMs AVG SIZE 2
100	10,36	8,79
120	12,60	10,62
140	13,81	12,80
250	23,07	23,87

TABELLA 13: DIMENSIONE CH AL VARIARE DELLA WIFI CON CAMPIONAMENTO A 0,5

Tabella 12 e 13: Anche qui l'algoritmo proposto ha sempre discontinuita' minori rispetto al secondo, e anche percentuali inferiore dei cambi di dimensione. Riguardo la stabilita' si nota una variazione delle discontinuita' piu' contenuta' nell'algoritmo 1, mentre una variazione dei cambi di dimensione piu' contenuta nell'algoritmo 2, circa un 3% in entrambi i casi. Si nota anche che l'algoritmo proposto ha un numero medio di CM per CH mediamente superiore rispetto all'algoritmo allo stato dell'arte, a meno di un raggio WiFi di 250 metri in cui gli algoritmi si equivalgono con un leggero sbilanciamento sul secondo.

WIFI	AVG LIFE CH 1	AVG LIFE CH 2
100	10,06%	11,98%
120	8,35%	9,81%
140	7,35%	8,20%
250	3,66%	4,32%

TABELLA 14: VITA MEDIA CH AL VARIARE DELLA WIFI CON CAMPIONAMENTO 0,5

Tabella 14: Un CH nel primo algoritmo ha un tempo di vita sempre minore del secondo algoritmo, ed entrambi hanno la stessa escursione di circa il 7% sulla stabilita' al variare della WiFi.

Analisi della stabilita' dei CH eletti sulla media degli step di simulazione

WIFI	AVG CMs 1	AVG CMs 2	STATE LONELY 1	STATE LONELY 2
100	4,53%	3,90%	5,94%	8,31%
120	5,54%	4,74%	3,67%	6,13%
140	6,33%	5,68%	2,11%	4,29%
250	11,80%	10,86%	0,95%	1,75%
n CMs 1	AVG CMs 1	n CMs 2	AVG CMs 2	
197,56	8,94	194,12	7,58	
201,49	11,15	198,50	9,40	
203,68	12,89	201,91	11,46	
210,82	24,88	210,11	22,82	

TABELLA 15: ANDAMENTO CM AL VARIARE DELLA WIFI CON CAMPIONAMENTO 0,5

Tabella 15: La variazione percentuale della ripartizione dei CM e' molto simile in entrambi gli algoritmi, ed inoltre risulta sempre maggiore nel primo algoritmo. Anche la permanenza dei CH isolati ha un andamento similare tra i due algoritmi, con una dinamica leggermente piu' ampia nel secondo algoritmo. Infine, la permanenza di CH isolati e' minore nel primo algoritmo.

WIFI	NEW CHs LONELY 1	NEW CHs LONELY 2	OLD CHs LONELY 1	OLD CHs LONELY 2			
100	1,31%	12,83%	4,68%	18,42%			
120	0,92%	7,57%	4,08%	12,15%			
140	0,52%	3,72%	3,05%	7,82%			
250	0,10%	1,87%	1,04%	5,99%			
NEW CHs 1	NEW CHs LONELY 1	OLD CHs 1	OLD CHs LONELY 1	NEW CHs 2	NEW CHs LONELY 2	OLD CHs 2	OLD CHs LONELY 2
14,08	0,18	7,60	0,98	19,46	0,91	5,66	1,04
12,18	0,11	5,58	0,42	16,89	0,69	3,85	0,47
10,95	0,06	4,62	0,17	14,77	0,45	2,57	0,20
6,42	0,01	2,01	0,04	8,46	0,09	0,67	0,04

TABELLA 16: ANDAMENTO CH NEW E OLD AL VARIARE DELLA WIFI CON CAMPIONAMENTO 0,5

Tabella 16: Qui l'algoritmo proposto ha una percentuale marcatamente inferiore rispetto all'algoritmo 2 nella presenza di CH isolati “nuovi e vecchi”, ad ogni step di elezione nella simulazione. Allo stesso tempo l'algoritmo 1 ha anche la variazione percentuale molto piu' contenuta del secondo algoritmo.

WIFI	NEW CHs 1	NEW CHs 2	
100	64,95%	77,46%	
120	68,56%	81,42%	
140	70,34%	85,19%	
250	76,17%	92,68%	
n CHs 1	NEW CHs 1	n CHs 2	NEW CHs 2
21,68	14,08	25,13	19,46
17,76	12,18	20,74	16,89
15,57	10,95	17,33	14,77
8,43	6,42	9,13	8,46

TABELLA 17: ANDAMENTO CH NEW AL VARIARE DELLA WIFI CON CAMPIONAMENTO 0,5

Tabella 17: Da questa tabella il primo algoritmo, riguardo l'elezione di nuovi CH ad ogni step, risulta piu' stabile del secondo, e anche con una percentuale di CH nuovi eletti costantemente minore di anche un 20% a seconda della portata WiFi.

WIFI	OLD CHs HOLD DIM 1	OLD CHs HOLD DIM 2	OLD CHs HOLD IDs 1	OLD CHs HOLD IDs 2	
100	38,57%	25,84%	78,36%	89,12%	
120	36,72%	24,45%	75,37%	88,24%	
140	33,98%	23,21%	67,82%	87,27%	
250	27,30%	18,08%	45,14%	85,52%	
OLD CHs 1	OLD CHs HOLD DIM 1	OLD CHs HOLD IDs 1	OLD CHs 2	OLD CHs HOLD DIM 2	OLD CHs HOLD IDs 2
7,60	2,93	2,30	5,66	1,46	1,30
5,58	2,05	1,55	3,85	0,94	0,83
4,62	1,57	1,06	2,57	0,60	0,52
2,01	0,55	0,25	0,67	0,12	0,10

TABELLA 18: ANDAMENTO CH OLD AL VARIARE DELLA WIFI CON CAMPIONAMENTO 0,5

Tabella 18: I CH che mantengono la dimensione costante sono presenti sempre in maggioranza nell'algoritmo 1, e la variazione percentuale di questa quantita' e' simile tra i due algoritmi a meno di una dinamica leggermente piu' ampia nel primo algoritmo. I CH che a parita' di dimensione conservano anche gli stessi CM sono decisamente piu' presenti e piu' stabili nell'algoritmo presentato in letteratura.

Analisi delle performance

CAMPIONAMENTO	TOT SEND MESSAGES 1	TOT SEND MESSAGES 2
100	42,63%	43,86%
120	40,62%	41,55%
140	39,91%	39,73%
250	36,27%	35,07%
TOT SEND MESSAGES	TOT SEND MESSAGES 1	TOT SEND MESSAGES 2
263094	112162	115386
263094	106873	109306
263094	104988	104538
263094	95433	92276

TABELLA 20: ANDAMENTO TERNE CON LA VARIAZIONE DELLA WIFI CON CAMPIONAMENTO A 0,5

Tabella 20: La performance, cioe' il numero di comunicazioni con la centrale (V2I), e' leggermente piu' stabile con l'algoritmo proposto, circa di un 2%. Usare l'algoritmo proposto porta inizialmente (100 e 120 metri) dei vantaggi, ma con raggi WiFi superiori (140 e 250 metri) la situazione si sbilancia a favore dell'algoritmo allo stato dell'arte.

Lo sbilanciamento con ampi raggi WiFi e' comprensibile, dato che ogni CH deve inviare un numero di terne in centrale, pari al numero di settori distinti controllando tutti i veicoli CM visti. Quindi maggiore e' il numero dei CM e piu' e' probabile che questi siano in settori diversi, andando a appesantire il numero di comunicazioni V2I.

Valutazione globale sull'effetto della copertura WiFi:

Le tabelle viste nell'insieme danno una prima impressione positiva sull'elezione dei CH dell'algoritmo proposto, al variare della portata WiFi, in quanto risulta piu' stabile dell'algoritmo presente in letteratura. Dall'altra parte sulle prestazioni a seconda del raggio WiFi puo' essere conveniente sfruttare o il primo algoritmo o il secondo.

3.5.3 Analisi con la finestra temporale limitata

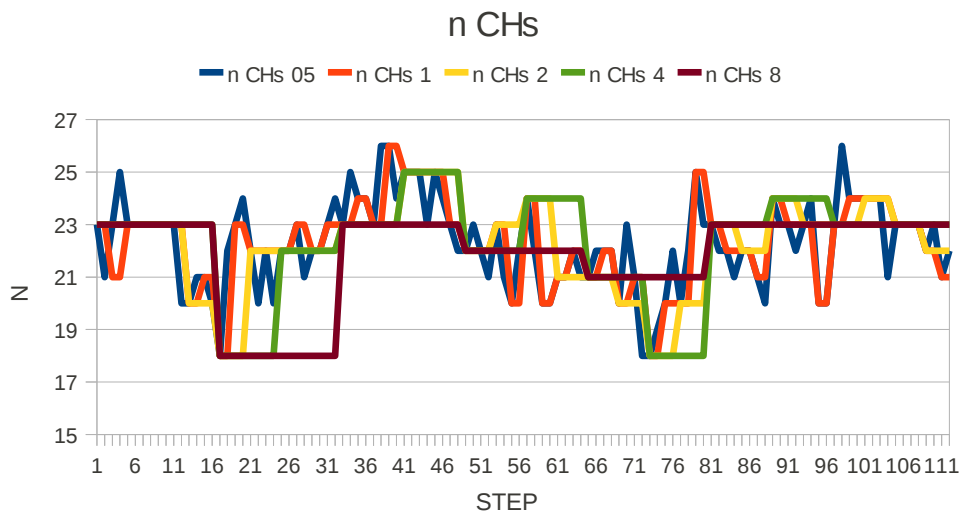


GRAFICO 3: FINESTRA WIFI 100 ALGORITMO 1

Il grafico mostra l'effetto del campionamento nell'intervallo di 224,5 – 280,5 secondi nella determinazione del numero di CH eletti. In particolare, si nota il valore medio di CH presenti approssimativo seguito da un alto campionamento, come quello di 8 secondi, piuttosto che il valore quasi continuo dei CH eletti presenti ad ogni step con l'intervallo minimo di 0,5 secondi.

3.5.4 Note e deduzioni conclusive

Dalle varie analisi svolte si possono individuare i fattori positivi o negativi che favoriscono o meno l'uso dell'algoritmo proposto.

Discussione globale degli algoritmi al variare del campionamento:

Fattori a favore dell'algoritmo proposto:

- Bassi valori di campionamento aumentano il tempo di permanenza di un veicolo CM nello stesso CH
- Minor numero di CH cambiati da un CM nel suo tempo di vita
- Minor discontinuita' di un CM nel suo tempo di vita
- Maggior stabilita' delle discontinuita' di un CM nel suo tempo di vita
- Minor discontinuita' di un CH nel suo tempo di vita
- Minor cambi di dimensione di un CH nel suo tempo di vita
- Maggior stabilita' dei cambi di dimensione di un CH nel suo tempo di vita
- Minor tempo di permanenza di un CH isolato nel suo tempo di vita
- Minor presenza di CH isolati “nuovi e vecchi” lungo la simulazione

- Maggior stabilita della presenza di CH isolati “nuovi e vecchi” lungo la simulazione
- Bassi valori di campionamento diminuiscono la presenza di “nuovi” CH lungo la simulazione
- Maggior stabilita' del numero di CH che mantengono la stessa dimensione dei CM con lo stesso insieme di ID lungo la simulazione
- Maggior numero di CH che mantengono la stessa dimensione dei CM lungo la simulazione
- Globalmente minor numero di CH eletti in cui si ha anche un minor numero di CH isolati, in tutta la simulazione
- Globalmente stabilita' maggiore grazie alla presenza ridotta di CH “nuovi” eletti, e una piu' alta densita' di CH “vecchi” eletti
- Maggiore stabilita' delle performance
- Migliore performance

Fattori a favore dell'algoritmo presente in letteratura:

- Alti valori di campionamento aumentano il tempo di permanenza di un veicolo CM nello stesso CH
- Maggior stabilita' nei cambi di CH da un CM nel suo tempo di vita
- Maggior stabilita' del tempo di permanenza di un CH isolato nel suo tempo di vita
- Maggior stabilita' della presenza di “nuovi” CH lungo la simulazione
- Alti valori di campionamento diminuiscono la presenza di “nuovi” CH lungo la simulazione
- Maggior stabilita' del numero di CH che mantengono la stessa dimensione dei CM lungo la simulazione
- Maggior numero di CH che mantengono la stessa dimensione dei CM con lo stesso insieme di ID lungo la simulazione

Discussione globale degli algoritmi al variare della portata WiFi:

Fattori a favore dell'algoritmo proposto:

- Maggior tempo di permanenza di un veicolo CM nello stesso CH
- Maggior stabilita' del tempo di permanenza di un veicolo CM nello stesso CH
- Minor numero di CH cambiati da un CM nel suo tempo di vita
- Minor discontinuita' di un CM nel suo tempo di vita
- Maggior stabilita' delle discontinuita' di un CM nel suo tempo di vita
- Maggior stabilita' nei cambi di CH da un CM nel suo tempo di vita
- Minor discontinuita' di un CH nel suo tempo di vita
- Minor cambi di dimensione di un CH nel suo tempo di vita

- Maggior stabilita' delle discontinuita' di un CH nel suo tempo di vita
- Minor tempo di permanenza di un CH isolato nel suo tempo di vita
- Minor presenza di CH isolati “nuovi e vecchi” lungo la simulazione
- Maggior stabilita della presenza di CH isolati “nuovi e vecchi” lungo la simulazione
- Minor numero di “nuovi” CH lungo la simulazione
- Maggior stabilita' della presenza di “nuovi” CH lungo la simulazione
- Maggior numero di CH che mantengono la stessa dimensione dei CM lungo la simulazione
- Maggiore stabilita' delle performance
- Corti raggi WiFi migliorano le performance

Fattori a favore dell'algoritmo presente in letteratura:

- Maggior stabilita' dei cambi di dimensione di un CH nel suo tempo di vita
- Maggior numero di CH che mantengono la stessa dimensione dei CM con lo stesso insieme di ID lungo la simulazione
- Maggior stabilita' del numero di CH che mantengono la stessa dimensione dei CM con lo stesso insieme di ID lungo la simulazione
- Ampi raggi WiFi migliorano le performance

Conclusioni e sviluppi futuri

Durante lo svolgimento del progetto sono stati portati a termine tutti gli obiettivi prefissati, e sono stati aggiunti via software molti dati di analisi degli algoritmi che hanno permesso uno studio approfondito degli algoritmi di elezione.

L'obiettivo principale della tesi e' stato raggiunto, cioe' si e' creato un nuovo algoritmo di elezione di clustering per la comunicazione V2V, con una politica di commincation-saving.

E' stato verificato che il nuovo algoritmo creato ha diversi pregi rispetto all'algoritmo iniziale presente in letteratura [1]. Per poter trovare i vantaggi dell'uso del nuovo algoritmo e' stata testata la sua stabilita' maggiore dei cluster, e il minor numero di comunicazioni V2I tra la Centrale di Controllo e i CH.

La simulazione dell'algoritmo proposto quindi in generale ha dato un riscontro positivo, a meno che non si vada ad aumentare di molto il campionamento oppure la portata WiFi. Considerando che il campionamento corrisponde alla frequenza di scambio dati nella rete VANET, in questo ambito dinamico il problema dell'alto campionamento non si presenta. E' piu' indicativa la misura delle performance con ampi raggi WiFi, in quanto e' stato trovato che l'algoritmo proposto non porta dei vantaggi, ma anche questo era prevedibile dato che le performance sono misurate solo su una velocita' media dei settori.

Considerando che il progetto e' stato svolto in un ottica di estensione e usabilita' orientate agli sviluppi futuri del progetto Pegasus, sono di seguito presentate alcune proposte. In particolare, per quanto riguarda la simulazione dell'algoritmo:

- si dovrebbe testare su scenari su scenari molto piu' estesi e diversificati (per esempio gli algoritmi potrebbero comportarsi in maniera completamente diversa da quella vista nel progetto considerando strade urbane, extra-urbane, autostrade, etc.), con dati sul traffico aggiornati e forniti da enti certificati, al fine di validare definitivamente le analisi svolte
- si dovrebbe implementare nel codice un algoritmo di elezione dinamico, riferito all'uso di protocolli di aggregazione dinamica in modo da avere funzioni di aggregazione per stimare misure utili all'interno di un cluster, come proposto in [3]

I dati ottenuti dalla simulazione possono essere sfruttati per decidere come testare realmente, uno dei due algoritmi di elezione, su un OBU. Per esempio:

- la stabilita' e le performance ottenute a diversi campionamenti, indicano fisicamente la scelta migliore sulla frequenza dei dati nella comunicazione V2V
- la stabilita' e le performance ottenute a diversi raggi WiFi, indicano fisicamente se continuare le ricerche sullo sviluppo di un protocollo di comunicazione WiFi ad ampio raggio piuttosto che corto

La scelta ultima di questa ricerca vedrebbe l'implementazione di quanto sviluppato in questa tesi sull'architettura reale di ogni OBU, a loro volta impiantate su veicoli realmente circolanti negli scenari urbani delle nostre citta'.

Ringraziamenti

Ringrazio la professoressa Federica Mandreoli, l'ingegnere Luca Carafoli e il professor Riccardo Martoglia, che mi hanno seguito durante il periodo di studio, sperimentazione e stesura della tesi.

Il ringraziamento piu' importante va a mia madre e mio padre, che mi hanno permesso di proseguire gli studi da sempre.

Infine grazie alla dottoressa Emanuela, e agli amici che mi hanno fortemente consigliato di arrivare alla laurea, tra i quali Enrico, Andrea, Cristian, Lorenzo e tutti gli altri della compagnia.

Bibliografia

[1] Ranran Ding and Quing-An Zeng: A Clustering-based Multi-channel Vehicle-toVehicle (V2V) Communication System. Proceedings of the first international conference on Ubiquitous and future networks, 2009

[2] Xue Yang, Jie Liu, Feng Zhao, and Nitin H. Vaidya: A Vehicle-to-Vehicle Communication Protocol for Cooperative Collision Warning. First Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services (MobiQuitous'04), 2004

[3] Oliver Kennedy, Christoph Koch, Al Demers Dept: Dynamic Approaches to In-Network Aggregation. IEEE International Conference on Data Engineering, 2009

[4] Information System Group, Universita' degli studi di Modena e Reggio Emilia. Web site: http://www.isgroup.unimo.it

[5] Java. Web site: http://www.java.com/it/about

[6] PEGASUS: ProgEtto per la Gestione delle mobilita' Attraverso Sistemi infotelematici per l'ambito Urbano, per la Sicurezza di passeggeri, veicoli e merci. Web site: http://pegasus.octotelematics.com

[7] VISSIM – Multi-Modal Traffic Flow Modeling
Web sites:
http://www.english.ptv.de/software/transportation-planning-traffic-engineering/software-system-solution/vissim/
http://www.tpsitalia.it/software/ingegneria_traffico/vissim.php

[8] IEEE 802.11 from Wikipedia
Web site: http://it.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11

[9] ITS Web site: http://www.its.dot.gov/

[10] ICT Web site:
http://it.wikipedia.org/wiki/Tecnologie_dellinformazione_e_della_comunicazione

[11] Alessandro Bellini, Andrea Guidi: Il linguaggio C. McGraw-Hill Libri Italia Srl 1999

[12] Giacomo Cabri, Franco Zambonelli: Programmazione a oggetti in Java: dai fondamenti a internet. Pitagora Editrice S.r.l. 2003

[13] S. Goel, T. Imielinski, and K. Ozbay. :Ascertaining Viability of WiFi based Vehicle-to-Vehicle Network for Traffic Information Dissemination. In Proc. of IEEE ITSC, 2004

[14] D. Ayala, J. Lin, O. Wolfson, N. Rishe, and M. Tanizaki: Communication Reduction for Floating Car Data-based Traffic Information Systems. In Proc. of Advanced Geographic Information Systems, Applications and Services, 2010

[15] F. Mandreoli, R. Martoglia, W. Penzo, S. Sassatelli: Data Management Issues for Intelligent Transportation Systems . In 18th Italian Symposium on Advanced Database Systems (SEBD 2010), 2010

[16] Y. Yao and J. Gehrke: Query Processing in Sensor Networks. In Proc. of CIDR, 2003

[17] C. Guestrin, P. Bodik, R. Thibaux, M. Paskin, and S. Madden: Distributed Regression: an Efficient Framework for Modeling Sensor Network Data. In Proc. of IPSN, 2004

[18] PTV AG, Stumpfstr. 1 - 76131 Karlsruhe, Germany .
Web site: http://www.english.ptv.de

[19] Eclipse Web site: http://www.eclipse.org/

[20] IEEE 802.11TM WIRELESS LOCAL AREA NETWORKS.
Web site: http://www.ieee802.org/11/