

ALMA MATER STUDIORUM · UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

---

FACOLTÀ DI SCIENZE MATEMATICHE, FISICHE E NATURALI  
Corso di Laurea Triennale in Scienze di Internet

**ALGORITMI DISTRIBUITI  
PER LA GESTIONE  
DEL TRAFFICO VEICOLARE**

Tesi di Laurea in Architettura di Internet

**Relatore:**  
Chiar.mo Prof.  
Rocchetti Marco

**Presentata da:**  
Matteo Fanciulli

**Co-Relatore:**  
Dott.  
Marfia Gustavo

**Sessione II  
Anno Accademico 2010**

*Al vecchio me,  
al nuovo me.*



# Introduzione

Con il crescere del benessere il numero di veicoli in circolazione è costantemente aumentato a differenza dello spazio a disposizione nelle infrastrutture. Scelte politiche, sbagliate, hanno deciso di spostare tutto il traffico commerciale dalla rotaia alla gomma. Inizialmente è apparsa una scelta vincente visto il basso numero di automezzi e l'alto costo della realizzazione di infrastrutture ferroviarie, ma adesso che il numero di autovetture è aumentato esponenzialmente si stanno riscontrando seri problemi nella circolazione stradale.

Con l'avvento della mappatura stradale virtuale è stato possibile ricavare dati completi sui tempi di percorrenza e di congestione delle infrastrutture. Ovviamente la soluzione più ovvia per cercare di evitare la congestione sistemica di alcune strade è la creazione di nuovi percorsi alternativi. La creazione di strade e autostrade in un territorio già altamente popolato, come ad esempio quello italiano, è altamente problematico e costoso visto i vincoli naturali e architettonici. D'altronde però non risolvere il problema può causare paralisi di alcune regioni, come ad esempio è successo in Cina nell'autostrada Pechino-Tibet dove il traffico è rimasto bloccato per dieci giorni[14].

E' iniziata quindi la sperimentazione di sistemi informativi per cercare di sfruttare la rete infrastrutturale presente al massimo delle sue possibilità, ma ci si è scontrati con problemi di diversa natura che ne hanno inficiato il loro utilizzo. Visto il recente propagarsi di soluzioni wireless in ambiente domestico e industriale si è pensato di poter mappare e coordinare tutto il

traffico regionale e nazionale in tempo reale.

Sono nate quindi alcune soluzioni che hanno cercato di implementare un sistema di gestione del traffico veicolare tramite un protocollo V2I<sup>1</sup>, ma che non hanno veramente risolto il problema vista la bassa capillarità delle informazioni.

Vedremo quindi le soluzioni che i più grandi colossi del settore della navigazione satellitare hanno cercato di proporre, con più o meno successo, e perché non sono le soluzioni ottimali alla risoluzione del problema. Mentre invece una soluzione distribuita è il metodo migliore per una gestione capillare, e in tempo reale, del traffico veicolare. Per questo motivo illustrerò il funzionamento dell'algoritmo ATIS<sup>2</sup>, i costi implementativi e gli eventuali problemi di sicurezza.

---

<sup>1</sup>Vehicle to Infrastructure: comunicazione tra un veicolo ed una sede centrale

<sup>2</sup>Advanced Traveler Information Systems

# Indice

<b>Introduzione</b>	<b>i</b>
<b>1 Gestione del traffico</b>	<b>1</b>
1.1 La vecchia gestione . . . . .	1
1.2 La gestione attuale . . . . .	3
1.2.1 Gestione Autostrade s.p.a . . . . .	3
1.2.2 Navigatori satellitari . . . . .	4
1.2.3 Servizi Online . . . . .	16
<b>2 Condizioni delle infrastrutture</b>	<b>25</b>
2.1 Autostrade . . . . .	25
2.2 Ferrovie . . . . .	28
<b>3 I problemi delle tecnologie attuali</b>	<b>31</b>
3.1 Il protocollo RDS-TMC . . . . .	31
3.2 NAVTEQ Traffic Patterns . . . . .	33
3.3 TomTom HD Traffic . . . . .	34
<b>4 Gli algoritmi distribuiti</b>	<b>35</b>
4.1 Le reti VANet . . . . .	36
4.1.1 Il protocollo 802.11p . . . . .	36
4.1.2 L'utilizzo delle reti VANet . . . . .	39
4.1.3 Un esempio di algoritmo ATIS . . . . .	39
4.1.4 Le conseguenze dell'utilizzo di reti VANet . . . . .	42

Conclusioni	43
A Prima Appendice	45
Bibliografia	47

# Elenco delle figure

1.1	Esempio di depliant sulle partenze intelligenti . . . . .	2
1.2	Numero cartelli PMV installati . . . . .	3
1.3	Posizione di alcune celle H3G a Pisa segnalate da alcuni volontari[5] . . . . .	5
1.4	I paesi dove è disponibile il servizio TMC in Europa . . . . .	8
1.5	Il segnale RDS è su una frequenza non udibile dall'orecchio umano . . . . .	10
1.6	Il funzionamento del protocollo TMC . . . . .	11
1.7	Un improbabile raid aereo vicino a Trieste . . . . .	12
1.8	Uno scontro di tori a Grignano . . . . .	13
1.9	I Traffic Patterns a lavoro . . . . .	14
1.10	La congestione del traffico il 22 Novembre 2010 . . . . .	16
1.11	Google Navigator . . . . .	18
1.12	Google Traffic integrato su Google Maps . . . . .	19
1.13	Il servizio OCTOTelematics . . . . .	21
1.14	Google Traffic a sinistra, Autostrade per l'Italia a destra . . . . .	22
2.1	Deficit Infrastrutturale: dati sulle autostrade . . . . .	26
2.2	Logo FS . . . . .	28
2.3	Piani per lo sviluppo dell'alta velocità . . . . .	29
3.1	Attualmente la copertura del segnale RDS-TMC è limitato all'80% del territorio italiano . . . . .	32
4.1	In caso di collisione il nodo D riceverà un segnale corrotto. . . . .	37



4.2	Simulazione del CBF&D . . . . .	38
4.3	Il funzionamento di una struttura I2V all'interno di una rete VANet . . . . .	42

# Elenco delle tabelle

1.1	Legenda Google Traffic . . . . .	22
1.2	Legenda Autostrade per l'Italia . . . . .	23
3.1	Vantaggi e svantaggi protocollo RDS-TMC . . . . .	32
3.2	Vantaggi e svantaggi dei NAVTEQ Traffic Pattern . . . . .	33
3.3	Vantaggi e svantaggi del TomTom Hd Traffic . . . . .	34



# Capitolo 1

## Gestione del traffico

In questo capitolo mostrerò la vecchia e nuova gestione del traffico veicolare in Italia e nel Mondo, con i problemi connessi e le possibili soluzioni. Soluzioni create dal pubblico e dal privato che negli anni si sono succedute e affiancate, ma che non hanno mai risolto a pieno il problema.

### 1.1 La vecchia gestione

I problemi di gestione del traffico si sono presentati in Italia all'inizio degli anni '80 principalmente sulle autostrade durante gli spostamenti di massa dovuti a festività o eventi eccezionali. Per contenere e gestire il traffico si è pensato di proporre le cosiddette partenze intelligenti, ovvero di dividere le partenze in più giorni in maniera da evitare i congestionamenti. Le partenze intelligenti vennero consigliate tramite l'utilizzo di depliant, messaggi radio e Tv.

Principalmente si basavano sull'utilizzo di statistiche e previsioni degli anni precedenti, che potevano essere facilmente sbagliate o non aggiornate costantemente visto che i depliant venivano stampati una volta solamente per tutta l'estate (periodo nel quale avvenivano le congestioni). Dopo qualche anno, nel 1989 [1], visto che le congestioni aumentavano soprattutto a causa di incidenti stradali ed eventi eccezionali fu creato il canale radio Isoradio che ad

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
maggio	M	M	G	V	S	D	L	M	M	G	V	S	D	L	M	M	G	V	S	D	L	M	M	G	V	S	D	L	M	M	G
giugno	V	S	D	L	M	M	G	V	S	D	L	M	M	G	V	S	D	L	M	M	G	V	S	D	L	M	M	G	V	S	
luglio	D	L	M	M	G	V	S	D	L	M	M	G	V	S	D	L	M	M	G	V	S	D	L	M	M	G	V	S	D	L	
agosto	M	M	G	V	S	D	L	M	M	G	V	S	D	L	M	M	G	V	S	D	L	M	M	G	V	S	D	L	M	M	
settembre	D	L	M	M	G	V	S	D	L	M	M	G	V	S	D	L	M	M	G	V	S	D	L	M	M	G	V	S	D		
ottobre	L	M	M	G	V	S	D	L	M	M	G	V	S	D	L	M	M	G	V	S	D	L	M	M	G	V	S	D	L		

Figura 1.1: Esempio di depliant sulle partenze intelligenti

intervalli regolari trasmetteva informazioni sullo stato del congestionamento della rete autostradale. Tecnicamente era una soluzione molto scomoda per vari motivi, primo dei quali la necessità di dover rimanere sintonizzati su di un canale radio costantemente. Ovviamente le notizie non venivano servite in tempo reale, ma ogni trenta minuti, e questo alcune volte rendeva vano il servizio perché magari tra un messaggio e l'altro ci eravamo già bloccati nel congestionamento.

Più avanti nel tempo è stato introdotto il protocollo RDS<sup>1</sup> che permetteva di integrare meglio il servizio Isoradio all'interno degli apparati radio riceventi. La prima vera gestione del traffico in tempo reale di massa l'abbiamo avuta alla fine degli anni '90 con l'introduzione dei cartelli a messaggio variabile<sup>2</sup> introdotti con la Direttiva 03/07/1998 n. 3929 del Ministero dei lavori pubblici [2]. I cartelli PMV furono installati all'inizio del 1999 nelle principali autostrade italiane, e poi in seguito anche in strade extraurbane principali (Tangenziali o Superstrade). Tutte queste tecnologie comunque venivano installate solamente sulle autostrade o strade extraurbane principali, mentre il resto della rete stradale non ne beneficiava. E' da notare quindi che le città non erano servite da tali servizi, lasciando milioni di viaggiatori in balia di loro stessi.

<sup>1</sup>Radio Data System

<sup>2</sup>Da adesso PMV

	1999	2009
 Pannelli in entrata dell'autostrada	155	550
 Pannelli lungo l'autostrada	104	620
<b>TOTALE</b>	<b>259</b>	<b>1.170</b>

Figura 1.2: Numero cartelli PMV installati

## 1.2 La gestione attuale

Ad oggi esistono varie tecnologie per la gestione del traffico, alcune private altre pubbliche, che cercano di coprire tutto il territorio italiano e non solo le strade extraurbane principali come accadeva fino a pochi anni fa.

### 1.2.1 Gestione Autostrade s.p.a

Autostrade s.p.a approfittando del rifacimento del manto stradale negli anni ha approfittato per cablare l'intera rete autostradale con linee dati ad alta velocità<sup>3</sup>. Dopo aver creato questa backbone ha iniziato l'installazione di telecamere IP nei punti critici, in modo di poter monitorare costantemente tutto il traffico. Il centro dati di Autostrade in questo modo telegestisce tutti i cartelloni PMV (anch'essi collegati in rete) in modo da aggiornarli in tempo reale e avvisare i viaggiatori.

Se da una parte la gestione corretta del traffico per Autostrade permette di offrire un migliore servizio, dall'altra potrebbe allontanare clienti. E' da notare infatti che molto spesso nei cartelloni PMV non vengono consigliati percorsi alternativi, ma solamente la possibilità di problemi lungo il tratto

<sup>3</sup>Tramite la controllata Autostrade Telecomunicazioni, venduta nel 2004 a Infracom

autostradale. L'obiettivo principale per Autostrade s.p.a. è far rimanere i clienti all'interno della propria rete in modo da far aumentare il costo del pedaggio. Possiamo dire quindi che per massimizzare il profitto Autostrade s.p.a. deve massimizzare anche il numero di veicoli all'interno della rete. Questa doppia natura dell'azienda può rendere il servizio di gestione del traffico non proprio ottimale per i clienti.

### 1.2.2 Navigatori satellitari

Dopo aver reso disponibile la possibilità di viaggiare con facilità per tutto il mondo, senza conoscere le cartine stradali, l'ultima vera innovazione rimasta è quella di prevedere ed evitare rallentamenti dovuti al traffico. Tutti i maggiori produttori hanno cercato di sviluppare la migliore soluzione al problema, molto spesso adottando tecnologie differenti.

Ho documentato le soluzioni offerte dai tre maggiori produttori di navigatori per avere così un'ampia panoramica: Tom Tom, Garmin e NAVTEQ.

#### Tom Tom HD Traffic

Il servizio HD Traffic è stato lanciato a pagamento ad inizio 2008 in Inghilterra. Per usufruirne è necessario disporre di un navigatore TomTom che supporti la tecnologia LIVE[3].

HD Traffic ottiene le informazioni da 3 fonti:

- Piattaforma Radio RDS-TMC;
- Direttamente dai TomTom in uso agli utenti;
- Da Vodafone.

Per ricevere dati sulla situazione del traffico all'interno del terminale è stato quindi necessario integrare un ricevitore radio per ricevere le informazioni RDS-TMC ed un modulo GPRS. Tramite il modulo radio i terminali ricevono le informazioni gratuite che vengono gestite dagli enti statali, avendo così un'ottima copertura delle principali arterie del paese. Per potenziare il

servizio è stato firmato un accordo con Vodafone che permette a TomTom di analizzare gli spostamenti dei cellulari all'interno della rete cellulare[4]. La rete cellulare urbana è composta da piccoli ripetitori<sup>4</sup> che hanno un raggio di copertura di circa 200-300 metri<sup>5</sup>. Per mantenere un'alta qualità del servizio molto spesso la stessa area è coperta da più celle. Ogni cellulare quindi ha

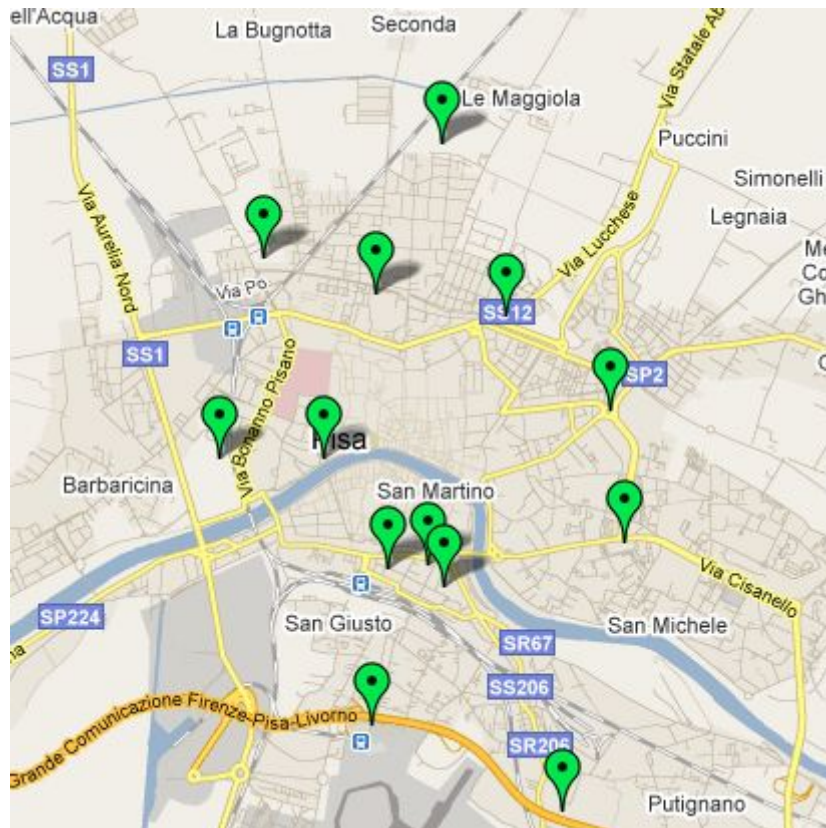


Figura 1.3: Posizione di alcune celle H3G a Pisa segnalate da alcuni volontari[5]

una posizione specifica all'interno della rete. Calcolando le velocità di spostamento tra una cella e l'altra è possibile valutare se un terminale si muove utilizzando un'auto. Avendo accesso a questi dati TomTom incrocia la po-

<sup>4</sup>Chiamati Celle

<sup>5</sup>All'esterno delle città il raggio massimo di un ripetitore può arrivare fino a 31km, ma per ragioni di potenze di trasmissione in città la copertura è ridotta.



sizione dei terminali con la mappa stradale per stimare la congestione del traffico nell'area. Ovviamente in caso di code o forti rallentamenti il sistema non riesce a distinguere se un terminale è in macchina o meno, e per questo il servizio ha i risultati migliori fino a quando i terminali sono in movimento. Vista la presenza di un modulo GPRS all'interno del navigatore è naturale che esso stesso invii informazioni sul proprio spostamento alla centrale Tom-Tom. Incrociando tutti i dati è quindi possibile ottenere un servizio con un'altissima percentuale di copertura. Anche in Italia è presente il servizio HD Traffic da metà 2010 in abbonamento annuale al costo di 39,95 €.

## Garmin - Traffic Message Channel

L'azienda americana Garmin ha deciso di non sviluppare un proprio algoritmo per la gestione del traffico veicolare, ma si è affidata al Forum TMC<sup>6</sup>. Il Forum TMC è nato nel 2002, ma ha reso disponibili i suoi servizi in Europa solamente nel Maggio 2005[6]. Molte aziende del settore si sono legate al forum negli ultimi anni, partendo dalle compagnie automobilistiche fino ad arrivare ai leader nel settore della navigazione satellitare. Il Forum TMC ha di fatto creato un standard per la comunicazione di informazioni sul traffico veicolare, utilizzando e ampliando il protocollo RDS.

### *Il Protocollo RDS*

Radio Data System, o RDS[7], è un protocollo standard utilizzato per trasferire piccole quantità di informazioni tramite le normali frequenze delle trasmissioni FM. In America è anche conosciuto con il nome di Radio Broadcast Data System, o RBDS, e si differenzia dal protocollo europeo solo per alcuni piccoli dettagli.

Dopo circa venti anni di perfezionamento è diventato standard mondiale N 63106 allo IEC<sup>7</sup>. Solo nel 1992 è stata aggiunta la funzione TMC, anche se come abbiamo visto è diventata di uso nel 2005. Il protocollo RDS ha la capacità di trasportare 1187,5 bit al secondo nel subcarrier 57kHz, più che sufficienti per trasportare piccole informazioni più un messaggio di controllo degli errori.

Il protocollo RDS può trasportare vari tipi di informazioni, ognuno dei quali ha una sigla identificativa:

1. **AF**: Alternative Frequencies. E' un messaggio che contiene le frequenze alternative usate dalla stazione radio che ascoltiamo. Questo permette

---

<sup>6</sup>Traffic Message Channel

<sup>7</sup>International Electrotechnical Commission è un'organizzazione internazionale per la definizione di standard in materia di elettricità, elettronica e tecnologie correlate. Molti dei suoi standard sono definiti in collaborazione con l'ISO (Organizzazione internazionale per la normazione).

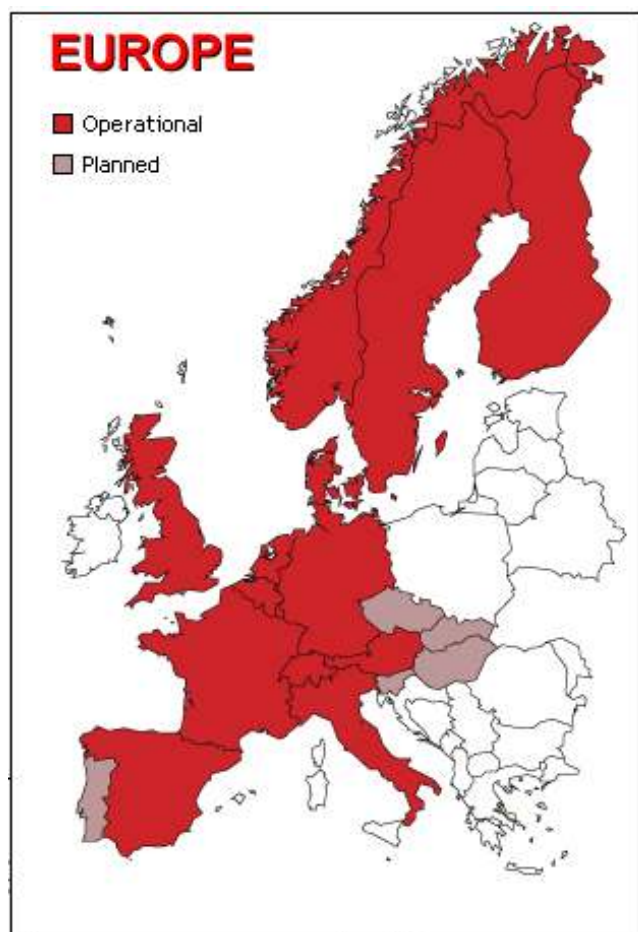


Figura 1.4: I paesi dove è disponibile il servizio TMC in Europa

alla radio di cambiare frequenza nel caso il segnale sia troppo debole.

2. **CT:** Clock Time. Permette di sincronizzare l'orologio di bordo, ma a causa del delay dovuto al mezzo di trasmissione può esserci un errore di +100 ms.
3. **EON:** Enhanced Other Networks. Permette di monitorare altri canali nel caso su di essi venga inviata una trasmissione d'emergenza o con informazioni sul traffico.
4. **PI:** Programme Identification. E' una stringa di 8 caratteri che generalmente identifica il nome della stazione radio che si sta ascoltando.

5. **PTY**: Programme TYpe. Indica il tipo di programma in trasmissione sulla frequenza. Esistono 31 tipi di canale predefiniti. Questi codici vengono usati dalle radio per cercare in automatico stazioni radio che trasmettono lo stesso genere di musica preferita dall'utente. Ad esempio PTY 1 identifica una stazione radio con notiziari, PTY 10 una stazione radio con musica Pop. Il codice 30 e 31 sono utilizzati per segnalare emergenze, come catastrofi naturali.
6. **REG**: Regional. Questo codice identifica le stazioni radio Regionali. In questa maniera l'utente può programmare la propria radio a seconda della regione che visita.
7. **RT**: Radio Text. Questo codice viene utilizzato per trasmettere messaggi di massimo 64 caratteri. Può essere usato per trasmettere pubblicità, slogan o il nome dell'autore della canzone in onda al momento.
8. **TA, TP**:Traffic Announcement, Traffic Programme. Il ricevitore può essere programmato per spegnere il player CD/USB e sintonizzarsi automaticamente sul canale impostato se vi sono notizie sul traffico. Il codice TP è identificativo delle stazioni che trasmettono ad intervalli regolari informazioni sul traffico.
9. **TMC**: Traffic Message Channel. Sono informazioni sul traffico codificate digitalmente. Non tutti gli apparati RDS le possono ricevere, ma è comune l'utilizzo nei navigatori satellitari. In alcuni paesi il canale è cifrato ed è possibile usufruire del servizio solamente dopo aver pagato un abbonamento.

Il segnale RDS viene inviato attraverso le classiche frequenze FM, ma non essendo udibile dall'orecchio umano ci permette di ascoltare le stazioni radio senza subire interferenze. Questo ci ha permesso di sfruttare le strutture tecnologiche pre-esistenti per trasmettere le nuove informazioni.

Per iscriversi al Forum TMC è necessario pagare 4200€ all'anno più 2100€ una tantum, in modo da poter accedere ai tool di sviluppo per integrare nei

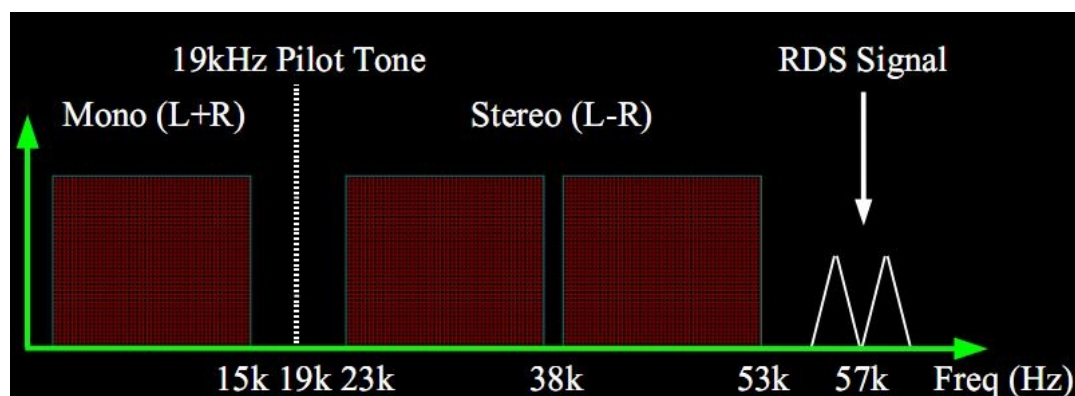


Figura 1.5: Il segnale RDS è su una frequenza non udibile dall'orecchio umano

propri sistemi il protocollo RDS e TMC.

La gestione delle informazioni non è però gestita dal Forum TMC direttamente. In Italia, e in Europa, esistono vari gestori del servizio che generalmente offrono un pacchetto base gratuito ed uno premium a pagamento. Fino a pochi anni fa l'unico gestore per le informazioni sul traffico era RadioUno in collaborazione con il CCISS<sup>8</sup>, mentre adesso è presente sul mercato anche RTL 102.5 in collaborazione con Infoblu. Ovviamente essendo un servizio pubblico RadioUno offre informazioni sul traffico completamente gratuite, al contrario di RTL 102.5 che offre un servizio a pagamento criptando totalmente le informazioni.

La peculiarità del servizio TMC (gratuito o meno) è che essendo le informazioni codificate in maniera standard sono automaticamente interpretate dai sistemi di navigazione nella lingua base impostata dall'utente finale. Questo permette ad un utente in Italia, ma non italiano, di poter seguire senza problemi l'andamento del traffico sul proprio dispositivo.

Il software integrato all'interno dei dispositivi Garmin è interfacciato con il servizio TMC di RTL 102.5.

La gestione delle informazioni all'interno del sistema segue un protocollo rigido e specifico. In Italia il sistema TMC coinvolge direttamente le forze dell'ordine e i gestori di autostrade e tangenziali. Essi infatti una volta avuta

<sup>8</sup>Centro di coordinamento informazioni sulla sicurezza stradale

notizia di un incidente, di un imbottigliamento, o di un possibile problema all'interno della rete stradale sono dovuti a riferirlo al centro CCISS. Questa collaborazione esiste solamente per le autostrade, strade extraurbane principali, tangenziali e strade ad alta affluenza. Una volta che il CCISS (o Infoblu) sono venuti a conoscenza del problema inviano una segnalazione alla stazione radio di competenza che penserà a codificare ed inviare il segnale. La tempestività della segnalazione iniziale è quindi di primaria importanza,

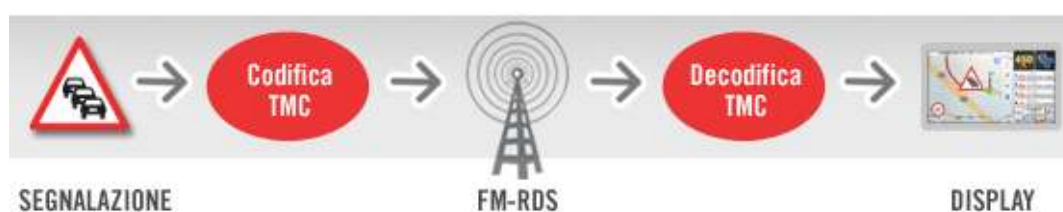


Figura 1.6: Il funzionamento del protocollo TMC

altrimenti essendo un sistema a cascata tutto risulterà bloccato.

L'utilizzo del protocollo RDS-TMC sembra essere quindi una scelta ottimale, visto il bassissimo costo di integrazione nei dispositivi e l'alta affidabilità delle informazioni, essendo gestite direttamente dalle forze dell'ordine o dalle società di gestione. In realtà il sistema è lontano da essere lo stato dell'arte. La collaborazione con il CCISS esiste solamente sui tratti ad alta percorrenza, quindi ci troviamo di fronte ad un'Italia spaccata in due. I tratti ad alta affluenza pienamente coperti dal sistema TMC e il resto completamente scoperto tranne in casi di eventi eccezionali. Se è vero che la maggior parte del traffico è concentrato sulle grandi aorte dell'Italia è anche vero che un cittadino comune magari non è interessato a percorrerle se non per pochi giorni all'anno. Ci troviamo quindi di fronte a una piattaforma che non offre il servizio completo e totale che ci aspettiamo.

Un aspetto da non sottovalutare se parliamo di software per la gestione di informazioni è il **lato della sicurezza**.

Nel 2007 due esperti dell'azienda Inverse Path Ltd.<sup>9</sup> presentarono alla CanSecWest security conference a Vancouver una guida su come compromettere la sicurezza del sistema RDS-TMC spendendo poco più di 100 dollari[8].

Costruendo un piccolo modulatore e demodulatore RDS sono riusciti a infiltrarsi completamente all'interno del servizio. Il protocollo RDS infatti non ha nessun sistema di sicurezza integrato. Le informazioni viaggiano libere e in chiaro nei servizi gratuiti, e cifrate in quelli a pagamento. Molto spesso però anche i terminali che hanno a disposizione i servizi premium ricevono le informazioni dai servizi gratuiti, rendendoli di fatto esposti anche loro a possibili attacchi. Utilizzando quindi un'antenna, un modulatore/demodulatore RDS ed un pc è possibile dirigere il traffico a proprio piacimento. I due esperti hanno mostrato che tramite qualche riga di C è possibile creare un segnale digitale completamente compatibile con il protocollo RDS-TMC. E' stato dimostrato con foto e video che i dispositivi dirottati non notavano nessuna differenza tra il segnale originale e quello pirata.



Figura 1.7: Un improbabile raid areo vicino a Trieste

Se le informazioni RDS-TMC vengono ricevute prima di pianificare un viag-

<sup>9</sup>Andrea Barisani e Daniele Bianco



Figura 1.8: Uno scontro di tori a Grignano

gio il navigatore non mostrerà a video il problema, ma cercherà in automatico di evitarlo. E' quindi paradossalmente possibile pilotare tutte le macchine con dispositivi RDS-TMC verso una direzione specifica senza che l'utente se ne accorga. Ovviamente una notizia del genere ha turbato i membri del Forum TMC, che hanno richiesto a gran voce un intervento del Chairman del Forum[9].

Il Chairman Danny Woolard ha spiegato che fondamentalmente non esiste soluzione a questo problema di sicurezza, ma che comunque trasmettere su frequenze assegnate a terzi è reato e quindi punibile. Le uniche protezioni attuali sono: la cifratura dei dati per i servizi privati e il mantenimento del segreto sulla lista dei codici dei punti GPS (che segnalano il luogo del problema al navigatore).

Dopo questa notizia ha preso ancora più forza l'idea di passare ad uno standard più sicuro come ad esempio il TPEG<sup>10</sup> o il protocollo DirectBand[10] ideato da Microsoft che permette di inviare dati fino a 15 volte in più rispetto all'RDS.

<sup>10</sup>Transport Protocol Experts Group, <http://tpeg.org>



## NAVTEQ Traffic Patterns

L'azienda NAVTEQ propone un'approccio completamente diverso da quello studiato dalle altre case. Come richiama il nome stesso il NAVTEQ Traffic Patterns non è una gestione del traffico pianificato sulle notizie in tempo reale, ma una gestione affidata ai Patterns.

Un Pattern è una soluzione collaudata ad un problema già incontrato. Sostanzialmente l'azienda sostiene che i problemi di traffico affrontati in città e in autostrada seguono regole e frequenze specifiche, ed è quindi possibile aggirarli pianificando il tragitto basandosi sugli storici.

L'azienda, in collaborazione con gli utenti, ha analizzato milioni di ore di percorrenze registrate dai suoi vecchi dispositivi e ne ha estratto i Patterns di guida abituali[11]. Inizialmente il servizio si è basato sul traffico presente negli Stati Uniti d'America, incrociando i dati degli utenti con quelli delle navette/sensori gestiti direttamente da NAVTEQ. Successivamente per aumentare la precisione dei Patterns si è pensato di integrare i dati storici con gli eventi annunciati dai servizi TMC.

NAVTEQ dichiara che 1 percorso su 4 generato dal sistema è alternativo a quello previsto di base, cioè viene creato applicando i Patterns. L'implementazione



Figura 1.9: I Traffic Patterns a lavoro

dei Traffic Patterns è iniziata in Nord America nel 2008, per poi proseguire in via sperimentale in Germania, ed approdare in tutti i terminali europei nel 2009. In un solo anno NAVTEQ dichiara che il suo database è cresciuto del 1200%.

Questa tecnologia richiede un controllo continuo delle condizioni del traffico ed è quindi strettamente legata al ritorno economico che NAVTEQ ottiene vendendo questa features. E' anche necessario che l'utente aggiorni costantemente il proprio terminale, altrimenti si trova ad applicare Pattern datati che invece di risparmiare tempo, ed evitare traffico, hanno potenzialmente l'effetto contrario.

### 1.2.3 Servizi Online

#### Autostrade S.p.a.

Con il lancio nel 2007 del portale web Autostrade per l'Italia S.p.a ha contemporaneamente lanciato un servizio per la visione in tempo reale del traffico sulle tratte autostradali di sua competenza. Il rilevamento dei dati è basato sull'analisi delle centinaia di telecamere disposte lungo tutto il tratto autostradale, mentre l'aggiornamento delle notizie è gestito dalla società Infoblu. E' possibile visionare le informazioni, aggiornate ogni 3 minuti, anche attraverso smartphone di ultima generazione installando il software Infoblu Traffic.

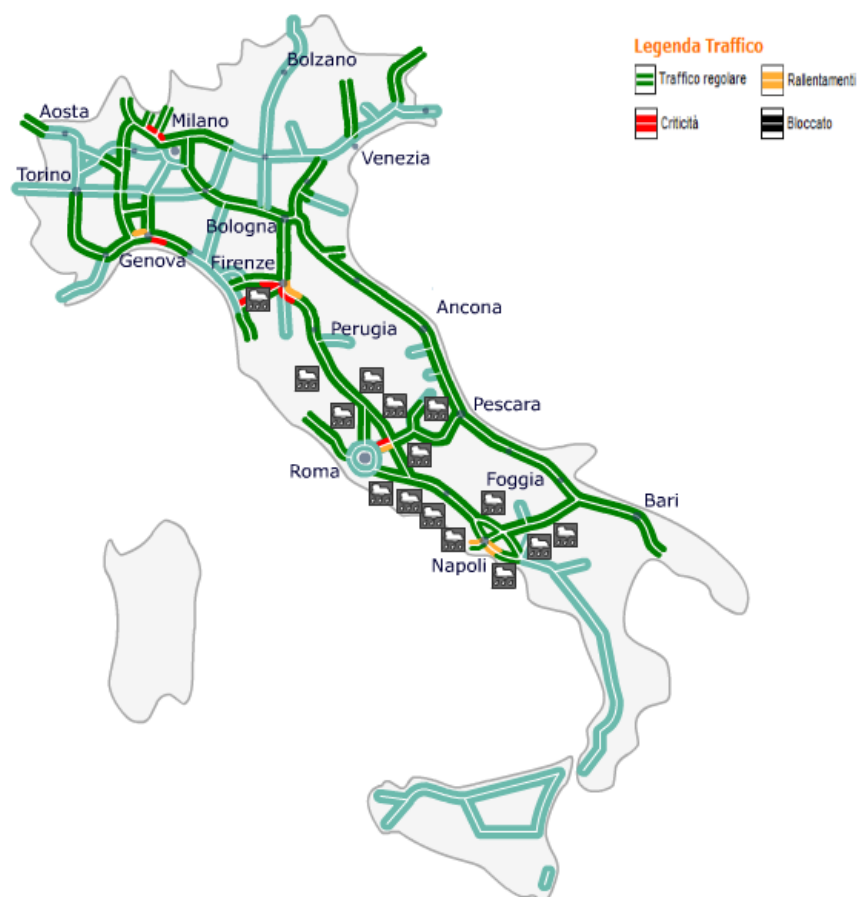


Figura 1.10: La congestione del traffico il 22 Novembre 2010

### Google Traffic e Google Navigator

L'8 febbraio 2005 Google lancia il suo servizio gratuito Google Maps derivato del prodotto Google Earth<sup>11</sup>. Google Maps permette agli utenti di poter visionare immagini riprese dal satellite sovrapposte alle mappe stradali del posto. Google Navigator è stato la naturale evoluzione del servizio Google Maps facendo diventare i PDA dotati di GPS dei navigatori satellitari al 100%.

Il software è una piccola applicazione che non contiene tutti i dati e le mappe dell'Italia (e del Mondo), ma ogni volta che viene creato un nuovo percorso Google Navigator accede al database centrale e scarica le informazioni necessarie per completare la navigazione fino alla destinazione finale; ad ogni cambio di rotta è quindi necessario ricaricare le nuove informazioni. Ovviamente per l'accesso ai database online è necessaria una connessione ad internet, per questo sono svantaggiati i possessori di PDA che hanno un contratto internet a consumo.

Contemporaneamente al lancio di Google Navigator è stato presentato il servizio Traffic. Google Traffic è un'estensione, dell'ormai collaudato Google Maps, che permette di sovrapporre alla mappa stradale l'attuale condizione del traffico nella zona. Per il lancio del servizio Traffic si è aspettato il lancio del software Google Navigator per poter usufruire della sinergia tra i due componenti.

Per garantire il servizio Traffic è necessaria l'analisi dei dati in tempo reale provenienti dai sensori disposti sulle strade. Ovviamente l'accesso a tali risorse è a pagamento a meno che non si trovi un metodo alternativo stimare le condizioni del traffico. In un primo periodo Google ha creato una fitta rete di collaborazioni per l'accesso a tali dati da aziende esterne, in modo da poter garantire un servizio minimo e portare nuovi utenti nella sua piattaforma. Una volta che l'utente decide di aver accesso alle informazioni sul traffico tramite Google Navigator è costretto ad inviare in maniera anonima i propri dati GPS a Google. Quindi Google in un secondo momento ha

---

<sup>11</sup>Google Earth è un prodotto derivato dall'acquisito nel 2004 della Keyhole Inc



Figura 1.11: Google Navigator. Il led in basso a sinistra indica la congestione del traffico nel percorso. A seconda della congestione nel tragitto può essere: verde, giallo e rosso

avuto accesso ad una grande quantità di informazioni registrate dagli utenti completamente gratuite.

L'integrazione dei dati acquistati con quelli degli utenti ha permesso di aumentare ancora di più la copertura del servizio, che ha a sua volta invogliato più persone ad accedere alla piattaforma, generando così una spirale crescente di informazioni sul traffico. La piattaforma attualmente è in beta e la copertura totale delle strade ad alto traffico non è disponibile in tutte le nazioni, ma solamente in: Italia, Francia, Inghilterra e USA. Negli USA la piattaforma Traffic integra anche i dati inviati dalle piattaforme RDS-TMC. In alcune nazioni dove il servizio non copre le strade ad alta viabilità è comunque possibile trovare la sua presenza in molte delle città principali.

I dati non sono acquistati da Google dalle società di servizi del posto, ma sono completamente generati dagli utenti. Per questo motivo molti tratti sono scoperti e la presenza di informazioni è per lo più presente in tratti di strada ad altissima affluenza.



Figura 1.12: Google Traffic integrato su Google Maps

## OCTOTelematics

OCTOTelematics è leader nello sviluppo di soluzioni telematiche in campo assicurativo utilizzando dei moduli GPS modificati per garantire la posizione del veicolo in ogni momento. Avendo a disposizione tale informazione le assicurazioni possono creare pacchetti personalizzati basandosi sull'utilizzo effettivo del veicolo. OCTOTelematics fa parte del gruppo METASYS-TEM che conta più di 1000 dipendenti ed entrate superiori ai 250 milioni di euro l'anno. Ad oggi circa 32 società assicurative utilizzano i servizi di OCTOTelematics come: Unipol, Generali, Axa, Uniqa, Sara Assicurazioni, Lloyd Adriatico (Gruppo Allianz), Reale Mutua, Linear, Norwich Union Insurance, Mapfre, Uniqa.

Ogni veicolo è dotato di un modulo OBU che è minicomputer dotato di: un modulo GPS, un modulo GRPS, un accelerometro a 3 assi e una batteria per garantire l'operatività anche in caso di incidenti gravi. Nel 2008 sono state stimate in circa 600.000 automobili in Italia che utilizzano tale servizio. Tramite il modulo GPS vengono registrate varie informazioni (posizione, velocità, tragitto) che ogni 12 minuti (o 100km) vengono inviate al centro di controllo. Oltre all'utilizzo di tali dati a scopo informativo si è pensato di utilizzarli per la stima del traffico veicolare all'interno della rete stradale. OCTOTelematics ha così creato un nuovo metodo per processare rapidamente la grande mole di dati (si stima circa 20 milioni ogni giorno) chiamato Large Scale Floating Car Data System<sup>12</sup>.

L'algoritmo è diviso in tre parti:

- Incrociare la posizione del GPS con la carta stradale in modo da geolocalizzare il veicolo;
- Determinare la velocità del veicolo all'interno del tracciato;
- La congestione o meno viene stimata basandosi sulla velocità istantanea e la velocità media di percorrenza pesata esponenzialmente con la

---

<sup>12</sup>LSFCD

distanza di tempo che esiste tra le macchine che passano per il tratto stradale.

L'algoritmo è stato testato a lungo all'interno del Grande Raccordo Anulare, in collaborazione con Autostrade per l'Italia s.p.a. e la società ANAS<sup>13</sup>. Dopo il periodo di prova è stato creato un portale web che, utilizzando le informazioni dei moduli OBU analizzate dal LSFCD, genera una mappa del traffico italiano ogni 3 minuti[20].

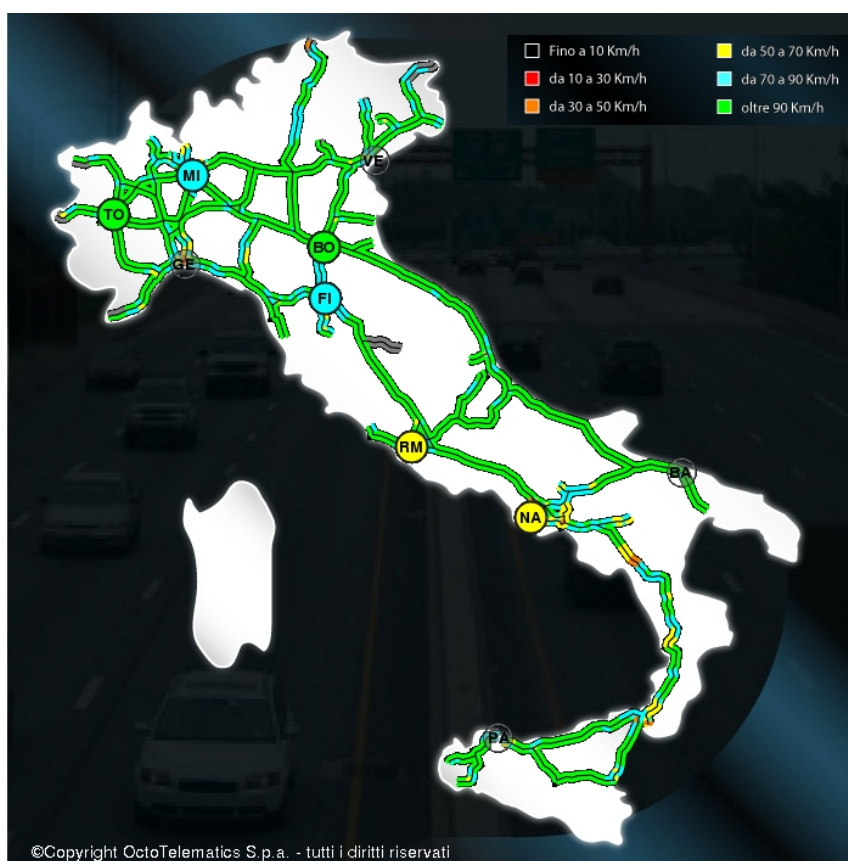


Figura 1.13: Il servizio OCTOTelematics

<sup>13</sup>Azienda Nazionale Autonoma delle Strade



## Note

Le immagini 1.09 e 1.11 sono state catturate in contemporanea.



Figura 1.14: Google Traffic a sinistra, Autostrade per l'Italia a destra

Come possiamo notare i due servizi hanno due proiezioni diverse del traffico in Italia, nonostante sia monitorato in tempo reale. Confrontiamo allora le legende dei due servizi.

Google Traffic	
Verde	Almeno 80Km/h
Giallo	Tra 40 e 80 Km/h
Rosso	Meno di 40Km/h
Nero a pallini rossi	Traffico bloccato

Tabella 1.1: Legenda Google Traffic

Nel servizio Autostrade per l'Italia non esiste una legenda dettagliata come quella di Google, ma una più generica.

Autostrade per l'Italia	
Verde	Traffico regolare
Giallo	Rallentamenti
Rosso	Criticità
Nero	Traffico bloccato

Tabella 1.2: Legenda Autostrade per l'Italia

E' interessante notare che per Autostrade per l'Italia andare a meno di 80km/h in autostrada è da considerarsi regolare.



## Capitolo 2

# Condizioni delle infrastrutture

In questo capitolo saranno analizzate le problematiche legate al potenziamento delle infrastrutture in Italia.

### 2.1 Autostrade

Fra i diversi fattori che frenano lo sviluppo e la competitività del nostro Paese è la carenza di infrastrutture. Un deficit iniziato a partire dagli anni '90 che oggi scontiamo soprattutto in visione di un mercato dove molti dei nostri partner commerciali non sono solo italiani ma europei. Una situazione grave che condiziona fortemente lo sviluppo del mercato e che costringe le aziende a sobbarcarsi costi aggiuntivi rispetto alla diretta concorrenza, come nel caso della logistica la cui incidenza ha un valore superiore al 25% all'interno della produzione[15].

Uno dei settori maggiormente colpiti dal *deficit* infrastrutturale è certamente quello dei trasporti, dove strozzature e sottodimensionamenti di alcuni tratti producono diseconomie. Il trasporto stradale svolge un ruolo primario tra le varie modalità, sostenendo quote di gran lunga superiori alle effettive capacità. Basti pensare che il 50% del traffico veicolare è gestito dalle autostrade, che costituiscono solamente l'1% dell'intera viabilità nazionale.

Proprio le autostrade sono il simbolo del problema: all'inizio degli anni '70 er-

aviamo *leader* in Europa come rapporto Km/abitanti mentre adesso soffriamo un deficit rispetto agli altri paesi del 63%.

Paesi	Popolazione Abitanti (x 1.000)	Parco circolante Totale veicoli (x 1.000)	Autostrade (km)	Rete autostradale Km di autostrade per mln abitanti	Veicoli per km di autostrade
Francia	60.743	39.185	10.777	177,4	3.636
Germania	82.485	48.663	12.649	153,3	3.847
Portogallo	100.557	7.548	2.358	223,4	3.201
Spagna	43.389	25.100	11.432	263,5	2.196
Media (esclusa Italia)	-	-	-	188,7	3.238
Italia	57.471	38.453	6.553	114,0	5.868

Dati popolazione e parco circolante anno 2005. Dati rete autostradale ottobre 2006

Parco circolante Portogallo anno 2003. Rete autostradale Spagna anno 2005

Fonte: elaborazione Autostrade per l'Italia su dati Aci, Eurostat, Istat, Ministeri dei Trasporti Nazionali

Figura 2.1: Deficit Infrastrutturale: dati sulle autostrade

Nel decennio in corso il problema delle infrastrutture è stato affrontato con maggiore determinazione a livello sovranazionale. L'Unione Europea ha infatti approvato i nuovi orientamenti comunitari per lo sviluppo di reti Trans-Europee di Trasporto. Il Parlamento Europeo ha approvato 30 progetti prioritari, alcuni dei quali di grande rilevanza per l'Italia, come:

- I corridoi I "Berlino-Palermo" e V "Lisbona-Kiev" (che interessa la Lombardia);
- Il corridoio due mari che connette il porto di Genova con quello di Rotterdam.

Autostrade per l'Italia, e le sue controllate, hanno investito 12 miliardi di euro per adeguare la rete alle crescenti esigenze del traffico, soprattutto l'investimento è atto a decongestionare la rete in prossimità delle principali aree metropolitane. Le autostrade vicino alle aree metropolitane molto spesso vengono utilizzate come tangenziali da milioni di lavoratori ogni giorno, e questo causa blocchi del traffico in orari stabiliti (principalmente entrata e uscita dal posto di lavoro).

La realizzazione di grandi opere comporta ingenti investimenti ed è noto che le

lungaggini burocratiche molto spesso trattengono gli investitori preoccupati di immobilizzare i propri capitali per molto tempo, ancora prima di iniziare la costruzione. Queste lungaggini molto spesso sono dovute alla necessità di coordinare molti livelli di burocrazia (comuni, regioni, enti...) prima di poter iniziare la costruzione vera e propria. E' richiesto allo Stato di diventare da investitore a regolatore/coordinatore delle varie entità locali. Per l'investitore privato è importante operare in un quadro di chiarezza, trasparenza burocratica e che una volta completato e portato a definizione il progetto non sia più rimesso in discussione. Per adesso l'unico coordinatore efficiente è il Parlamento Europeo che obbliga gli stati ad attuare le proprie decisioni, pena il pagamento di ingenti sanzioni.

## 2.2 Ferrovie

Fino al 2000 le ferrovie italiane erano un'unica società pubblica, chiamata Ferrovie dello Stato. A seguito di una direttiva europea<sup>1</sup> è stato necessario per lo stato italiano dividere la realtà dei servizi da quella infrastrutturale. Venne quindi creata la compagnia Trenitalia per la gestione dei treni e la Rete Ferroviaria Italiana per il mantenimento/costruzione delle infrastrutture. Questa direttiva europea è stata promulgata per permettere l'accesso alle infrastrutture chiave anche a soggetti terzi e quindi creare un mercato competitivo. Il primo treno privato è partito il 15 novembre 2010 coprendo la tratta Torino-Milano, lanciato dalla società Arenaways.



Figura 2.2: Con la divisione tra infrastrutture e servizi c'è stato anche il cambio di logo: a sinistra il vecchio a destra il nuovo

In Italia esistono due realtà distinte nel trasporto ferroviario: quello ad alta velocità per lunghi tragitti e quello a "bassa velocità". Trenitalia negli ultimi anni ha potenziato principalmente il servizio ad alta velocità chiamato Freccia Rossa[16]. Si è quindi allargata ancora di più la forbice tra la qualità del trasporto pendolare/regionale e quello business a lunga percorrenza. Di fatto Trenitalia invece che spostare il viaggio dei pendolari sui treni, ha deciso di competere con le compagnie aeree sui voli nazionali. Non sono previsti grandi piani per lo sviluppo delle infrastrutture regionali, mentre sono in continua evoluzione quelle ad alta velocità. Non possiamo quindi sperare in una diminuzione del traffico veicolare nei prossimi anni dovuto allo

---

<sup>1</sup>Direttiva CEE N 440 del 1991

spostamento su rotaia, è quindi necessario trovare una soluzione migliore di quelle proposte fino ad oggi.

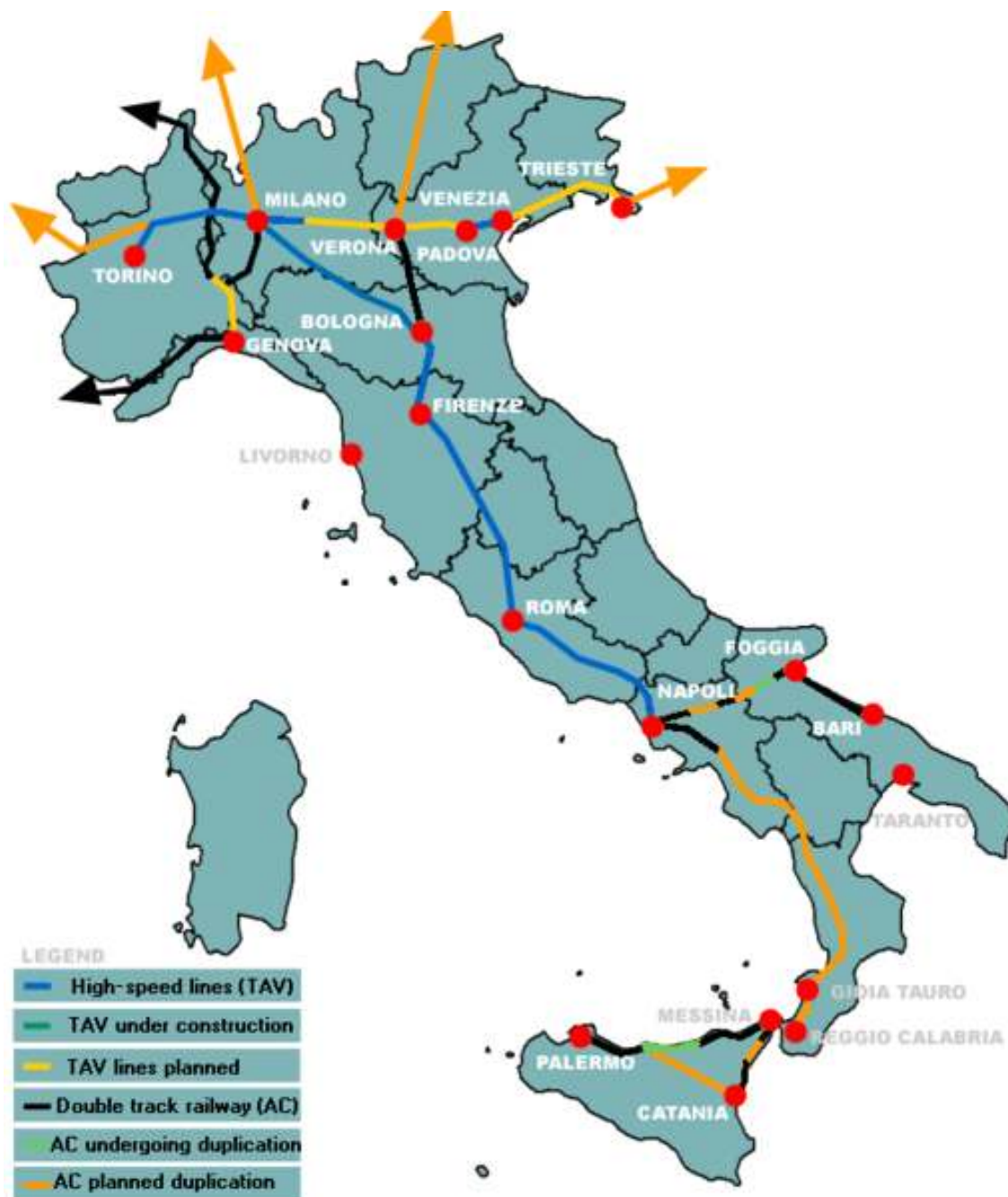


Figura 2.3: Piani per lo sviluppo dell'alta velocità





# Capitolo 3

## I problemi delle tecnologie attuali

### 3.1 Il protocollo RDS-TMC

Il protocollo RDS-TMC come dimostrato in precedenza<sup>1</sup> soffre di gravi falle di sicurezza, ma non è il solo problema. L'utilizzo di tale protocollo per la navigazione è consigliato solo in strade ad alta percorrenza (autostrade, tangenziali...), infatti la maggior parte delle società affiliate non offrono trasmissioni di informazioni su strade secondarie. E' quindi tagliato fuori la maggior parte del traffico, visto che solo il 50% delle autovetture utilizza strade ad alto scorrimento ed esistono luoghi non raggiunti dal segnale radio<sup>2</sup>.

Un importante aspetto che penalizza il protocollo RDS-TMC è la scelta di utilizzare un tipo di comunicazione Infrastructure To Vehicle<sup>3</sup>. Questa scelta implementativa inficia la velocità di propagazione dell'informazione all'interno della rete veicolare. Supponiamo la presenza di un incidente all'interno della rete autostradale, l'informazione RDS prima di partire deve attendere: l'arrivo in luogo della polizia, la conferma al centro CCISS, la sua codifica

---

<sup>1</sup>Capitolo 1.2 pagina 11

<sup>2</sup>Fonte: <http://www.tmcitaly.it/?q=it/node/9>

<sup>3</sup>I2V



Figura 3.1: Attualmente la copertura del segnale RDS-TMC è limitato all'80% del territorio italiano

e successiva trasmissione alla stazione Radio (a meno che non sia avvenuto sotto lo sguardo di una telecamera di controllo). Minuti preziosi che possono creare disagio soprattutto in autostrada dove le possibilità di cambio di rotta sono dettate dalla presenza o meno di un casello d'uscita. Per risolvere i problemi di sicurezza il Forum TMC ha iniziato la sperimentazione del protocollo TPEG che supporta la piena criptazione del segnale.

Vantaggi	Svantaggi
Basso costo infrastrutturale	Lentezza nell'acquisizione delle informazioni
Basso costo manutentivo	Gravi problemi di sicurezza
	Bassa copertura

Tabella 3.1: Vantaggi e svantaggi protocollo RDS-TMC

## 3.2 NAVTEQ Traffic Patterns

L'utilizzo dei Traffic Patterns è abbastanza controverso. La scelta di percorsi alternativi è sicuramente il modo principale per bilanciare il traffico veicolare all'interno della rete, ma l'analisi della congestione deve essere effettuata su dati raccolti in tempo reale. E' possibile infatti che se molte persone utilizzano un navigatore con Traffic Pattern abilitato si ritrovino tutte all'interno dello stesso corridoio calcolato, rendendo di fatto una strada libera congestionata.

Il calcolo dei Traffic Patterns non è in tempo reale, ma gestito dai centri NAVTEQ in remoto, ed è quindi necessario aggiornare costantemente il terminale. Grossi vantaggi esistono per gli early adopter di tale tecnologia che possono sfruttare al pieno i nuovi percorsi calcolati senza incappare in possibili congestioni. E' addirittura da presupporre che un uso in larga scala di tali Pattern li possa rendere inutili, in quanto tutto il traffico viene bilanciato all'interno della rete annullando di fatto tutti i benefici dell'utilizzo di strade poco sfruttate.

Vantaggi	Svantaggi
Nessun costo infrastrutturale	Necessità di aggiornare spesso il terminale
Facilità di utilizzo per l'utente	Alto costo manutentivo del servizio
	Possibile obsolescenza a lungo termine

Tabella 3.2: Vantaggi e svantaggi dei NAVTEQ Traffic Pattern

### 3.3 TomTom HD Traffic

A mio parere l'algoritmo implementato da TomTom è il più completo attualmente sul mercato. La copertura RDS, le statistiche via tracking dei telefoni Vodafone e l'invio di informazione dai terminali stessi rendono la copertura, e l'accuratezza della notizia, la migliore sul mercato.

E' anche vero però che il servizio è soggetto ad abbonamento annuale di 39,95€, mentre tutti gli altri navigatori offrono i loro servizi gratuitamente.

Il prezzo del servizio è sicuramente dovuto alla necessità di coprire i costi dell'infrastruttura GPRS, infatti i navigatori scambiano messaggi con la centrale operativa sia per comunicare la situazione del traffico intorno a loro, sia per ricevere notizie sul congestionamento nel tragitto pianificato.

Vantaggi	Svantaggi
Grande quantità di informazioni	Costo annuale di abbonamento
Supporto vario di servizi e protocolli	Alto costo delle partnership
Il servizio è quasi autonomo	

Tabella 3.3: Vantaggi e svantaggi del TomTom Hd Traffic

# Capitolo 4

## Gli algoritmi distribuiti

Le architetture dei sistemi informativi si sono sviluppate e evolute nel corso degli anni passando da schemi centralizzati a modelli distribuiti e diffusi, maggiormente rispondenti alle necessità di decentralizzazione e di scalabilità. Le tecnologie utilizzate finora per la gestione del traffico veicolare utilizzano strutture I2V rendendo quindi necessaria la presenza di un soggetto terzo per la gestione del servizio. Se da una parte la presenza di un soggetto terzo garantisce stabilità e sicurezza all'interno di un network informativo dall'altra rallenta il flusso dei dati e la loro interscambiabilità.

Nel campo della gestione del traffico veicolare molto spesso la velocità di propagazione dell'informazione è vitale per evitare eventuali congestioni gravi o incidenti a catena. Vista l'affermazione negli ultimi anni dei sistemi distribuiti si è pensato di spostare la struttura informativa delle reti veicolari da I2V a Vehicle to Vehicle<sup>1</sup> venendo così a creare un flusso dati diretto tra le autovetture senza passare da soggetti terzi. Il passaggio ad una struttura V2V creerà una rete intraveicolare chiamata VANet<sup>2</sup>, rendendo di fatto le autovetture gli unici nodi all'interno della rete.

---

<sup>1</sup>V2V: cioè da veicolo a veicolo

<sup>2</sup>Vehicular Ad-Hoc Network. Le reti VANet sono una sottocategoria delle reti MANet

## 4.1 Le reti VANet

Lo studio sulle reti VANet è ormai allo stadio finale ed è una delle branche più promettenti tra le reti MANet<sup>3</sup>. Come protocollo per l'invio delle informazioni è stato scelto una versione modificata dell'802.11a chiamato 802.11p. Il protocollo 802.11p attualmente è in fase draft, cioè ancora non è riconosciuto come standard dalla IEEE<sup>4</sup> ma alcuni parametri chiave sono già stati stabiliti.

### 4.1.1 Il protocollo 802.11p

Il segnale radio sarà prodotto da delle versioni modificate di chipset del 802.11a. Il segnale viaggerà sulla frequenza 5.9 Ghz con un'ampiezza di banda minima di 3 Mbit/s e massima di 27 Mbit/s. La maschera di trasmissione che gestisce il range massimo di emissione fuori banda del segnale sarà più stringente in modo da limitare interferenze su canali adiacenti. Trattandosi di reti veicolari, e non domestiche come per l'802.11a, il segnale sarà molto più potente ed avrà una potenza massima di trasmissione di 2 Watt rendendo così possibile una comunicazione tra due nodi distanti massimo 1km. Il livello MAC del protocollo è ovviamente basato su quello CSMA/CA dell'802.11 ma si differenzia in alcuni punti.

1. Non esisteranno scansioni di ricerca di Access Point;
2. Sarà possibile per un nodo trasmettere segnali di emergenza indicando come proprio BSSID<sup>5</sup> FF:FF:FF:FF:FF:FF;

---

<sup>3</sup>Mobile ad hoc network

<sup>4</sup>The Institute of Electrical and Electronics Engineers, è un'associazione internazionale di scienziati professionisti che ha l'obiettivo di promuovere e standardizzare le tecnologie

<sup>5</sup>Basic Service Set ID: è il nome del terminale a livello applicativo e corrisponderà al MAC Address della scheda.

3. Sarà possibile ai terminali associarsi ad un WBSS<sup>6</sup> mediante l'invio di un Beacon, nel quale saranno indicati i *servizi offerti* e un BSSID casuale identificativo

Il protocollo 802.11p prevede un alternanza di ascolto e sharing. Alternativamente il terminale ogni 50 msec passerà dal Control Channel CCH, dove vengono inviati i messaggi di emergenza, al Service Channel SCH dove invece avverranno tutte le comunicazioni WBSS. Per evitare sovrapposizioni di segnali all'interno di una VANet viene attuata una politica CSMA/CA<sup>7</sup> simile all'EDCA<sup>8</sup> del protocollo 802.11e. Un nodo prima di iniziare la trasmissione attenderà un periodo di assenza di segnale superiore all'AIFS<sup>9</sup> impostato, più un piccolo quanto di tempo casuale. Se nessuna stazione radio ha iniziato la trasmissione allora potrà procedere al broadcasting. L'AIFS sarà deciso da un sistema di gestione delle priorità, in modo da permettere a nodi con informazioni importanti di trasmettere il prima possibile.

Un problema ricorrente nella trasmissione di dati tra unità mobili è quello della collisione di pacchetti. Essendo poco numerosi i canali a disposizione per la trasmissione di informazioni è possibile che due nodi entrino in collisione e si annullino a vicenda. Sono state quindi pensate delle strategie per l'ottimizzazione dell'invio di pacchetti in reti mobili.

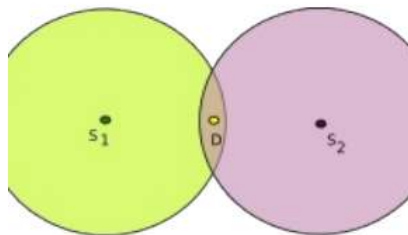


Figura 4.1: In caso di collisione il nodo D riceverà un segnale corrotto.

---

<sup>6</sup>Wave Basic Service Set

<sup>7</sup>Carriers Sense Multiple Access/ Collision Avoidance

<sup>8</sup>Enhanced Distributed Channel Access

<sup>9</sup>Arbitration InterFrame Space

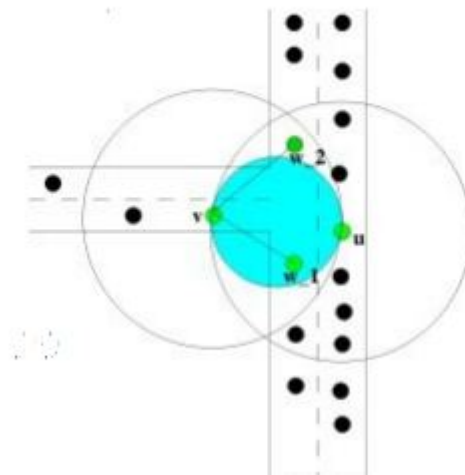


Un metodo per evitare lo *storming*<sup>10</sup> è l'implementazione dell'algoritmo Contention Based Forwarding and Dissemination. Durante il broadcasting la sorgente inserisce le proprie coordinate geografiche all'interno del pacchetto, in modo da permettere ad ogni ricevente di sapere qual'è la distanza tra di loro. Acquisita questa informazione il ricevente prima di trasmettere il messaggio in broadcasting dovrà attendere una quantità di tempo tanto più breve quanto maggiore è la distanza tra i nodi.



Figura 4.2: Simulazione del CBF&D

In un contesto urbano viene preferito un nodo che si trova vicino ad un incrocio in modo da evitare il più possibile coperture radio dovute alle infrastrutture circostanti.



<sup>10</sup>Ripetizione sovrapposta dello stesso segnale

### 4.1.2 L'utilizzo delle reti VANet

Dopo aver deciso le regole di gestione della rete è possibile creare infiniti servizi per essa, dalla gestione del traffico veicolare fino all'intrattenimento. L'obiettivo primario del finanziamento, e creazione, della rete è sicuramente quello di poter gestire al meglio la sicurezza stradale e migliorare le condizioni del traffico. Allo stesso tempo è possibile integrare servizi privati per finanziare i costi di sviluppo e implementazione.

Finora il limite di reattività e copertura nella propagazione di informazioni stradali era dovuta all'utilizzo di una struttura terza per la gestione dei dati, con l'implementazione di un protocollo 802.11p è possibile aumentare esponenzialmente l'efficacia di tali servizi. Durante il periodo di sperimentazione del protocollo si sono succeduti vari studi su quale fosse il miglior algoritmo ATIS<sup>11</sup>. L'obiettivo principale di un algoritmo ATIS è quello di rendere ogni veicolo capace di determinare la presenza di traffico e trovare un modo efficace ed efficiente per propagare tale informazione.

### 4.1.3 Un esempio di algoritmo ATIS

Nel settembre 2010 è stato pubblicato da Roccetti Marco e Marfia Gustavo, ricercatori dell'Università di Bologna, un possibile algoritmo ATIS per il rilevamento delle congestioni all'interno della rete stradale [12].

Il problema principale per la creazione di un algoritmo distribuito ATIS è quello di far capire al veicolo di essere in un tratto di strada congestionato senza chiedere ad un supervisore esterno, come è avvenuto finora con l'utilizzo di infrastrutture I2V.

Data una strada  $R$  e un tempo di percorrenza in condizioni normali  $T^*$ , si dirà che la strada è congestionata se il tempo di percorrenza del veicolo, e di quelli seguenti in un intervallo di tempo  $S$  (Span), è maggiore di  $T^*$ . Se la maggior parte dei veicoli (stima 80%) all'interno dello span  $S$  hanno tempi di percorrenza maggiori di  $T^*$  allora il tratto è congestionato.

---

<sup>11</sup>Advance Traveler Information Systems: Gestione avanzata delle informazioni stradali

Viceversa se la maggior parte dei veicoli all'interno dello Span hanno un tempo di percorrenza minore, o uguale, di  $T^*$  allora il tratto non è congestionato. La scelta dell'80% come misura della congestione è solamente indicativa. Per trovare il limite di congestione della rete  $T^*$  basta applicare questa formula:

$$(T_1^*, T_2^*) = (T_1, T_2) \text{ s.t.} \\ \left\{ \max_{T_1, T_2} \sum_{(i,j) \in P \times P} I_{HC_{T_1}}(i,j) + \right. \\ \left. + I_{NC_{T_2}}(i,j) + \right. \\ \left. - I_{N1_{T_1}}(i,j) + \right. \\ \left. - I_{N2_{T_2}}(i,j) \right\}.$$

Dove:

- $T_1^*$ : è il tempo oltre il quale la rete è congestionata;
- $T_2^*$ : è il tempo sotto il quale la rete non è congestionata;
- $I_{HC_{T_1}}(i,j)$ : è la funzione indicatrice di una coppia di veicoli (i,j) che ha trovato congestione all'interno di R;
- $I_{NC_{T_2}}(i,j)$ : è la funzione indicatrice di una coppia di veicoli (i,j) che NON ha trovato congestione all'interno di R;
- $I_{H1_{T_1}}(i,j)$ : è la funzione indicatrice di una coppia di veicoli (i,j) nella quale il primo veicolo ha trovato congestione e il secondo no;
- $I_{H2_{T_2}}(i,j)$ : è la funzione indicatrice di una coppia di veicoli (i,j) nella quale il primo veicolo NON ha trovato congestione e il secondo si;

Nella sperimentazione è risultato che il tempo  $T_1^*$  e  $T_2^*$  differiscono in media di solo il 3%, ed è quindi possibile assimilarli in un unico  $T^*$ . Una volta in possesso di  $T^*$  è possibile stimare la presenza o meno di congestione all'interno di un tratto stradale, analizzando le informazioni ricevute dai nodi.

Per verificare la presenza di congestionamento in un periodo S:

$$\frac{\sum_{(i,j) \in P \times P} I_{HC_{T_1^*}}(i,j)}{\sum_{(i,j) \in P \times P} I_{HC_{T_1^*}}(i,j) + \sum_{(i,j) \in P \times P} I_{N1_{T_1^*}}(i,j)} \times 100\% \geq 80\%.$$

Per verificare la non congestione invece:

$$\frac{\sum_{(i,j) \in P \times P} I_{NC_{T_2^*}}(i,j)}{\sum_{(i,j) \in P \times P} I_{NC_{T_2^*}}(i,j) + \sum_{(i,j) \in P \times P} I_{N2_{T_2^*}}(i,j)} \times 100\% \geq 80\%.$$

Dove per P×P intendiamo l'insieme di macchine (Platoon) che appartengono allo stesso spazio di tempo S.

L'utilizzo di questo algoritmo è quindi completamente privo di un soggetto terzo regolatore. Le macchine all'interno della VANet anche se non sono dotate di un database precedente che indica i T\* ottimali possono apprendere semplicemente rimanendo in ascolto. E' stato calcolato che utilizzando un tipo di trasmissione broadcasting in 150 millisecondi l'informazione viaggia per 8 Km rimbalzando da macchina a macchina. Ovviamente per la ripetizione del segnale sono necessarie delle macchine in mezzo come ripetitori, ma nel caso non vi fossero è ovvio pensare che non ci siano problemi di traffico veicolare. La sperimentazione ha inoltre fatto notare una discrepanza tra il servizio offerto da Google e i dati rilevati dall'algoritmo ATIS. Questo è il vero punto di forza di un algoritmo distribuito direttamente all'interno di una rete VANet, la certezza che le informazioni siano in tempo reale e le più accurate possibili.

#### 4.1.4 Le conseguenze dell'utilizzo di reti VANet

La struttura fortemente decentralizzata della rete è un punto di forza e debolezza del sistema stesso. Se da una parte garantisce un servizio di copertura delle informazioni altamente capillare, dall'altra impedisce di esercitare un controllo su di essa. Come abbiamo visto i prodotti attuali cercano sempre di avere una gestione controllata delle informazioni in modo da poter garantire una certa forma di potere sull'utente. La totale decentralizzazione è vista come una minaccia a tutti i servizi I2V, visto che la loro presenza non risulterebbe più necessaria.

E' però necessario ricordare l'esperienza passata con il protocollo RDS. Un servizio come quello del traffico veicolare è altamente strategico per la sicurezza pubblica e pensare di lasciarlo completamente scoperto da controlli è impensabile. Se gli algoritmi ATIS venissero implementati per la trasmissione di dati in chiaro un soggetto malintenzionato potrebbe facilmente corrompere la rete d'informazioni. E' necessario pensare ad un tipo di protezione della rete e dei suoi dati. Per questo tipo di servizio è stato pensato[13] di creare delle Certification Authority che gestiscono la sicurezza della rete. In questo campo le società private potrebbero investire per portare tutti i partecipanti all'utilizzo delle CA, rendendo di fatto ancora una volta necessaria la presenza di una struttura I2V.

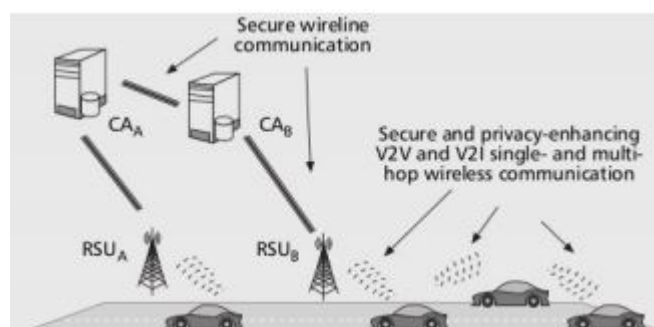


Figura 4.3: Il funzionamento di una struttura I2V all'interno di una rete VANet

# Conclusioni

Dopo un decennio di sperimentazioni le reti VANet sono pronte per l'integrazione all'interno delle autovetture di nuova generazione. Come mostrato l'implementazione di questa nuova tecnologia renderà obsoleta ogni altra forma di gestione del traffico veicolare fino ad oggi sperimentata. Le potenzialità degli algoritmi distribuiti sono immense, ma la loro vera forza è la presenza diretta nel traffico. E' da auspicarsi che non vengano prodotti decine di algoritmi proprietari, che frammenterebbero le vere potenzialità di questo servizio. Ad oggi l'unica vera incognita è la posizione delle compagnie di sistemi NavSat, che nonostante tale protocollo sia sull'orlo del lancio continuano a promuovere e creare nuovi servizi proprietari. Inizialmente i vecchi e nuovi sistemi collaboreranno per coprire la mancanza di una rete VANet consolidata, ma basterà poco per creare una notevole base di utenti. Se i servizi di Infotainment prenderanno piede come sperato daranno un forte valore aggiunto e permetteranno una maggiore propagazione delle VANet. Ad oggi i cellulari hanno processori da 1Ghz e non è difficile immaginare un futuro nel quale sarà possibile la creazione di reti di calcolatori all'interno delle VANet aumentando così le possibilità dell'ubiquitous computing. Esistono già studi per l'integrazione di video in streaming[18] e addirittura di videogiochi multiplayer tra veicoli diversi[19]. Tali servizi saranno la vera gallina dalle uova d'oro per tutti quegli attori che adesso vivono sfruttando le reti I2V.



# Appendice A

## Prima Appendice

AF: Alternative Frequencies 7.

AIFS: Arbitration InterFrame Space 37.

ATIS: Advance Traveler Information System 39, 41, 42.

BSSID: Basic Service Set ID 36.

CBF&D: Contention Based Forwarding and Dissemination 38.

CCH: Control CHannel 37.

CCISS: Centro di Coordinamento Informazioni sulla Sicurezza Stradale 10, 11, 31.

CD: Compact Disc 9.

CSMA/CA:Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection 36.

CT: Clock Time 8.

EDCA: Enhanced Distributed Channel Access 37.

EON: Enhanced Other Networks 8.

GPRS:General Packet Radio Service (System) 4, 6, 20, 32, 34.

GPS: Geo Positional System 13,17, 20.

I2V: Infrastructure to Vehicle 31, 35, 39.

IEC: International Electrotechincal Commission 7.

IEEE: Intitute of Electrical and Electronics Engineers 36.

MAC: Media Access Control 36.

MANet: Mobile Ad-Hoc Network 36.



- PDA: Personal Digital Assistant 17
- PI: Programme Identification 8.
- PMV: Pannelli a Messaggio Variabile 2, 3.
- PTY: Programme TYpe 9.
- RBDS: Radio Broadcast Data System 7.
- RDS: Radio Data System 2, 4, 7, 9, 12, 32, 42.
- RDS-TMC: Traffic Message Channel over Radio Data System 11, 12, 18, 31.
- REG: Regional 9.
- RT: Radio Text 9.
- SCH: Service CHannel 37.
- TA: Traffic Announcement 9.
- TMC: Traffic Message Channel 4, 7, 9, 10.
- TP: Traffic Programme 9.
- TPEG: Transport Protocol Experts Group 13, 31.
- V2V: Vehicle To Vehicle 31, 35.
- VANet: Vehicular Ad-Hoc Network 35, 38, 41.
- WBSS: Wave Basic Service Set 37.

# Bibliografia

- [1] [http://it.wikipedia.org/wiki/Rai\\_Isoradio](http://it.wikipedia.org/wiki/Rai_Isoradio)
- [2] <http://www.edilportale.com/>
- [3] <http://www.tomtom.com/services/service.php?id=14>
- [4] <http://lab.vodafone.it/blog/2009/09/04/tomtom-e-vodafone-notizie-sul-traffico-in-tempo-reale/>
- [5] <http://forum.telefonino.net/showthread.php?t=583090>
- [6] <http://www.tmcforum.com/>
- [7] <http://www.rds.org.uk/2010/RDS-Specification.htm>
- [8] [http://dev.inversepath.com/download/rds/blackhat\\_df-whitepaper.pdf](http://dev.inversepath.com/download/rds/blackhat_df-whitepaper.pdf)
- [9] [http://www.tmcforum.com/en/about\\_tmc/tmc\\_news/hacking\\_tmc\\_-\\_unsuccessfully.htm](http://www.tmcforum.com/en/about_tmc/tmc_news/hacking_tmc_-_unsuccessfully.htm)
- [10] <http://www.microsoft.com/industry/government/federal/doddirectband.aspx>
- [11] [http://www.nn4d.com/site/global/build/traffic\\_apis/services/traffic\\_patterns/products/p\\_products.jsp](http://www.nn4d.com/site/global/build/traffic_apis/services/traffic_patterns/products/p_products.jsp)

- 
- [12] M. Rocchetti, G. Marfia, “Modeling and Experimenting with Vehicular Traffic Congestion for Distributed Advanced Traveler Information Systems”, Proc. 7th European Performance Engineering Workshop (EPEW’2010), (A. Aldini et al., Eds.), LNCS n. 6342, Springer, Bertinoro, September 2010, 1-16.
- [13] P. Papadimitratos, L. Buttyan, T. Holczer, E. Schoch, J. Freudiger, M. Raya, Z. Ma, F. Kargl, A. Kung, J.P. Hubaux: Secure Vehicular Communication Systems: Design and Architecture, IEEE Communications Magazine, November 2008
- [14] [http://www.ansa.it/web/notizie/rubriche/mondo/2010/08/25/visualizza\\_new.html\\_1790720273.html](http://www.ansa.it/web/notizie/rubriche/mondo/2010/08/25/visualizza_new.html_1790720273.html)
- [15] Documento di Programmazione Economico Finanziaria, Ministero dell’Economia 2005.
- [16] [http://it.wikipedia.org/wiki/Treno\\_ad\\_alta\\_velocit%C3%A0#Italia](http://it.wikipedia.org/wiki/Treno_ad_alta_velocit%C3%A0#Italia)
- [17] Vehicular Ad Hoc Networks:Scenari, Tecnologie, Sviluppo Applicazioni - Alessandro Falaschi - Dicembre 2009
- [18] M. Guo, M. Ammar, E. Zegura, “V3 : A Vehicle-to-Vehicle Live Video Streaming Architecture”, In Proc. of third IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom),Kauai Island, HI, USA, Mar2005.
- [19] Multiplayer games over Vehicular Ad Hoc Networks: A new application, Ozan K. Tonguza and Mate Boban
- [20] <http://traffico.octotelematics.it/>
- [21] Traffic Estimation And Prediction Based On Real Time Floating Car Data. Corrado de Fabritiis, Roberto Ragona, Gaetano Valenti

- 
- [22] Real-Time Traffic in Ad-Hoc Sensor Networks. Bononi L., Donatiello L., Furini M.
- [23] A Cross Layered MAC and Clustering Scheme for Efficient Broadcast in VANETs. Luciano Bononi Marco Di Felice
- [24] C.E. Palazzi, S. Ferretti & M. Rocchetti Smart Access Points on the Road for Online Gaming in Vehicular Networks, Entertainment Computing, Elsevier, Vol. 1, N.1, January 2009, 17-26.
- [25] G. Marfia & M. Rocchetti “Vehicular Congestion Modeling and Estimation for Advanced Traveler Information Systems”, Proc. 3rd IFIP/IEEE Wireless Days Conference (WD’10), IEEE, Venice, October 2010.
- [26] A. Amoroso, G. Marfia & M. Rocchetti “ Optimal Assessments in VANET: The Oracle”, Proc. 3rd IFIP/IEEE Wireless Days Conference (WD’10), IEEE, Venice, October 2010.
- [27] M. Rocchetti & G. Marfia “Modeling and Experimenting with Vehicular Traffic Congestion for Distributed Advanced Traveler Information Systems”, Proc. 7th European Performance Engineering Workshop (EPEW’2010), (A. Aldini et al., Eds.), LNCS n. 6342, Springer, Bertinoro, September 2010, 1-16.
- [28] M. Rocchetti , G. Marfia & A. Amoroso, “An Optimal 1D Vehicular Accident Warning Algorithm for Realistic Scenarios”, Proc. IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC’10) , IEEE, Riccione, June 2009.
- [29] A Amoroso, L. Gandolfi, S. Grassilli & M. Rocchetti , “FROV: a Distributed Broadcast Protocol for VANET, Experimental Results”, Proc. 2009 IEEE International Workshop on Ubiquitous Multimedia Systems and Applications (UMSA’09)- International Conference on Ultramodern Telecommunications (ICUMT 2009), IEEE, St Petersburg, Russia, October 2009.

- 
- [30] G. Marfia, G. Pau & M. Roccetti , “On Developing Smart Applications for VANETs: Where are we now? Some Insights on Technical Issues and Open Problems”, Proc. 2009 IEEE International Workshop on Ubiquitous Multimedia Systems and Applications (UMSA’09)- International Conference on Ultramodern Telecommunications (ICUMT 2009), IEEE, St Petersburg, Russia, October 2009.
- [31] A. Amoroso, M. Roccetti, M. Nanni & L. Prati, “VANETS without Limitations: An Optimal Distributed Algorithm for Multi-Hop Communications and Some Preliminary Results”, Proc. 5th IEEE International Workshop on Networking Issues in Multimedia Entertainment (NIME’09) - 6th IEEE Communications and Networking Conference (CCNC 2009), Las Vegas (USA), IEEE Communications Society, January 2009.
- [32] C. Palazzi, S. Ferretti & M. Roccetti, “Fast Multi-hop Broadcast over Vehicular Networks: A Real Testbed Evaluation”, Proc. 5th IEEE International Workshop on Networking Issues in Multimedia Entertainment (NIME’09) - 6th IEEE Communications and Networking Conference (CCNC 2009), Las Vegas (USA), IEEE Communications Society, January 2009.
- [33] A. Amoroso, M. Ciaschini & M. Roccetti, “The Farther Relay and Oracle for VANET. Preliminary Results”, Proc. 4th ACM International Wireless Internet Conference (WICON 2008), ACM, Maui (USA), November 2008, 4859:1-4859:7.
- [34] C.E. Palazzi, M. Roccetti, S. Ferretti, G. Pau & M. Gerla, “Online Games on Wheels: Fast Game Event Delivery in Vehicular Ad-hoc Networks”, Proc. 3rd International Workshop on Vehicle-to-Vehicle Communications 2007 (V2VCOM 2007) - IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2007, IEEE Intelligent Transportation Systems Society, Istanbul, Turkey, June 2007, 42-49.

- 
- [35] C. E. Palazzi, S. Ferretti, M. Roccetti, G. Pau & M. Gerla, “How Do You Quickly Choreograph Inter-Vehicular Communications? A Fast Vehicle-to-Vehicle Multi-Hop Broadcast Algorithm, Explained”, Proc. 3rd IEEE International Workshop on Networking Issues in Multimedia Entertainment (NIME’07) - 2007 4th IEEE Communications and Networking Conference (CCNC 2007), Las Vegas (USA), IEEE Communications Society, January 2007.



# Ringraziamenti

Desidero ringraziare prima di tutto Giorgio e Marilena per avermi dato una seconda possibilità, che mi ha permesso di poter esprimere e approfondire le mie vere passioni. Molto spesso la scelta più razionale non porta ai risultati sperati, ma è solo la curiosità e la passione che ci permettono di passare le ore sui libri senza sentirne il peso.

Ringrazio il mio relatore Prof. Rocchetti Marco che mi ha permesso di proseguire il percorso intrapreso, nonostante tutti i problemi di questi mesi, e il Dott. Marfia per la massima disponibilità dimostrata nei miei confronti e il supporto nella realizzazione di questo documento.

\*\*\*\*\*

Voglio ringraziare Alessandro DeTroia per il suo supporto, per le giornate passate insieme a progettare, per le cene, per i pomeriggi passati a far funzionare un software che non ne aveva proprio voglia.

Ringrazio tutti i miei amici che mi hanno supportato in questi anni. Benché in linea di massima non abbia a che fare in alcun modo diretto con questo lavoro di tesi voglio comunque ringraziare tutti i ragazzi dell'associazione sportiva Dragon Korps che in questi anni mi hanno fatto divertire ogni domenica facendomi passare dei giorni indimenticabili in ogni condimeteo.

Un ringraziamento finale a Massimo Cannella che in questi 4 anni mi ha trattato più come un fratello minore che come un coinquilino.