

TTS
ITALIA

Associazione Italiana
della Telematica
per i Trasporti e la Sicurezza

L'IMPATTO DEGLI ITS PER LA RIDUZIONE DI CO₂



L'impatto degli ITS per la riduzione di CO₂

**TTS Italia – Associazione Nazionale della Telematica
per i Trasporti e la Sicurezza**

TTS Italia è l'Associazione Nazionale della Telematica per i Trasporti e la Sicurezza. La missione di ***TTS Italia*** è di promuovere lo sviluppo dei Sistemi Intelligenti di Trasporto - ITS in Italia nelle modalità più utili per l'utenza, in modo da creare le condizioni per la più ampia diffusione di tali sistemi e un rapido sviluppo del mercato.

TTS Italia ha fra i propri associati Pubbliche Amministrazioni, gestori della mobilità urbana, operatori del Trasporto Pubblico Locale, gestori autostradali, fornitori di servizi, costruttori di veicoli, produttori di componenti e di tecnologie avanzate per la mobilità, interporti, centri di ricerca, università.

TTS Italia fa anche parte di un Network internazionale costituito da tutte le Associazioni Nazionali per gli ITS presenti nelle più importanti Nazioni europee e mondiali.

Prefazione

Nello scorso anno 2009 l'Associazione TTS Italia e il suo Comitato Tecnico Scientifico hanno deciso di rilanciare l'attività sulla valutazione della riduzione delle emissioni di CO₂ nei trasporti, ottenibile dalle applicazioni ITS. Ho accettato di buon grado di indirizzare le attività e coordinare il gruppo di lavoro.

Questa pubblicazione di TTS Italia è il primo risultato del lavoro di gruppo; l'auspicio di tutti coloro che hanno partecipato è che essa venga ben accolta e possa servire allo scopo per cui è nata: favorire una maggior consapevolezza delle opportunità offerte dalle applicazioni ITS, contribuendo ad uno sviluppo positivo del settore ITS e del relativo mercato.

A questo aggiungo il mio auspicio personale: che TTS Italia voglia continuare su questa strada con ulteriori approfondimenti e valutazioni. Questo documento non ha infatti la pretesa di essere conclusivo, e molto si può e si deve ancora fare.

Si è trattato, come detto sopra, di un lavoro di gruppo: mi piace ringraziare chi, pur in diverse forme, ha volontariamente collaborato:

Claudio Griglione (Mizar Automazione) e Leonardo Domanico (TTS Italia) che ne sono stati i redattori,

Eugenio Morello – CSST per il contributo sui navigatori e gli utili suggerimenti in generale,

Luca Studer – Politecnico di Milano per il contributo sui casi studio di Milano e Trondheim e sul car sharing,

Maria Pia Valentini e Maurizio Romanazzo - ENEA per i contributi all'impostazione generale e sulla logistica urbana,

Giandomenico Gagliardi - 5T per il contributo sul caso studio di Torino,

Fabio Nussio – Atac/Roma Servizi per la Mobilità sul caso studio di Roma,

Davide De Sanctis – Octo Telematics per il contributo su i sistemi di “pay as you pollute”,

Luca Masnata – Thetis per il caso studio di Pechino,

e inoltre Giuseppe Celia Magno (Tecnositaf) e Marco Bosi (Siemens) per i loro contributi, Giovanna Rossi (Ministero Ambiente), Maurizio Tomassini (ISIS), Cino Bifulco (Università di Napoli), Marco Annoni (Telecom Italia), Stefano Mellina (Famas System), Gianfranco Burzio (CRF), Enzo Galdi (Università di Salerno), Umberto Crisalli (Università di Tor Vergata), Roberto Nenzi per le utili discussioni,

e infine Olga Landolfi (TTS Italia), Bruno Dalla Chiara (Politecnico di Torino), Sergio Sapienza (Mizar Automazione) per i commenti e suggerimenti.

Vito Mauro

Indice

Introduzione	9
1 Lo scenario di riferimento	11
1.1 Il contesto internazionale	11
1.2 Il contesto italiano	11
2 I sistemi ITS e la riduzione di emissioni di CO₂	14
2.1 Richiami su questioni di base relative alle emissioni di CO ₂ nei trasporti	14
3 I sistemi ITS	18
3.1 La misurazione e la stima dell'impatto dell'ITS sulle emissioni di CO ₂	21
4 Sistemi ed applicazioni ITS: i possibili impatti	22
4.1 Sistemi per la navigazione e l'informazione in viaggio	22
4.2 Sistemi per la gestione ed il controllo del traffico	28
4.2.1 Sistemi di controllo del traffico urbano	28
4.2.1.1 Rete di semafori a piani fissi coordinati	28
4.2.1.2 Sistema UTC a selezione di piano	29
4.2.1.3 Sistemi UTC attuati dal traffico	29
4.2.1.4 Sistemi UTC adattativi	29
4.2.2 Indirizzamento parcheggi	30
4.2.3 Sistemi di controllo del traffico extraurbano ed autostradale	31
4.2.3.1 Sistemi di informazione e indirizzamento collettivo	31
4.2.3.2 Section control e limite di velocità variabile	31
4.2.3.3 Ramp metering	32
4.2.3.4 Attivazione della corsia di emergenza per congestione	32
4.2.4 Sistemi di gestione del traffico integrati: Piattaforma integrata regionale	32
4.3 Sistemi per la gestione flotte di veicoli di trasporto pubblico	34
4.3.1 Sistema di pianificazione, monitoraggio (AVM) e rendicontazione del servizio di trasporto pubblico	34
4.3.2 Sistema di bigliettazione elettronica integrata	35
4.3.3 Sistema di informazione all'utenza del trasporto pubblico	35
4.4 Sistemi per influenzare il comportamento dei viaggiatori	35
4.4.1 Eco-Driving	36
4.4.2 Car sharing	37

4.5	Sistemi per la gestione degli accessi e della domanda	37
4.5.1	Controllo accessi alla ZTL	38
4.5.2	Cordon pricing/Congestion pricing	38
4.5.3	Electronic tolling	38
4.5.4	Electronic tolling con sistemi GPS (Pay As You Drive)	39
4.6	Sistemi per la gestione di flotte e merci e della logistica	40
4.6.1	Servizi di gestione flotte di veicoli commerciali	40
4.6.2	Servizi di gestione flotte (merci pericolose)	40
4.6.3	Gestione logistica urbana	41
4.7	Enforcement	41
5	Impianti e dispositivi per l'ITS	43
5.1	I LED	43
5.2	I sensori wireless	43
6	Considerazioni conclusive	45
	Bibliografia	48
Allegato 1:	Il sistema di Controllo Adattativo del Traffico Urbano con priorità ai mezzi pubblici di Torino – Impatti sul traffico privato	49
Allegato 2:	Il sistema di Controllo Adattativo del Traffico Urbano con priorità ai mezzi pubblici di Torino – Impatti sul trasporto pubblico	51
Allegato 3:	Studio Navteq sull'utilizzo dei navigatori	54
Allegato 4:	Ecopass: controllo accessi nella città di Milano	55
Allegato 5:	I LED	56
Allegato 6:	Il Piano Integrato di Roma: Mobilità, Progetto RomaperKyoto e PSMS	57
Allegato 7:	Il progetto pilota ITS- TAP	64

Indice delle figure

Figura 1 - Stime (1995) e previsioni (2010) di emissioni totali di CO ₂ nei trasporti	12
Figura 2 – Confronto delle previsioni PGTL con i dati 2000 e 2005 (ENEA)	13
Figura 3 - Variazione delle emissioni di CO ₂ per un dato veicolo e viaggio al variare della velocità media	16
Figura 4 - Costi/benefici per alcuni interventi veicolari	17
Figura 5 - Integrazione di diverse applicazioni ITS	20
Figura 6 - Rapporto tra velocità reale e statica rilevata a Torino	23
Figura 7 - Risparmi di tempo di viaggio in una rete urbana soggetta a congestioni variabili	26
Figura 8 – Tempi di viaggio senza UTC, con UTC adattativo con priorità TPL e senza priorità TPL a Torino	30
Figura A2.1 – Tempi di viaggio a Torino	51
Figura A2.2 – Benefici delle applicazioni ITS per la città di Torino	53
Figura A6.1 – La centrale della mobilità di Roma ed il DSS Ambientale	58
Figura A6.2 – I moduli del DSS di assegnazione e del calcolo delle emissioni	59
Figura A6.3 – Scenario di medio periodo (2011-13)	60
Figura A6.4 - Stima della variazione percentuale di Emissioni di CO ₂ nel Comune di Roma 2006-2012	61
Figura A6.5 - Scenario di lungo periodo della mobilità a Roma da PSMS – TP e traffico privato	62
Figura A6.6 - Emissioni di CO ₂ a Roma – comparto mobilità	63
Figura A7.1 – Variazioni delle emissioni inquinanti dopo le implementazioni ITS a Pechino	66

Indice delle tabelle

Tabella 1 – Impatto dei navigatori per CO ₂ , NO _x , tempi di viaggio e sicurezza stradale	28
Tabella 2 – Impatto dei sistemi di controllo traffico	33
Tabella 3 – Impatto dei sistemi di gestione flotte di tpl	35
Tabella 4 – Impatto dei sistemi ITS che influenzano il conducente	37
Tabella 5 – Impatto dei sistemi ITS che la gestione della domanda e degli accessi	40
Tabella 6 – Impatto dei sistemi ITS per la gestione delle flotte, merci e logistica	41
Tabella 7 – Impatto dei sistemi ITS di enforcement	42
Tabella 8 – Impatto delle applicazioni ITS per CO ₂ , NO _x , tempi di viaggio e sicurezza stradale	45

Introduzione

L'Italia è uno dei Paesi Europei a più alta densità di traffico interno, con 975.455 milioni di passeggeri-km/anno, di cui il 92,24% sceglie la strada. Il traffico merci superiore ai 50 km sul territorio nazionale è di 230.229 milioni di tonnellate-km/anno, di cui il 62.26% viene trasportato su strada [Conto Nazionale delle Infrastrutture e dei Trasporti, Dati 2007/2008].

La domanda di mobilità di persone e merci è aumentata notevolmente negli ultimi decenni, e secondo le previsioni continuerà a crescere nei prossimi anni; sarà necessario continuare negli sforzi per mitigare le conseguenze negative per l'ambiente, la qualità della vita, la sicurezza del trasporto e per l'intera economia del nostro Paese.

Come dimostrano le esperienze internazionali, per affrontare le sfide poste dall'aumento continuo della domanda di mobilità occorre affiancare all'approccio tradizionale – che prevede interventi sulle infrastrutture, sui veicoli e sulla domanda – un approccio più innovativo, nel quale informazione, gestione e controllo operano in sinergia migliorando la relazione tra domanda e offerta e ottimizzando l'uso dei diversi modi di trasporto, delle infrastrutture e dei veicoli.

I **Sistemi Intelligenti di Trasporto (ITS – Intelligent Transport Systems)** svolgono un ruolo determinante in questo approccio strategico. Gli ITS infatti, che sfruttano le tecnologie dell'Informatica e della Comunicazione, consentono di trasformare i trasporti in un "sistema integrato", nel quale i flussi di traffico sono distribuiti in modo equilibrato tra le varie modalità, per una maggiore efficienza, produttività e, soprattutto, sicurezza del trasporto.

Le soluzioni e servizi ITS finora realizzati, sia a livello urbano che extraurbano, hanno permesso di valutare in modo tangibile i benefici apportati da tali sistemi. Dati della Commissione Europea rivelano che in diverse applicazioni ITS realizzate in Paesi dell'Unione Europea sono state ottenute riduzioni dei tempi di spostamento nell'ordine del 20%, aumenti della capacità della rete del 5-10%, e miglioramenti in termini di sicurezza del 10-15%.

Questi risultati positivi provano i vantaggi che gli ITS possono apportare, in una logica di sviluppo sostenibile, all'ambiente e al miglioramento dell'efficienza, alla sicurezza dei cittadini ed alla competitività, e confermano come gli ITS costituiscano ormai uno strumento indispensabile per l'attuazione delle politiche di mobilità.

L'iniziativa

TTS Italia, l'Associazione Italiana della Telematica per i Trasporti e la Sicurezza, ha posto fra i suoi obiettivi prioritari quello di favorire il pieno sviluppo degli ITS in Italia.

TTS Italia è un'Associazione no profit nata nel 1999, che riunisce tutti i maggiori attori pubblici e privati operanti nel settore degli ITS. La missione di TTS Italia è di promuovere lo sviluppo degli ITS in Italia, in modo da creare le condizioni per la più ampia diffusione di tali sistemi e un rapido sviluppo del mercato. La sfida che l'Associazione ed i suoi Associati si pongono è di contribuire a migliorare l'efficienza e la sicurezza del sistema dei trasporti italiano, nella convinzione che gli ITS costituiscano uno strumento ormai indispensabile per l'attuazione delle politiche di mobilità.

A tale scopo, TTS Italia nell'ambito del Gruppo di Lavoro *"Impatto degli ITS per la riduzione di CO₂"*, ha elaborato questo documento con l'obiettivo di definire e descrivere le potenzialità degli ITS per ridurre l'impatto ambientale dei trasporti e in particolare per diminuire il consumo di energia e le emissioni di CO₂. L'augurio è che il documento – contribuendo a una migliore conoscenza delle caratteristiche e potenzialità dei sistemi ITS - possa

promuoverne le applicazioni e possa orientare il loro sviluppo e il loro impiego verso l'efficienza dei trasporti e il miglioramento dell'ambiente ("Green ITS").

A chi è rivolta

L'iniziativa è indirizzata ai decisori delle pubbliche amministrazioni, dell'industria e degli istituti di ricerca, cioè agli attori che hanno il compito di definire le strategie future per l'investimento nel campo dei trasporti, sia per lo sviluppo e l'implementazione di prodotti e servizi ITS sia per l'orientamento delle attività di ricerca.

Il documento offre indicazioni sulle applicazioni ITS che hanno la maggiore potenzialità per ridurre l'impatto ambientale dei trasporti. Gli autori si augurano che possa essere proficuamente usato per:

- Elaborare le strategie migliori per il nostro Paese
- Individuare le aree della ricerca e dell'innovazione prioritarie o comunque interessanti
- Definire le aree di sperimentazione e di dimostrazione più utili.

Altri impatti considerati

Nel documento vengono analizzati, insieme agli impatti degli ITS per la riduzione di CO₂, seppur in modo più qualitativo, anche gli impatti degli ITS per la riduzione delle emissioni di NO_x, delle congestioni e dei tempi di viaggio, e della sicurezza.

1 Lo scenario di riferimento

1.1 Il contesto internazionale

A partire dall'11 febbraio 1997, data in cui i più grandi paesi industrializzati europei ed asiatici hanno siglato il protocollo di Kyoto, l'interesse pubblico per il problema del risparmio energetico è sempre di maggiore interesse. Nello specifico per ciò che concerne l'ambito dei trasporti è crescente l'interesse delle pubbliche amministrazioni e della classe politica verso il tema "Green ITS", sia a livello europeo che internazionale.

La Comunità Europea in questo contesto promuove diverse iniziative:

- **ICT for Clean and Efficient Mobility**

L'argomento di ricerca "ICTs for Clean and Efficient Mobility" (ICT per mobilità pulita ed efficiente) valido per tutti i modi di trasporto fu aperto dalla Commissione Europea nel novembre del 2008, attraverso il settimo programma quadro per la ricerca. Il 4° bando invitava a proporre sistemi e servizi per la gestione del traffico e approcci che potessero supportare la guida energeticamente efficiente (la cosiddetta "eco-driving"). Lo stesso bando includeva inoltre la ricerca su nuove metodologie per la valutazione dell'impatto ambientale di sistemi ITS, in special modo sulla modellizzazione delle emissioni di CO₂; tale ricerca, inoltre, viene condotta in collaborazione con USA e Giappone, al fine di raggiungere uno standard internazionalmente valido e riconosciuto.

- **The ICT for Clean and Efficient Mobility Working Group**

Nel 2006 l'eSafety Forum ha realizzato un gruppo di lavoro per una mobilità più pulita ed efficiente. Il gruppo di lavoro ha identificato sette tipologie di sistemi ITS che offrono grandi potenziali per migliorare l'efficienza energetica e ridurre le emissioni di CO₂.

- **The Energy Efficiency Task Force and the EC's 'Recommendation on ICT for Energy Efficiency'**

Nel 2008 la Commissione Europea ha adottato per la prima volta un documento su "Communication on ICTs for Energy Efficiency", soggetto a revisione da parte di un gruppo di portatori di interessi creato appositamente, l'"Energy Efficiency Task Force". Sulla base dei suggerimenti degli stakeholder, la Commissione ha rilasciato, all'inizio del 2009, un documento di raccomandazioni per gli Stati Membri: "Recommendation on ICT for Energy Efficiency". Questo documento identifica le azioni concrete che rendono possibili i comportamenti energeticamente efficienti da parte di ogni livello della società, con lo scopo di facilitare ed accelerare l'implementazione di applicazioni ITC innovative. Il documento ha inoltre uno scopo politico: i nuovi sistemi ICT e le potenzialità offerte dall'innovazione in questo campo devono servire agli stati membri per raggiungere entro il 2020 gli obiettivi di riduzione di emissioni di CO₂ stabiliti.

1.2 Il contesto italiano

Anche l'Italia, oltre alla partecipazione di varie importanti aziende nei programmi europei, è stata sensibile ai problemi del "Green ITS", anche attraverso il PGTL 2001 (Piano Generale dei Trasporti e della Logistica 2001).

Tale piano, approvato dal Parlamento Italiano nel 2001, proponeva le linee guida che il Paese avrebbe dovuto seguire per mantenere una mobilità sostenibile, sia sotto il punto di vista economico che sotto il punto di vista ambientale. Per quanto riguarda le emissioni di CO₂, il Piano prevedeva che l'aumento della domanda di mobilità, senza contromisure mirate, avrebbe portato ad un aumento significativo delle emissioni (mentre, ricordiamo, il Paese si era impegnato, in base agli accordi di Kyoto, a diminuire le emissioni nel 2010 rispetto al 1990, del 7% circa. Il Piano aveva costruito diversi scenari: nello scenario "tendenziale" le emissioni sarebbero aumentate del 21%; nello scenario più ottimistico, che includeva un insieme di interventi (per accelerare lo shift modale, i veicoli

ecologici, gli ITS) le emissioni si sarebbero sostanzialmente stabilizzate (incremento del 1%). E' importante notare che, secondo il PGTL, *"il contributo positivo delle tecnologie ITS era chiaro: producevano un terzo dei miglioramenti totali nello scenario più ottimistico"*.

Nella figura 1 sono riportati i modelli e le previsioni PGTL: si può notare come la prospettiva di diminuzione di emissioni di CO₂ dal 1995 al 2010 sia importante; il box grigio in testa alle previsioni 2010 indica i risultati nei vari scenari: si passa dal 21% al 1% nello scenario più ottimistico rispetto alle emissioni del 1990. Comunque, in ogni caso, non si raggiunge l'obiettivo di riduzione del 7%.

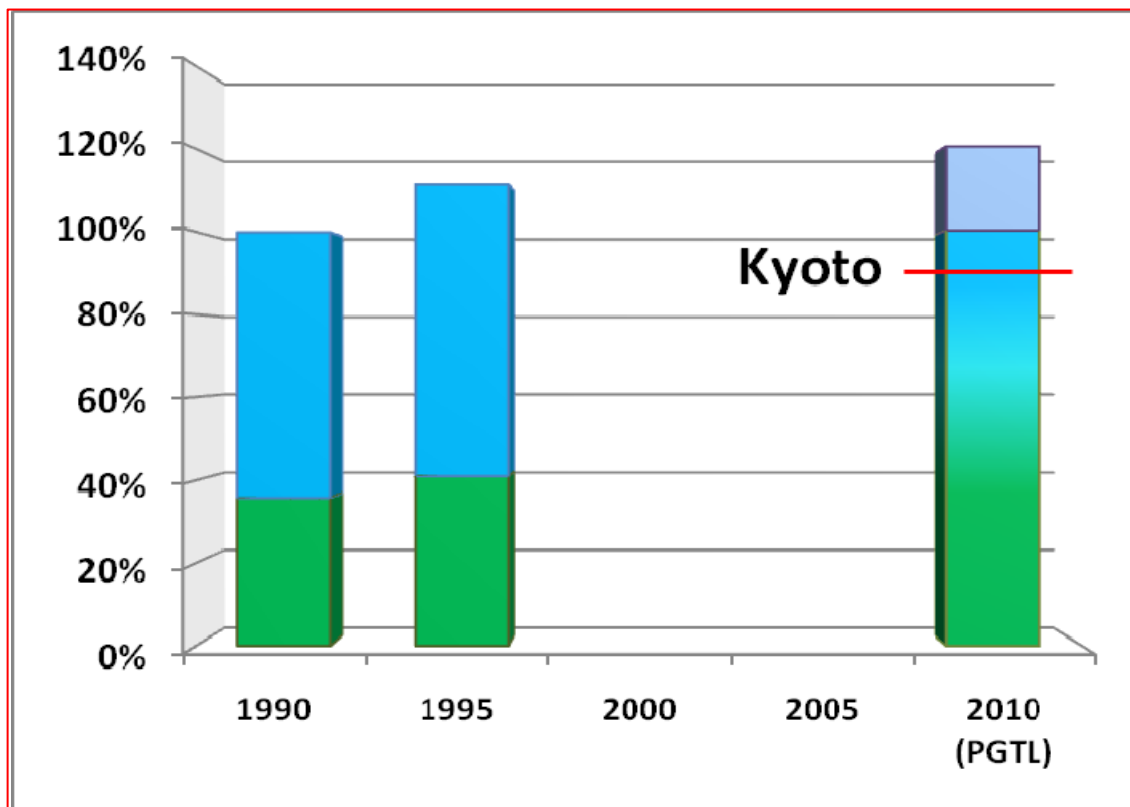


Figura 1 - Stime (1995) e previsioni (2010) di emissioni totali di CO₂ nei trasporti, riferite alle emissioni 1990. In blu il contributo extraurbano, in verde l'urbano. Il segmento rosso indica l'obiettivo da raggiungere in base agli accordi di Kyoto. Il box grigio per il 2010 rappresenta la fascia di previsione per i diversi scenari.

Fonte: PGTL 2001

Il PGTL aveva modellato le emissioni 1990 e 1995 e, in base allo stesso modello, aveva previsto le emissioni al 2010 nei diversi scenari.

E' interessante analizzare l'andamento delle emissioni negli ultimi anni. La figura 2 riporta tale analisi, sulla base dei dati di emissione 2000 e 2005 e le stime 2010, pubblicati da ENEA. Il diagramma si riferisce alle emissioni CO₂ nei trasporti, utilizzando come base le emissioni dell'anno 2000.

I risultati in figura 2 mostrano come il trend delle emissioni sia in crescita; i valori riportati per il 2010 stimati dal PGTL sono riportati per semplice curiosità, in quanto calcolati con modelli matematici differenti.

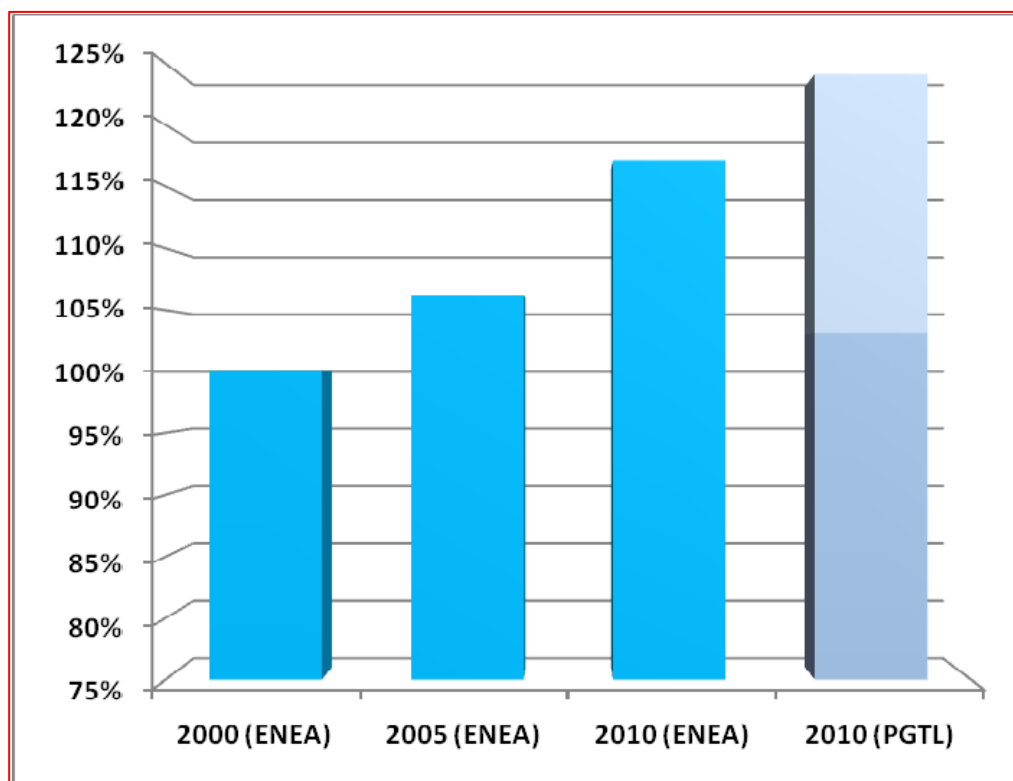


Figura 2 – Emissioni dei trasporti negli anni 2000 e 2005 e stima 2010 (ENEA) raffrontate con le stime 2010 PGTL. Emissioni CO₂ nei trasporti riferite al 2000. I dati PGTL sono riportati a livello di curiosità; non sono equiparabili matematicamente ai dati ENEA in quanto calcolati con modelli differenti. Fonte: ENEA e PGTL

Come si può vedere c'è stato un incremento delle emissioni relative ai trasporti, e probabilmente – come previsto – l'obiettivo Kyoto non sarà raggiungibile. La stima 2010 di ENEA è stata fatta nel 2008, prima della crisi economica: a questo proposito sono opportune due considerazioni, che portano ad essere un po' meno pessimisti:

- la crisi economica in atto sta portando, di fatto, ad un minor aumento della domanda di mobilità;
- gli effetti delle tecnologie (veicolari e ITS) e degli investimenti si faranno sentire – presumibilmente - in modo più deciso in questi anni.

Dall'esperienza PGTL si può concludere che l'andamento delle emissioni CO₂ è modellabile e prevedibile, nelle sue grandi linee, in modo abbastanza efficace, ottenendo indicazioni strategiche: tra queste è per noi importante l'indicazione relativa alla rilevanza delle applicazioni ITS.

Nel seguito di questo documento, si continua sulla strada tracciata dal PGTL 2001, iniziando l'attività di approfondimento sugli impatti di specifiche applicazioni ITS.

2 I sistemi ITS e la riduzione di emissioni di CO₂ – generalità

In questo capitolo si introducono alcuni ragionamenti sui sistemi ITS e sui loro potenziali impatti positivi sulle emissioni di CO₂. Allo scopo, si richiamano inizialmente alcune questioni di base pensando al lettore meno esperto; per ragioni di semplicità e di brevità, le spiegazioni saranno semplici e sommarie (il lettore esperto potrà scorgerle rapidamente e, speriamo, vorrà scusare la possibile superficialità).

2.1 Richiami su questioni di base relative alle emissioni di CO₂ nei trasporti

Cenni sulla relazione tra emissioni CO₂ e consumi energetici

Le emissioni di CO₂ nei trasporti sono legate all'impiego prevalente di combustibili fossili. E' così, di fatto, per i trasporti stradali, aerei e marittimi. Per questi si può ritenere che – in prima approssimazione – le emissioni siano proporzionali ai consumi di combustibile (mediando le differenze tra i vari combustibili) o, se si preferisce, al consumo energetico. Per ferrovie e, domani per la trazione ad idrogeno, bisogna risalire alle fonti utilizzate per la produzione di energia elettrica. Tenuto conto del mix delle fonti, del rendimento di produzione e di trazione si può calcolare la relazione tra consumo energetico e emissione di CO₂: anche in questi casi, le emissioni sono proporzionali (con fattore diverso) ai consumi energetici.

Conclusione: nel seguito si parlerà indifferentemente di emissioni CO₂, consumi energetici e, quando applicabile, consumi di combustibile.

Cenni alle quantità in gioco

Le quantità di CO₂ messe in gioco dai trasporti sono importanti. Una vettura a benzina o gasolio emette circa 2,5 Kg di CO₂ per litro di combustibile (2,38 se a benzina, 2,65 se a gasolio). Ogni volta che facciamo un pieno di 30 litri, prenotiamo una emissione di CO₂ di circa 75 kg!

In termini globali, per avere un'idea di cosa c'è in gioco basti pensare che i 64,1 milioni di tonnellate di CO₂ emessi in un anno dalle autovetture circolanti in Italia (pari al 10-12% del totale di CO₂ emessa nell'atmosfera) equivalgono al contenuto in CO₂ di una massa di carbone che occuperebbe un treno lungo 4500 km, abbastanza per dispiegarsi da Torino ai monti Urali; oppure ancora che l'estensione a foresta necessaria per neutralizzare la CO₂ emessa in un anno dalle autovetture circolanti in Italia dovrebbe essere pari a circa 67.000 Km² (l'estensione di Piemonte, Lombardia e Veneto insieme).

Conclusione: il problema è certamente importante e va affrontato con tutte le misure disponibili.

Un modello molto semplice per le emissioni nei trasporti

Sono stati proposti e vengono utilizzati diversi modelli per consumi ed emissioni nei trasporti, più o meno dettagliati ed esplicativi.

Ai fini di questo documento, serve un modello esclusivamente esplicativo, che elenchi i fattori in gioco e ne metta in luce l'importanza.

Il "nostro" modello è contenuto nell'espressione seguente:

$$C_{tot} = D * M_u * nav * C_u * s * g * t \quad (1)$$

Dove:

- C_{tot} è il consumo totale di un ipotetico scenario
- D è la domanda totale [in passeggeri/km o tonnellate/km per le merci – ove i km sono la distanza minima tra origine e destinazione]
- M_u è la massa equivalente media necessaria per muovere il singolo passeggero o la tonnellata di merce (che dipende dal veicolo scelto e dal suo carico). [ton/pass o ton/ton]
- nav è il coefficiente che moltiplica i km “ideali” per ottenere i km “reali” (il percorso reale sarà più lungo del minimo e dipenderà dalle scelte per il viaggio) [adimensionato]
- C_u è il consumo nominale unitario medio dei veicoli usati, riferito all'unità di massa spostata (TEP/(ton*km))
- s è il coefficiente che modifica i consumi, per tener conto del tipo di strada – pendenze, curve, fondo, semaforizzazioni, regole. [adimensionato]
- g è il coefficiente che modifica i consumi tenendo conto delle caratteristiche di guida (velocità, accelerazioni, aggressività...) [adimensionato]
- t è il coefficiente relativo alle condizioni del traffico e alla sua gestione (congestione, regole di circolazione, sistemi di gestione, incidenti...) [adimensionato].

Il modello sopra indicato, per quanto estremamente semplificato, può essere utile per orientarsi nel nostro problema.

Una prima considerazione parte dalla espressione (1): tutti i fattori hanno la stessa importanza. Questo è un invito esplicito a occuparsi delle opportunità offerte da tutti i fattori, invece di considerare solo i più comunemente citati (riduzione della domanda D , modal shift o logistica per diminuire M_u , miglioramento dei motori e dei veicoli per diminuire i consumi nominali C_u).

A titolo di esempio, per mostrare l'importanza di alcuni fattori, si riporta un risultato della bibliografia, che lega la quantità di CO₂ emessa alla velocità media di viaggio. Il grafico che segue è tratto da: “*METHODOLOGIES FOR ASSESSING THE IMPACT OF ITS APPLICATIONS ON CO₂ EMISSIONS, Technical Report V1.0 18 FEBRUARY, 2008, EC-METI Task Force*”, e relativo a un veicolo EURO II di cilindrata media, ed è usato, nella pubblicazione citata, per documentare la validità dei modelli cosiddetti “a velocità media”. Esso evidenzia come le emissioni di un dato veicolo per un dato tipo di viaggio cambino al cambiare delle condizioni di guida. Velocità basse (congestione, cattiva regolazione del traffico) fanno aumentare di molto le emissioni; velocità più elevate fanno altrettanto, se pur in misura minore.

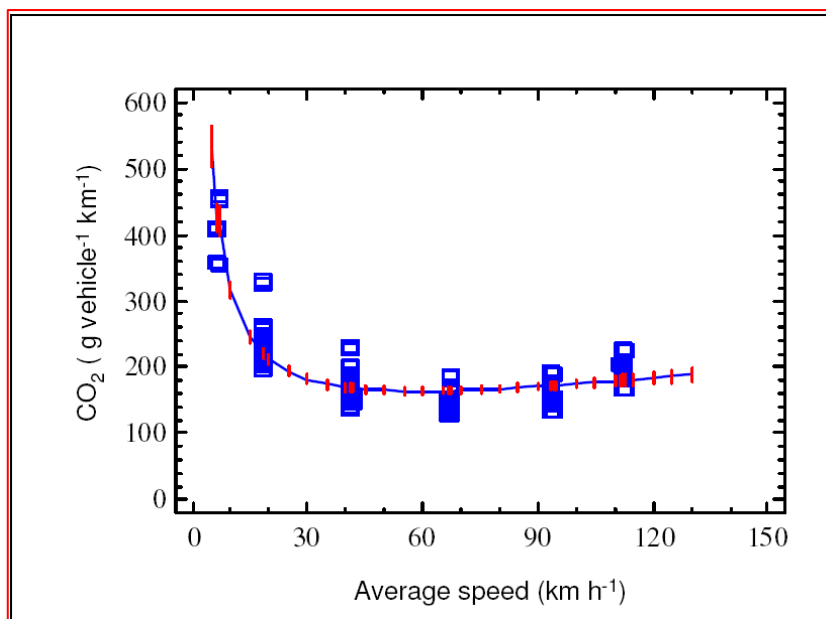


Figura 3 - Variazione delle emissioni di CO₂ per un dato veicolo e viaggio al variare della velocità media.
Fonte EC- METI

Usando il gergo introdotto sopra per il “nostro” modello, il diagramma evidenzia l'importanza dei fattori g e t (e, in ultima istanza, s): un veicolo avente emissioni nominali (ipotizzate dal diagramma) di 140 gr/km, emette facilmente da 200 a 500 gr/km in condizioni di traffico congestionato e 200 gr/km se viaggia a velocità medie superiori¹.

Ciò detto, resta comunque molto interessante la parte di sinistra del diagramma (effetti di congestione e di regolazione del traffico): un aumento di velocità media – in traffico lento - comporta una notevole diminuzione dei consumi (nel seguito vedremo quantificati i guadagni in velocità media dei sistemi urbani di controllo del traffico: ad essi corrisponde quindi una riduzione dei consumi).

Una seconda considerazione riguarda *i principi base da usare per impostare politiche di riduzione delle emissioni*. Si possono analizzare uno per uno i fattori dell'espressione (1) ed elencare le possibilità di intervento.

- D (domanda totale): “ridurre la domanda” (quantità di movimenti, distanza tra Origini e Destinazione), quindi (esempi) demand management, telelavoro, teleservizi ... soprattutto politiche residenziali, localizzazioni produttive, localizzazione di attrattori quali centri commerciali etc.
- M_u (massa equivalente): “usare i veicoli più adatti e distribuire meglio i carichi” quindi (esempi) modal shift, logistica e gestione flotte per le merci, demand management, tariffazione differenziata, car pooling, bike sharing, car sharing, zone pedonali, etc.

¹ Attenzione: occorre considerare il diagramma con una certa cautela. Si deve in particolare considerare che, mentre l'andamento “convesso” della curva è generale, non lo sono i valori assoluti sulle ascisse e sulle ordinate. Quelli sulle ordinate dipendono dal veicolo scelto, quelli sulle ascisse dalla combinazione di “cicli ideali di guida” utilizzati dal modello per rappresentare al guida su una rete media. Il diagramma sembra rappresentare una rete “mista” con prevalenza di extraurbano. In una rete urbana il minimo si sposterà di parecchio verso sinistra e l'aumento di consumo per velocità alte sarà molto più evidente.

- nav (percorso): “evitare sprechi di km nel viaggio”, quindi navigazione, guida ai parcheggi, informazione etc.
- C_u (consumo nominale): “auto con consumi nominali più bassi”
- s (strada): “buone infrastrutture”, quindi buon progetto, ma anche buoni impianti e buona manutenzione
- g (stile di guida): “guidare meglio”, quindi aiuti al guidatore, disincentivi alla guida “aggressiva”
- t (traffico): “gestire meglio”, quindi sistemi di controllo del traffico, dei trasporti pubblici, informazione predittiva, aiuto alla scelta dei percorsi più efficienti...

Relazione costi/benefici dei vari interventi

Un'analisi costi/benefici – pur necessaria – esula dallo scopo del presente documento e potrà essere realizzata in seguito. Pur tuttavia, occorre ricordare che due vantaggi attesi dalle tecniche ITS sono i costi limitati e la relativa facilità di realizzazione.

A parziale conforto di questa tesi, si riportano i risultati di uno studio recente, relativo solo ad alcuni interventi sui veicoli, che giustifica l'assunto.

Il diagramma in figura 4 evidenzia il rapporto fra alcune misure possibili applicate ai veicoli, costi e benefici sulle emissioni di CO₂. Il diagramma evidenzia anche in giallo e in verde la diversa collocazione delle misure legate alle tecnologie ITS (ICT nel diagramma) rispetto a quelle tradizionali.

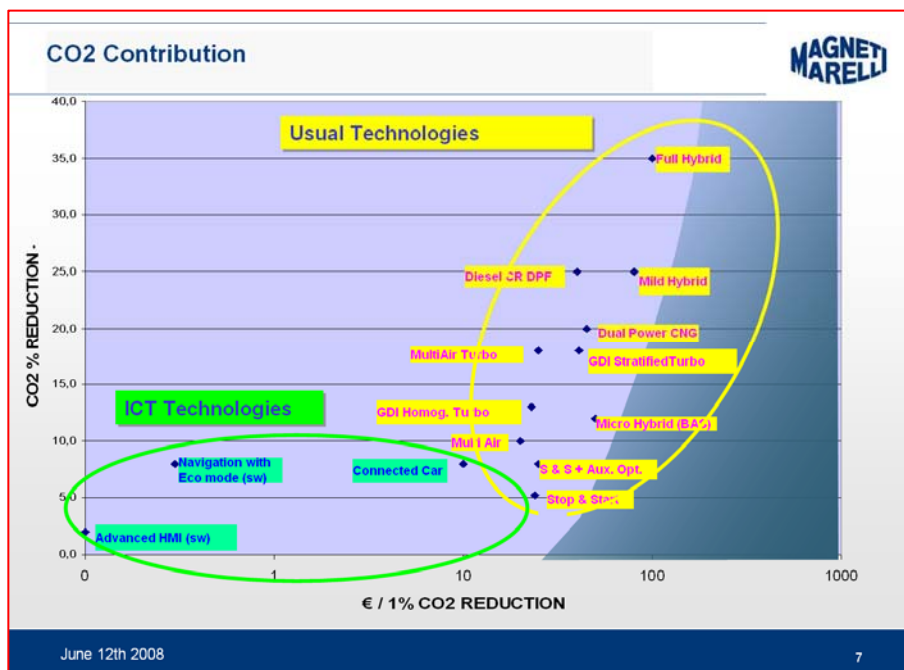


Figura 4 - Costi/benefici per alcuni interventi veicolari. Fonte: Magneti Marelli

Si vede come il rapporto costi benefici sia nettamente a favore delle misure ITS (indicate col termine ICT nel diagramma).

3 I sistemi ITS

I sistemi ITS (Intelligent Transport System) introducono nuovi paradigmi nei trasporti: l'impiego esteso delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione rende tutti gli attori dei trasporti meglio informati, aumenta l'efficacia dei sistemi di trasporto e dei metodi di controllo e gestione del traffico e dei trasporti, permette aiuti e interventi diretti altrimenti impensabili.

Sono ben noti ed accettati i contributi che i sistemi ITS offrono per la sicurezza, l'efficienza e il comfort; sono invece spesso sottovalutati i benefici che possono avere le applicazioni ITS per l'ambiente. Al contrario, le applicazioni ITS sono in grado – continuando a usare il gergo introdotto con il “nostro” modello semplificato - di influenzare positivamente molti dei fattori determinanti i consumi (e quindi le emissioni). Sono in particolare in grado di modificare fattori altrimenti non modificabili.

Le applicazioni ITS possono infatti supportare l'introduzione di diverse strategie atte a:

- **promuovere l'utilizzo della rete stradale in modo CO₂-efficiente (fattore t nella espressione (1))**

Questo obiettivo può essere raggiunto attraverso l'utilizzo di differenti tipologie di sistemi di controllo e gestione dei flussi di traffico. Le applicazioni più sofisticate mirano non solo alla riduzione delle congestioni, ma sono progettate per consentire la velocità ottimale da mantenere per massimizzare l'energia consumata, ridurre gli “stop&go” e così via. Tali strategie includono la gestione di corsie dedicate a veicoli di tipo specifico (mezzi pesanti, mezzi pubblici, ecc.) e calcolo percorsi in tempo reale che possono favorire flussi di traffico più efficienti dal punto di vista energetico.

- **incoraggiare comportamenti ottimi dei conducenti (fattore g dell'espressione (1))**

Questa categoria di strategie comprende iniziative come campagne di “eco-driving” che puntano ai singoli conducenti, promuovendo stili di guida che riducano l'emissione di CO₂. La strategia può essere supportata da applicazioni Internet-based e/o da strumentazione a bordo veicolo, sia da applicazioni realizzate nel veicolo stesso.

- **modificare la domanda di trasporto (fattori D e M_u)**

Questo può essere ottenuto in varie e differenti modalità, favorendo i viaggiatori che utilizzino veicoli o modalità di trasporto a basso impatto ambientale, riducendo la domanda di mobilità e la distanza totale dei viaggi. Per ciò che riguarda i mezzi di trasporto merci il risultato può essere ottenuto attraverso l'applicazione di politiche logistiche più efficienti. Altri approcci includono il road charging o schemi di pedaggiamento progettati per favorire i mezzi a bassa emissione di CO₂, lo shift modale o scoraggiare tutti gli spostamenti indifferente. Tali strategie includono servizi di informazione e di gestione per aumentare la convenienza e l'efficienza dei mezzi pubblici.

- **rendere più efficienti i viaggi (fattori nav e t)**

I navigatori aiutano il viaggiatore a definire il suo percorso e analogamente qualsiasi servizio, individuale o collettivo di guida alla destinazione (esempio: park guidance) possono, in questo modo, diminuire i consumi. Una evoluzione attesa di questi sistemi, che permetta loro di tener conto delle condizioni reali di traffico e aiuti il viaggiatore (o il trasportatore merci) a evitare le congestioni, aumenterà gli effetti.

- **migliorare il monitoraggio e la manutenzione delle infrastrutture e i relativi impianti (fattore s)**

E' questo un campo spesso trascurato quando si tratta di ITS. Si compone di due parti distinte: in una sono compresi i sistemi per il monitoraggio e la manutenzione, che coprono anche lo stato delle infrastrutture; nell'altra le tecnologie per la riduzione dei consumi negli impianti (che comunque incidono sui consumi totali).

- **Imporre il rispetto delle regole (ancora fattori g e t)**

L'uso ottimizzato delle risorse viene facilitato dal rispetto delle regole, che può essere favorito dall'ITS, ma in molti casi deve essere imposto. La guida indisciplinata (in traffico medio-alto) produce aumento di consumi; essa infatti non solo aumenta in molti casi il consumo del veicolo indisciplinato, ma causa perdite di fluidità del traffico (il fattore t aumenta), e può causare congestioni secondarie a piccoli e grandi incidenti (ancora t in aumento), etc. In generale, un traffico (medio o pesante) indisciplinato è meno efficiente di un traffico regolare e disciplinato (affermazione abbastanza nota in bibliografia e documentabile dall'esperienza).

Nel seguito del documento, si analizzeranno varie applicazioni concrete e attuali che rispondono ai principi sopra elencati, usando le tecnologie disponibili oggi sul mercato.

Conviene ricordare che sono in avanzato stadio di sviluppo alcune tecnologie che potranno, nel prossimo futuro, migliorare ulteriormente le applicazioni ITS: le tecnologie che vanno sotto il nome di "Cooperative System". I "Cooperative System" utilizzano sistemi di comunicazione che consentono uno scambio in tempo reale di dati tra l'infrastruttura ed il veicolo e tra i veicoli stessi. Nel contesto della riduzione delle emissioni di CO₂ i sistemi cooperativi sono da considerare fattori "abilitanti" per le versioni "ecologiche" di differenti applicazioni ITS. Questi sistemi permettono un monitoraggio avanzato della rete stradale (vengono resi disponibili dati presenti sui veicoli) ed una comunicazione diretta con il singolo conducente, fornendo, ad esempio, la velocità consigliata o il percorso migliore in modo puntuale, continuo e individualizzato.

Un punto di vista diverso e utile

Il modello semplificato ha permesso di elencare e giustificare i principi base della riduzione di consumi nei trasporti. Per arrivare a conclusioni strategiche, può essere utile introdurre una ulteriore interpretazione. Lo facciamo – sempre brevemente – in questo paragrafo.

Il risultato delle applicazioni ITS – almeno di quelle che non agiscono direttamente deprimendo la domanda D – è, in fondo, un modo per "soddisfare le esigenze di mobilità con minor consumo di risorse": in una parola, un modo per "virtualizzare" (o "dematerializzare"²) il mondo dei trasporti. E' un risultato certamente positivo, ma porta con sé un possibile aspetto negativo. E' ben noto come in tutta la storia del progresso industriale, ad una continua "virtualizzazione" del processo e dei prodotti è corrisposto un aumento di produzione (effetto "rimbalzo" o "rebound"). Il risultato finale è spesso negativo: l'aumento di produzione è più importante della riduzione dei consumi unitari e il consumo totale di risorse aumenta.

Questo potrebbe ben succedere anche nel nostro campo: è chiaro che molte applicazioni ITS – tutte quelle che aumentano l'efficienza dei trasporti – hanno come effetto di migliorare "l'offerta"; potrebbero – se lasciate a sé – attrarre nuova domanda di mobilità e generare nuovi consumi.

E' quindi strettamente necessario (ai fini della riduzione dei consumi globali) seguire un approccio strategico integrato, ricorrendo a un insieme ITS che contenga anche applicazioni dirette a contenere aumenti di domanda e/o a dirottare sui modi più efficienti (per evitare l'effetto "rimbalzo").

In conclusione, per la definizione di una politica globale che possa avere impatto positivo sulle emissioni globali di CO₂ è necessario considerare:

- Strategie che influenzano l'offerta di trasporto:

² Le parole "virtualizzazione" o "dematerializzazione" vengono usate per indicare l'effetto positivo dell'innovazione nella produzione industriale: si usano meno risorse (materie prime, energia, lavoro...) per unità di prodotto finale ("si rende più virtuale/meno materiale il prodotto o il processo di produzione").

- a. Realizzazione di applicazioni ITS che, come si è visto, apportano benefici in termini di efficienza energetica;
 - b. Realizzazione di piattaforme che permettano di gestire in modo integrato più applicazioni ITS (poiché si deve pensare a "insiemi" di applicazioni, è d'obbligo costruire ambienti di integrazione).
- Strategie che influenzano la "domanda" di trasporto
 - a. Realizzazione di applicazioni che modificano il comportamento del viaggiatore;
 - b. Realizzazione di strumenti che aiutano la gestione della domanda di trasporto.

Il grafico di figura 5 rappresenta in modo compatto le linee strategiche per l'ITS.



Figura 5 - Integrazione di diverse applicazioni ITS

Una questione molto critica: sinergie e conflitti tra obiettivi di efficienza energetica e sicurezza

Nei paragrafi precedenti si sono analizzati i principi per migliorare l'efficienza energetica nei trasporti e ne sono derivate indicazioni generali su applicazioni ITS. Una considerazione ulteriore riguarda possibili sinergie o conflitti con altri obiettivi importanti, quali sicurezza, confort, costo del trasporto.

Vista l'importanza della sicurezza stradale, è necessario esaminare – in breve – almeno questo aspetto; al proposito, si impongono tre considerazioni:

- Alcune applicazioni ITS hanno effetti positivi sia sull'efficienza che sulla sicurezza. Basti citare le applicazioni che razionalizzano la domanda e la dirottano su modi più efficienti e più sicuri, o quelle che migliorano la gestione del traffico, o infine quelle che impongono il rispetto delle regole. E' solo necessario, al proposito, ricordare che alcuni modi molto efficienti (esempi: le due ruote in generale e le biciclette in particolare) potrebbero, in assenza di contromisure adeguate, ridurre la sicurezza globale.
- Altre applicazioni (tutte quelle che interagiscono direttamente con il guidatore) corrono il rischio di aumentare la distrazione del guidatore stesso. Al proposito esiste, non a caso, una piena consapevolezza da parte del settore automobilistico, che da tempo si fa carico del progetto "sicuro" delle interfacce uomo-macchina (HMI). Esistono ampi studi, "best practices", raccomandazioni recepite positivamente. Resta, purtroppo, del tutto aperto il problema di come regolare le applicazioni sulle apparecchiature "in mano all'utente" (i "nomadic systems"), di uso sempre più generale.
- Infine, il punto più importante: NON si può pensare di risolvere i problemi di efficienza con un aumento generalizzato delle velocità grazie alle applicazioni ITS. La riduzione dei tempi di viaggio è desiderio comune (e, come abbiamo visto, è utile non solo all'utente, ma anche alle città e alle emissioni), ma deve avvenire mediante la riduzione dei tempi morti e dei tempi persi nei rallentamenti e nelle congestioni e NON deve comportare un aumento delle velocità di punta o di crociera. La variazione di velocità media si deve ottenere attraverso la variazione dei profili di velocità, non con l'aumento delle velocità di punta o di crociera. Da studi commissionati dall'Unione Europea risulta che il ridurre la velocità media di guida a parità di profilo di velocità di 3 km/h salverebbe attorno a 5000-6000 vite ogni anno e preverrebbe circa 120.000-140.000 incidenti, risparmiando 20 miliardi di euro in costi (e l'aumento farebbe il contrario). Portare la velocità massima nei centri cittadini da 50 km/h a 30 km/h diminuirebbe il rischio di morte di ben 8 volte. La sfida dell'ITS DEVE essere quella di mostrare, con dati concreti, che si possono ridurre velocità di punta e di crociera (aumentando quindi di molto la sicurezza) senza penalizzare l'efficienza (recuperando sui tempi morti e sui tempi di congestione).

3.1 La misurazione e la stima dell'impatto dell'ITS sulle emissioni di CO₂

Sono stati condotti finora pochi studi con lo specifico obiettivo di misurare l'impatto dell'ITS sulle emissioni di CO₂. Esistono però risultati di prove e sperimentazioni già realizzati che possono fornire indicazioni di massima molto utili (alcuni esempi sono presentati nel capitolo seguente).

Bisogna però sottolineare che, soprattutto nel caso dei sistemi e approcci innovativi, come ad esempio l'"eco-driving" ed i sistemi cooperativi, ci possono essere "micro-effetti" sulla guida dei veicoli oppure sui flussi di traffico, che i modelli delle emissioni attuali non sono in grado di stimare in modo preciso e affidabile.

Per questo motivo sono in corso iniziative a livello internazionale (EU-Giappone-US) per sviluppare nuove metodologie di misurazione e per stabilire approcci comuni per valutare l'impatto di applicazioni ITS singole ed integrate (si veda: Technical Report of the EC-METI Task Force [1]).

Per questo motivo, le iniziative che prevedono sperimentazioni sul campo per misurare l'impatto di sistemi ITS sui consumi e/o sulle emissioni, come i "Field Operational Tests" (FOT) sono di grande valore. (I FOT sono un'iniziativa della CE (DG Info) per coordinare sperimentazioni e test sul campo delle tecnologie innovative ITS).

Nel seguito del documento si utilizzeranno i risultati sperimentali noti dalla bibliografia e dall'esperienza, discutendoli, adattandoli se necessario al caso Italiano ed estrapolandoli alla scala necessaria.

4 Sistemi ed applicazioni ITS: i possibili impatti

Le varie applicazioni ITS che sono attualmente disponibili, o che si può immaginare di realizzare con l'utilizzo dei sistemi cooperativi (che sono attualmente in fase di prototipazione in diversi progetti europei), possono essere utilizzate per ridurre i consumi e conseguentemente le emissioni. Le varie applicazioni ITS possono essere suddivise in differenti ambiti applicativi.

In questo documento seguiamo uno schema proposto in ambito CE, dal gruppo EC-METI Taskforce:

- navigazione e informazioni al conducente
- controllo e gestione del traffico
- gestione flotte di trasporto pubblico
- cambiamenti del comportamento del conducente ed eco-driving
- gestione della domanda e degli accessi
- gestione della logistica e delle flotte merci
- apparati per la rilevazione delle infrazioni

Di seguito sono riportati le descrizione ed i possibili impatti di tali sistemi sulle emissioni di CO₂. L'ordine di esposizione segue lo schema veicolo-guidatore-operatore.

4.1 Sistemi per la navigazione e l'informazione in viaggio

Informazione in viaggio e navigazione sono funzioni assai articolate e complesse. Per valutare gli impatti è conveniente comprendere esattamente cosa significa Navigazione e come i diversi sistemi disponibili sul mercato possono essere classificati.

Una distinzione importante è quella fra navigazione "statica" e "dinamica".

Per **navigatore statico** si intende un navigatore tipicamente "on board" che consente di avere il percorso fra un punto (indirizzo) origine e una destinazione sulla base di valori fissi e invarianti delle impedenze dei singoli archi della rete stradale (espressa sotto forma di grafo della mappa stradale).

I *costi* sulla base dei quali si calcola la convenienza di un percorso rispetto ad un altro (detti anche "*impedenze*"), sono generalmente la lunghezza o il tempo di viaggio ritenuto "medio" sui diversi archi stradali e sono valori fissi costanti definiti in funzione del contesto e delle caratteristiche fisico-funzionali delle strade stesse.

Il calcolo del percorso viene effettuato avendo la possibilità di scegliere se si vuole il percorso più veloce, più corto, solo autostradale, solo per i mezzi pesanti, (che corrisponde a pesare in modo opportuno un costo "generalizzato", o operare su un sottoinsieme di archi della rete). In ogni caso il risultato è indipendente dal momento in cui si fa la richiesta di percorso.

Il percorso può essere programmato tenendo conto di tappe intermedie o impostando profili particolari di velocità, quali per esempio, autovetture, autocarri o pedoni. Se lo si desidera, durante il viaggio il navigatore può

emettere avvisi grafici o acustici su eventuali limiti di velocità presenti e generalmente fornisce l'ora di arrivo prevista, la distanza e il tempo di viaggio restante.

La maggior parte dei navigatori attualmente utilizzati sia di primo impianto che After market sono di questo tipo.

La definizione di **navigatore dinamico** è invece un po' più complessa. Si possono infatti intendere più oggetti.

Se si guarda l'attuale offerta di navigatori sia di primo impianto che installati dopo l'inserimento sul mercato, sotto la voce "dinamici" si trovano per lo più quelli per i quali "navigazione dinamica" significa che le informazioni sul traffico, sono quelle disponibili come dati TMC (Traffic Message Channel) acquisiti grazie alla sottoscrizione del servizio fornito da qualche Service Provider. I dati sugli eventi TMC vengono considerati nella elaborazione per la pianificazione del percorso. Il navigatore, non appena riceve informazioni relative a code o ingorghi, calcola autonomamente un'eventuale deviazione dal percorso originario. Anche senza dati TMC è comunque possibile evitare l'ingorgo, richiedendo manualmente il calcolo di un percorso alternativo.

In realtà però, per navigatore dinamico si intende un navigatore che consente di avere il percorso fra un punto (indirizzo) origine e una destinazione sulla base di valori delle impedenze, variabili in funzione delle reali condizioni di traffico dei singoli archi della rete stradale (espressa sempre sotto forma di grafo della mappa stradale). È evidente che l'aggiornamento delle impedenze per tutti gli archi della rete richiede un trasferimento di una elevata quantità di dati con costi e problemi di performance non indifferenti. Ragione per la quale un navigatore dinamico in questi termini è solo off-board dove i calcoli e le impedenze sono disponibili solo al centro e quanto viene trasmesso è solo il percorso.

La differenza sostanziale è che nel caso dei navigatori dinamici attuali l'ingorgo o il problema viene "aggirato" con un percorso alternativo, ma le impedenze degli archi di rete sono sempre uguali, salvo proprio quella degli archi oggetto del problema. Non c'è quindi una dipendenza delle impedenze dalle reali condizioni del traffico che sono per loro natura variabili nel tempo indipendentemente dagli eventi che accadono e che vengono eventualmente notificati.

La figura che segue riporta l'andamento, con risoluzione ai 5', del valore del rapporto fra velocità reale e velocità "speed category" (statica) desunto sulla rete delle strade principali di Torino. I dati a Torino sono disponibili grazie al sistema 5T ogni 5' sul 20% circa della rete e ogni ora sull'80%.

Come è facile osservare il rapporto medio in ora di punta è inferiore a 0,6 ovvero la velocità media nell'ora di punta è dell'ordine del 60% di quella "statica"; localmente si possono avere situazioni in cui questo rapporto diminuisce arrivando anche a 0,2.

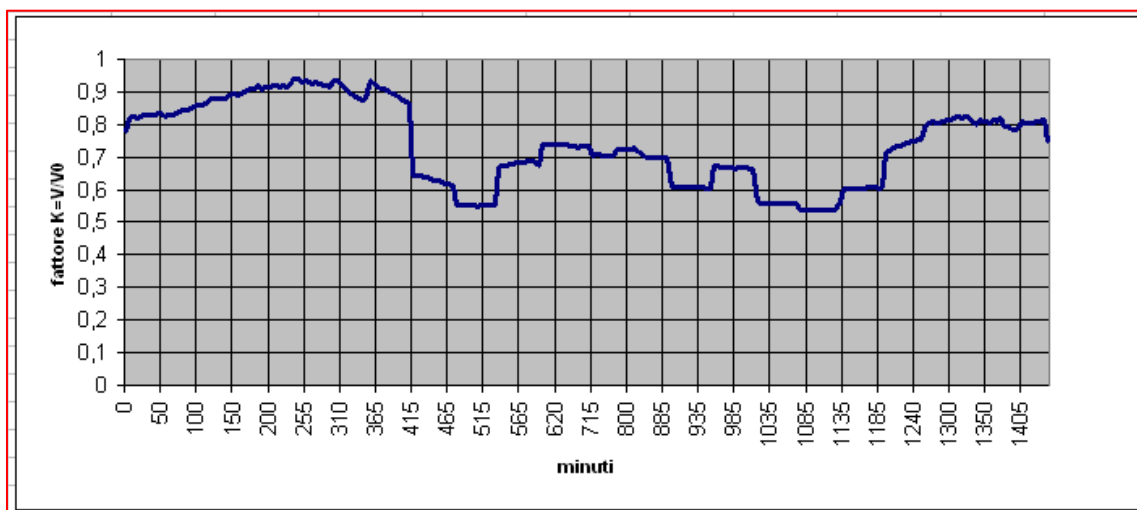


Figura 6 - Rapporto tra velocità reale e statica rilevata a Torino. Fonte: 5T

L'obiettivo quindi ragionevole per un **navigatore dinamico on-board** è quello di poter avere per tutti gli archi della rete delle impedenze che siano rappresentative delle condizioni di traffico medie probabili nei diversi momenti della giornata;

Su questa strada si stanno ormai muovendo sia i produttori di mappe (NAVTEQ con i cosiddetti "Traffic Pattern" e TELEATLAS con gli "Speed-Profile") sia i produttori di navigatori come Tom-Tom con IQ-Routes che provider di dati di traffico come INRIX.

Sostanzialmente si tratta di aggiornare, o meglio integrare le "mappe" con delle informazioni aggiuntive: le impedenze "time dependent" ovvero informazione tipicamente discretizzate al ¼ d'ora che hanno una loro validità nel tempo (le medie probabili variano con dinamiche sicuramente superiori alla frazione di anno) e quindi le mappe integrate possono di fatto essere fornite come "add-on" dei navigatori on-board statici per aggiornarli a dinamici; è sufficiente che le mappe abbiano anche le impedenze "time-dependent".

L'utilizzo di dati "dinamici" ovvero variabili nel tempo con risoluzione dell'ordine della frazione di ore comporta anche la necessità di aggiornare gli algoritmi di determinazione del percorso.

Oggi, infatti, tutti gli algoritmi utilizzati per la navigazione sia "on board" che sui siti web di navigazione, non avendo il problema di impedenze variabili nel tempo fanno uso di algoritmi classici (l'algoritmo A* e i suoi perfezionamenti è il più utilizzato), i quali, però, se utilizzati con impedenze variabili nel tempo non possono fare altro che determinare il percorso sulla base del cosiddetto "instantaneous travel time" ovvero calcolato utilizzando per tutti gli archi della rete le impedenze relative allo stesso intervallo temporale (quello di "partenza" del viaggio piuttosto che quello di "arrivo").

Il risultato distorto è evidente: se richiedo al tempo x un percorso e questo viene determinato usando le impedenze "attuali" non ho nessuna garanzia che quel percorso sia quello valido se la congestione avviene dopo y minuti dalla richiesta di percorso. L'utente si trova quindi suo malgrado su un percorso che non avrebbe dovuto essere consigliato se si fosse tenuto conto del fatto che il viaggio progredisce nello spazio e nel tempo così come le condizioni di traffico mutano nel tempo in ciascun luogo.

Una ulteriore evoluzione dei navigatori, peraltro non ancora disponibile è la possibile aggiunta di una base dati "on board" contenente oltre alle impedenze time dependent (tempi o velocità) anche informazioni sulla evoluzione del traffico medio probabile storico (in termini di flusso espresso in veicoli/h) nel tempo che consentirebbe un ulteriore livello di elaborazione on-board; infatti, qualora sia nota, ad esempio via RDS-TMC la presenza di eventi quali cantieri o incidenti, sarebbe possibile effettuare una stima del ritardo indotto dall'evento ipotizzando che le condizioni di domanda non cambino rispetto a quelle storiche.

Sulla base delle considerazioni precedenti una classificazione della funzione di navigazione può essere effettuata in relazione alle seguenti caratteristiche:

- **ambito nel quale è resa disponibile all'utente:**
 - o On-board
 - o At-home
- **disponibilità o meno di connessione con un centro servizi:**
 - o Stand-alone
 - o Connected
- **tipologia di dati disponibili:**
 - o Basic (impedenze funzione del tipo di strada e delle caratteristiche fisico-funzionali)
 - o Enhanced (impedenze funzione anche della pendenza, della presenza di semafori o altri elementi di discontinuità)

- o Historical Traffic Dynamic (impedenze funzione delle condizioni medie probabili del traffico nelle diverse ore del giorno e nei diversi tipi giorno)
- o Traffic event (eventi di traffico quali incidenti, lavori, code)
- o Actual and forecasted traffic dynamic (impedenze funzione delle condizioni del traffico attuali e previste).

E' anche rilevante la distinzione relativa a **dove viene elaborato il percorso** consigliato:

- se vien elaborato a bordo del veicolo si parla di "On-board Navigation"
- se invece viene elaborato al centro si parla di "Off-board Navigation".

Infine c'è una ulteriore distinzione importante che è relativa **all'obiettivo della richiesta di navigazione dell'utente**:

- Richiesta di un percorso per **raggiungere una destinazione** perché non si conosce la rete. E' questa la situazione standard dei navigatori attuali che vengono acquistati per lo più per evitare di usare cartine, mappe cartacee, stradari etc .
- Richiesta del **percorso "migliore" per raggiungere una destinazione** per metterci il meno possibile o per consumare il meno possibile. E' quello che oggi alcuni navigatori cominciano ad offrire, come ad esempio Tom-Tom con IQ-Routes, che fornisce indicazioni sui tempi di viaggio distinguendo i tipi giorno e le ore del giorno.

Sulla riduzione dei consumi

A proposito quindi di navigazione e di impatti che la funzionalità può avere sulla riduzione delle congestioni e dei consumi – e delle emissioni di CO₂- è opportuno ricordare alcune questioni importanti.

La prima è che il traffico, specialmente in aree urbane congestionate senza eventi eccezionali, si distribuisce sulla rete in modo da garantire una condizione di equilibrio. La condizione di equilibrio è stata enunciata da Wardrop nel 1952; viene ora comunemente denominata come *equilibrio dell'utente (UE: User Equilibrium)*. Si ha una situazione di equilibrio di Wardrop (primo principio) quando: *i tempi di viaggio su tutti i cammini utilizzati tra una coppia o/d sono uguali tra di loro e minori di quelli che sarebbero impiegati su un qualunque altro cammino, oppure : nessun utente può ridurre il suo tempo di viaggio cambiando il solo percorso; infine: ogni utente viaggia su un cammino di costo minimo.*

Questo evidentemente vale nell'ipotesi che l'utente scelga il percorso sulla base della sua esperienza pregressa e quindi sulla base della sua conoscenza storica della rete e delle sue prestazioni. E' però del tutto evidente che nei giorni si ha una variabilità "casuale" delle prestazioni e si avranno scostamenti rispetto all'equilibrio. Inoltre se avvengono eventi eccezionali, che cambierebbero l'equilibrio, ma non sono noti agli utenti che sono quindi distribuiti sui percorsi dell'equilibrio "storico", si ha una inefficienza del sistema.

La navigazione, se effettuata in modo "centrale" (solo al centro è nota la distribuzione di equilibrio) e utilizzando tecniche per suggerire percorsi diversi (metodi "Multipath" che evitano di suggerire a tutti lo stesso percorso – cosa che contravverrebbe alla condizione di equilibrio, aumenterebbe le congestioni anziché diminuirle e faciliterebbe fenomeni di instabilità³), può quindi aiutare a modificare la distribuzione dei percorsi in modo da avvicinarsi all'equilibrio sia esso quello "storico" o quello che si avrebbe se gli eventi che perturbano la rete fossero noti agli utenti. Questi metodi offrono un vantaggio sicuro in tutte le condizioni di traffico; inoltre, poiché

³ E' stato ampiamente dimostrato in bibliografia che i navigatori "semplici" che indicano a tutti gli utenti lo stesso percorso (in modo "dinamico"), se usati da una percentuale rilevante di utenti in reti soggette a congestioni causano un aumento dei tempi di viaggio.

aiutano a mantenere la rete in condizioni di equilibrio (e quindi riducono le congestioni) offrono un vantaggio anche agli utenti che non usano i navigatori e trovano comunque condizioni di traffico migliori.

Si riportano in figura 7 i risultati di uno studio in simulazione su una rete (Torino, 120 incroci), fatto nell'ambito del progetto DRIVE Margot, in cui si quantificano i risultati, in quella specifica rete, in presenza di sola congestione da variabilità "normale" del traffico (senza eventi particolari). Il grafico mostra come i vantaggi per gli utenti che usano i navigatori siano molto rilevanti a basse penetrazioni e tendano a diminuire per penetrazioni crescenti; al contrario, i vantaggi per gli altri utenti aumentano col numero di chi li usa; ancor più importante notare che c'è un beneficio per tutti gli utenti (stimabile intorno al 5%).

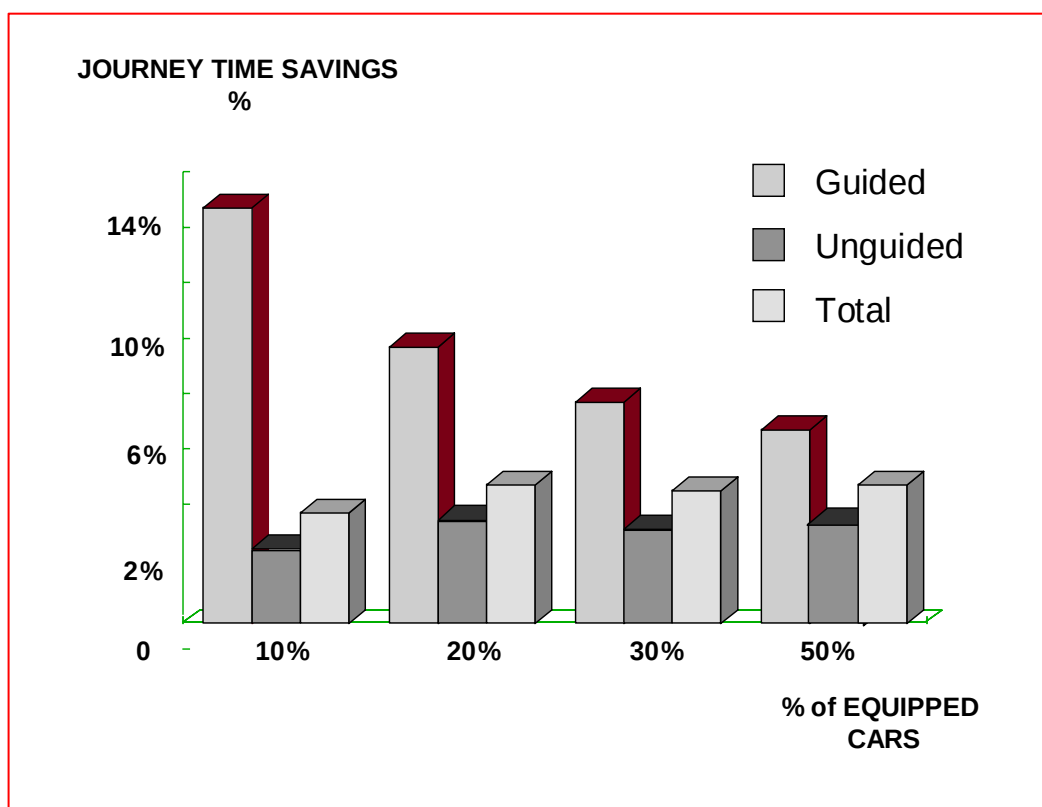


Figura 7 - Risparmi di tempo di viaggio in una rete urbana soggetta a congestioni variabili, al crescere del numero di utenti del servizio di navigazione. Strategia "multipath" di equilibrio.

Fonte: Progetto DRIVE Margot

Il risultato riportato sopra è relativo ad una specifica rete urbana; è comunque noto in generale che indicazioni di percorso fornite in modo corretto ad utenti in movimento sulla rete dove sono presenti solo perturbazioni dovute alla dinamica del day-to-day consentono vantaggi in termini di riduzione dei tempi di viaggio, quantificabile in risparmi variabili con la penetrazione. Se gli utenti sono pochi (e fortunati, possiamo ben dire) i loro risparmi possono anche superare il 20%; per penetrazioni intorno al 10-20% ottengono benefici ancora dell'ordine del 10-20% (maggiori se la rete è congestionata e offre diverse alternative), poi i benefici individuali scendono. Al contrario, salgono i benefici collettivi e si stabilizzano a valori intorno al 5%.

Ovviamente i vantaggi sono superiori (anche del 50% e oltre) se si considera la situazione conseguente ad eventi eccezionali; per questo caso non si possono dare risultati generali, ovviamente. Inoltre, bisogna ricordare che il beneficio è limitato a coloro che viaggiano nella zona di influenza dell'evento eccezionale.

Da quanto detto si evince che, quando la quantità di dispositivi diventa consistente, la navigazione deve essere gestita centralmente “off-board” mentre con i livelli di penetrazione attuale ancora largamente inferiori alle soglie di cui sopra è evidente che anche navigatori “autonomi” forniscono vantaggi a chi li utilizza.

Per quanto riguarda l'impatto in termini di riduzione delle emissioni di CO₂ le valutazioni concordano nel riconoscere alla navigazione un contributo medio dell'ordine del 10-15%, mettendo insieme i diversi fattori (percorsi ottimizzati, percorsi inutili evitati, congestioni ridotte, etc.).

Per capire quanto possa essere importante anche la semplice ottimizzazione del percorso (statico), si può citare una indagine sui guidatori, recentemente effettuata da NUSTATS. Sono stati monitorati i comportamenti di gruppi di guidatori (con registrazione delle informazioni di velocità e posizione dei veicoli durante i viaggi), in due aree metropolitane della Germania (Monaco e Dusseldorf), analizzando quindi i comportamenti individuali in più di 2.100 viaggi corrispondenti a circa 20.000 km e 500 ore di guida (*Report Annual Fuel Savings Resulting From Navigation System Use*). Tale indagine è stata commissionata da NAVTEQ, produttore di mappe digitali.

Il campione era suddiviso in tre gruppi di utenti: quelli senza navigatore, quelli con navigatore convenzionale (statico) e quelli con navigatore integrato con dati di traffico (traffic pattern). Il risultato ha confermato che coloro che utilizzano il navigatore riducono le lunghezze dei viaggi e ci mettono meno tempo. E' stata inoltre valutata una riduzione del 12% circa dei consumi per coloro che utilizzavano il navigatore. Percentuale che sale consistentemente quando il navigatore è integrato con dati di traffico e viene utilizzato nelle ore di punta (in accordo con quanto detto prima sulla riduzione della congestione – si è ancora nel caso di “pochi e fortunati” utenti). Dall'analisi dei dati si è anche verificato che esiste una sorta di “curva di apprendimento” dell'uso del navigatore, infatti i risparmi aumentano mano a mano che si utilizza il dispositivo e sono più marcati nella seconda metà del periodo di osservazione.

In conclusione, per sintetizzare e rendere più facilmente leggibile l'articolazione dei navigatori si introduce una macro classificazione in relazione agli elementi che maggiormente caratterizzano non tanto i navigatori quanto le loro logiche di funzionamento.

Si hanno pertanto 4 “generazioni” di navigatori:

- **1G:** navigatori statici che utilizzano le impedenze delle mappe (dipendenti dalle caratteristiche geometriche e funzionali delle strade) e reagiscono agli eventi (incidenti) indicando percorsi alternativi (incident avoidance)
- **2G:** navigatori dinamici che utilizzano dati di traffico in tempo reale considerando le impedenze “attuali” (instantaneous travel time)
- **3G:** navigatori dinamici che utilizzano dati di traffico “time dependent” calcolando il percorso considerando l'evoluzione nel tempo nello spazio della posizione del veicolo
- **4G:** navigatori dinamici che oltre a considerare i dati “time dependent” considerano esplicitamente la presenza di altri veicoli che vogliono ottimizzare il loro percorso (parole chiave: Multipath e equilibrio).

Questa riportata in tabella 1 è la classificazione di riferimento utilizzata nella tabella di sintesi, rispetto alla quale si quantificano i benefici:

Sistema	CO ₂	NO _x	Tempi viaggio	Sicurezza stradale
Navigatori 1G	basso	basso	medio	=
Navigatori 2G	medio	medio	medio	=
Navigatori 3G	medio	medio	medio	=
Navigatori 4G	alto	alto	alto	=

Tabella 1 – Impatto dei navigatori per la riduzione di CO₂, NO_x, tempi di viaggio e sicurezza stradale. Legenda: impatto "basso": < 3%; "medio": 3÷10%; "alto": > 10%

4.2 Sistemi per la gestione ed il controllo del traffico

I sistemi di gestione e controllo del traffico sono strumenti estremamente potenti per ridurre l'impatto ambientale.

Fanno parte di questa tipologia tutti quei sistemi, che grazie a logiche di controllo più o meno complesse, regolano la circolazione stradale sia in ambito urbano che in ambito extraurbano ed autostradale.

4.2.1 Sistemi di controllo del traffico urbano

I sistemi di controllo del traffico urbano (Urban Traffic Control - UTC) sono sistemi che regolano gli impianti semaforici, agendo direttamente sui dispositivi di attuazione, per coordinare tra di loro le intersezioni adiacenti e rendere il traffico maggiormente scorrevole. Esistono differenti tipologie di sistemi UTC, ognuna di esse con peculiarità differenti, e dunque con impatti potenziali differenti.

Questi sistemi impattano positivamente, ma indirettamente, anche sulla sicurezza stradale: infatti riducendo il tempo di permanenza dei veicoli su strada e fluidificando il traffico, viene ridotto il rischio di incidenti.

4.2.1.1. Rete di semafori a piani fissi coordinati

Questo è il più semplice metodo di gestione e regolazione del traffico urbano. Dal punto di vista hardware, si interviene solamente sui regolatori semaforici, all'interno dei quali vengono impostate delle politiche di gestione del traffico predefinite; tali politiche sono invarianti e il sistema non è in grado di reagire né a situazioni eccezionali, come ad esempio improvvise congestioni dovute ad incidente, né di adeguarsi alle lente evoluzioni del traffico. Solitamente vengono impostati a calendario, dei piani semaforici che cambiano nelle ore di punta, nelle ore di morbida e di notte.

L'impatto di tale tipologia di sistema sulle riduzioni di CO₂ si può considerare basso; naturalmente tale impatto dipende in buona parte dalla bontà dei piani semaforici predeterminati. L'aggiornamento dei piani semaforici è molto lento rispetto alle dinamiche del traffico; infatti i benefici che si ottengono da tale tipologia di sistema sono limitati nel tempo, in quanto in seguito le dinamiche del traffico cambieranno rendendo la pianificazione obsoleta nel giro di alcuni mesi.

Gli altri impatti sulle emissioni nocive, ad esempio NO_x, sono dello stesso ordine di grandezza della riduzione di CO₂, mentre non si osservano benefici significativi sulla sicurezza stradale; l'impatto sui tempi di percorrenza

generalmente è basso; talvolta il coordinamento semaforico può localmente avere un impatto significativo a seconda della configurazione dell'incrocio e della situazione di traffico.

4.2.1.2 Sistema UTC a selezione di piano

I sistemi per il controllo semaforico a selezione di piano gestiscono le fasi semaforiche in base a piani predeterminati, come accade per i sistemi a piani fissi coordinati; rispetto alle reti di semafori illustrate precedentemente, viene realizzato un sistema di centralizzazione semaforica che utilizza sensori per la misura istantanea del traffico nell'area gestita; nel caso in cui i dati raccolti dai sensori seguano un profilo predeterminato, chiamato scenario di traffico, vengono attuati i piani corrispondenti; l'impianto semaforico attua il ciclo semaforico più adatto alla situazione del momento. La flessibilità di tali sistemi nel trattare improvvise congestioni di traffico è minima. Il ritardo con cui uno scenario di traffico viene riconosciuto non è inferiore al quarto d'ora.

L'impatto di tale tipologia di sistema sulle riduzioni di CO₂ si può considerare moderato; l'impatto dipende in buona parte dalla bontà dei piani semaforici predeterminati e dalle politiche di switch tra un piano ed un altro.

Anche la riduzione di emissioni di NO_x si può considerare moderata. I tempi di percorrenza ottengono benefici moderati; talvolta possono riscontrarsi benefici elevati, ma solamente per particolari condizioni di traffico.

4.2.1.3 Sistemi UTC attuati dal traffico

I sistemi per il controllo semaforico attuati dal traffico consentono la micro-regolazione dell'impianto semaforico per gestire situazioni particolari ad alta variabilità di domanda, come ad esempio movimenti dedicati al trasporto pubblico, svolte con molti conflitti e così via. In questi casi il regolatore semaforico riduce attua o prolunga le fasi semaforiche in base alle necessità contingenti. Tali condizioni sono rilevate attraverso l'uso di sensori di traffico.

L'impatto di tale tipologia di sistema sulle riduzioni di CO₂ si può considerare moderata.

Anche la riduzione di emissioni di NO_x si può considerare moderata. I tempi di percorrenza ottengono benefici moderati; possono riscontrarsi benefici elevati per alcune micro-regolazioni.

4.2.1.4 Sistemi UTC adattativi

I sistemi UTC adattativi sono i sistemi più completi, ma anche i più efficaci, per la gestione del traffico urbano. Sono utilizzabili in qualsiasi condizione di traffico, sia su reti di piccole dimensioni che su reti molto complesse (ovvero con centinaia di incroci) e sono in grado di rispondere velocemente a situazioni di traffico critiche. Tale tipologia di sistema utilizza algoritmi adattativi per definire in maniera dinamica (nell'ordine di pochi secondi) la miglior politica di gestione semaforica, in base ai dati di traffico rilevati dai sensori di incrocio, alle decisioni e ai dati ricevuti dalle intersezioni circostanti e alle politiche impostate dal centro di gestione della mobilità. Tali sistemi sono normalmente dotati di algoritmi predittivi che consentono di prevenire situazioni di traffico critiche.

Gli algoritmi di ottimizzazione sono basati su modelli di traffico: in altre parole è insita nel sistema la conoscenza della rete; agendo sui parametri del modello è possibile modificare gli obiettivi dell'ottimizzazione del traffico (ad esempio privilegiare un flusso, ridurre il numero di fermate ai veicoli privati, privilegiare il trasporto pubblico e così via).

I sistemi UTC adattativi sono gli unici che riescono ad assegnare la priorità ai mezzi pubblici senza penalizzare il traffico privato; a Torino, i risultati parlano di un aumento della velocità commerciale dei veicoli pubblici del 17% e una contemporanea riduzione dei tempi di viaggio dei veicoli privati del 20%, come si evidenzia dalla figura 8. Tale riduzione impatta sulle emissioni di CO₂, riducendole di circa il 10%; le emissioni di NO_x possono essere ridotte dello stesso ordine di grandezza.

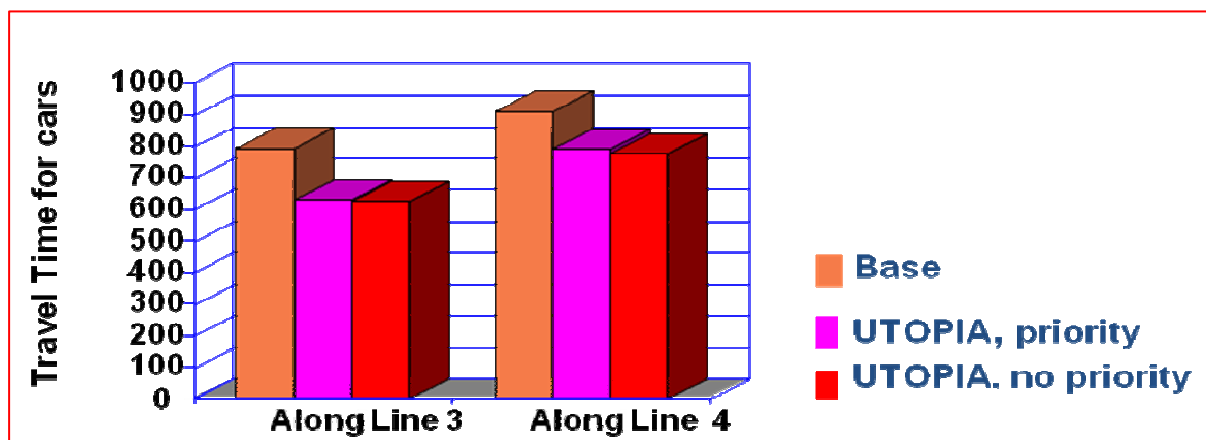


Figura 8 – Tempi di viaggio senza sistema UTC, con sistema UTC adattativo con priorità TPL e sistema UTC senza priorità TPL per le linee 3 e 4 di Torino.
Fonte: 5T

Sono state effettuate simulazioni per confrontare le prestazioni tra un sistema adattativo ed un sistema attuato dal traffico, su uno scenario composto da 5 intersezioni; considerando la fascia oraria dalle 17.00 alle 18.00 i risultati ottenuti sono i seguenti:

- consumi: -11%
- CO₂: -11%
- NO_x: -14,3%
- velocità: +13,16%
- numero di stop: -19.96%

Come si può notare il sistema adattativo ha prestazioni nettamente migliori rispetto ad un controllo attuato dal traffico, che comunque già consente di migliorare l'impatto ambiente.

4.2.2 Indirizzamento parcheggi

Il sistema, come indica il nome, fornisce indicazioni circa la disponibilità di posti nei parcheggi in struttura o controllati e ne indica la direzione per raggiungerli. Il sistema è adatto a città con scarsa disponibilità di parcheggi.

Il sistema consente di ridurre i tempi di ricerca del parcheggio, con conseguente riduzione di consumi ed emissioni: è stato stimato che a Colonia, città tedesca di circa un milione di abitanti, il tempo di ricerca di parcheggio è circa il 30% del tempo di viaggio (tra i 5-6 minuti in termini assoluti). Conseguentemente la diminuzione di questo tempo impatta sulla riduzione di emissioni. La riduzione delle emissioni di CO₂ può essere stimata come modesta; dello stesso ordine di grandezza per ciò che riguarda la riduzione di NO_x.

Il sistema non presenta vantaggi evidenti per ciò che riguarda la sicurezza stradale.

4.2.3 Sistemi di controllo del traffico extraurbano ed autostradale

4.2.3.1 Sistemi di informazione e indirizzamento collettivo

I sistemi di informazione ed indirizzamento hanno l'obiettivo di far conoscere al maggior numero di conducenti possibile informazioni diverse attraverso l'uso di pannelli a messaggio variabile. Le informazioni possono riguardare eventuali situazioni di congestione ed i relativi consigli di re-routing o tempi di viaggio su particolari tratte autostradali. Tale tipo di sistema si adatta sia a scenari urbani che extraurbani.

I vantaggi derivanti da tale tipologia di sistema con l'indicazione dei tempi di viaggio è stato misurato, all'interno del progetto europeo Easyway, su tratti extraurbani autostradali, evidenziando una riduzione di CO₂ è molto limitato (dallo 0 all'1%).

In ambito urbano, dove le possibili alternative di percorso a disposizione degli utenti informati sono verosimilmente più numerose, il vantaggio in termini di riduzione di CO₂ è probabilmente più elevato.

L'impatto ambientale per ciò che concerne altri tipi di inquinanti è paragonabile al vantaggio ottenuto in termini di CO₂; tuttavia l'indicazione di congestioni, code ed eventuali incidenti consente di ridurre gli incidenti secondari, con effetti benefici sulla sicurezza stradale.

4.2.3.2 Section control e limite di velocità variabile

Tale sistema consente di modificare il limite massimo di velocità su tratte autostradali in base alle reali condizioni del traffico; inoltre il sistema può essere calibrato anche con algoritmi che tengano in considerazione parametri di efficienza energetica oltre che di efficienza dell'infrastruttura stradale.

L'impatto potenziale di tale tipo di sistema è elevato, come dimostrano varie sperimentazioni europee: ad esempio a Barcellona, nell'arco di una sperimentazione durata 6 mesi, si sono ottenuti i seguenti risultati:

- 3,7 % riduzione di consumi
- 3,7 % riduzione di emissioni di CO₂
- 4 % riduzione emissioni di NO_x
- 3 % riduzione di emissioni di particolati

Altra sperimentazione ed installazione del sistema si trova in Francia, sull'autostrada A7: in questo caso la riduzione di emissioni nocive è addirittura del 7%.

Come ultimo esempio si riporta quello dell'autostrada M25 in Inghilterra, dove con l'uso di questo sistema si ottengono riduzioni tra il 2% e l'8% delle emissioni.

Il sistema inoltre ha effetti benefici sia sulla sicurezza che sui tempi di viaggio: infatti, agendo sulla velocità dei flussi di traffico per evitare le congestioni, il traffico è più fluido, aumentando quindi la velocità di deflusso e riducendo gli stop/start, con conseguenti effetti sulla riduzione di incidenti. Tali dati sono riscontrabili anche sul sistema Dynamic Speed Control installato a Mestre, con i seguenti risultati:

- aumento della velocità del 5,7%
- diminuzione della densità (veicoli/km) del 9,4%

- riduzione del tempo di congestione del 21,4%.

4.2.3.3 Ramp metering

Il sistema di ramp metering consente di regolare gli accessi alle tangenziali ed alle autostrade attraverso l'utilizzo di semafori posti sulle rampe di ingresso. La regolazione consente di immettere vetture sull'autostrada in modo da minimizzare i conflitti e conseguentemente il rischio di arrivare al "collasso" del traffico proprio nella fase di merging fra le correnti veicolari. Le tecniche utilizzate sono diverse e si differenziano in particolare se fanno riferimento a controllo isolato delle rampe di accesso (ciascuna rampa è regolata in modo indipendente dalle altre), o se la strategia è applicata all'insieme delle rampe in modo da coordinare la regolazione.

Il sistema grazie alla sua capacità di fluidificare il traffico impatta sulla riduzione dei tempi di viaggio e sulla riduzione di emissioni: come dimostrato dal progetto europeo Tabasco che ha rilevato una diminuzione tra il 5% e il 13% dei tempi di viaggio e delle emissioni di NO_x tra l'8% e l'11% nelle ore di punta. Si può quindi supporre un impatto sulla riduzione di CO₂ leggermente inferiore.

Altri dati interessanti si possono estrapolare dal report di valutazione del sistema di ramp-metering in esercizio sulla Tangenziale di Mestre dal 2001 nell'ambito del sistema MARCO (Motorway Access Regulation and COntrol), dove la velocità media (considerando sia i tratti in itinere che le rampe di accesso) è aumentata in media del 6,1% nel periodo diurno (dalle 6 alle 22), ma con incrementi sensibilmente superiori proprio nelle ore maggiormente trafficate (+ 16,4% dalle 17 alle 20) e nelle situazioni più critiche: la direzione Trieste risulta la più compromessa in termini di fluidità del traffico e grazie al sistema di RM in questa direzione la velocità di chi percorre tutta la tangenziale è aumentata nel periodo diurno del 13% e nell'ora di punta serale (dalle 17 alle 20) del 22%.

Il sistema può anche impattare positivamente sulla sicurezza: consentire gli accessi all'autostrada in modo compatibile con i flussi in arrivo in itinere riduce i conflitti e conseguentemente la probabilità di incidente.

4.2.3.4 Attivazione della corsia di emergenza per congestione

Il sistema comanda una serie di pannelli a messaggio variabile posti al di sopra della corsia di emergenza delle Autostrade; con l'attivazione di una luce verde il sistema consente ai veicoli di circolare su tale corsia. Il sistema consente quindi ai veicoli di transitare sulla corsia di emergenza nei momenti di congestione delle corsie di marcia tradizionali.

Il sistema ha impatti ambientali importanti: consente di ridurre i consumi e le emissioni di CO₂ del 4%, mentre la riduzione di particolato è del 10%.

Il sistema ha impatti anche sulla riduzione dei tempi di viaggio, in quanto consente di utilizzare una corsia aggiuntiva per la marcia. Il sistema non sembra avere effetti negativi sulla sicurezza stradale; potrebbe avere impatti positivi sull'eliminazione di incidenti legati al traffico variabile (tamponamenti, incidenti secondari).

4.2.4 Sistemi di gestione del traffico integrati: Piattaforma integrata regionale

Si tratta di un sistema di monitoraggio e controllo del traffico Real-Time che opera su scala regionale e che integra funzioni di:

- acquisizione Real-Time di misure provenienti dalla strada (sia da sensori fissi che provenienti da Floating Car Data)

- simulazione Real-Time dello stato di tutta la rete di competenza (anche della parte non misurata)
- controllo e gestione del traffico attraverso l'applicazione automatica Real-Time di opportune politiche informative.

Per quanto attiene la simulazione, sulla base della domanda di mobilità (matrici O/D) e delle caratteristiche dell'offerta di trasporto (grafo + eventi), ed in accordo con le misure provenienti dalla strada, la funzione determina la distribuzione Real-Time dei flussi veicolari sulla rete di competenza, stimando i tempi di percorrenza e le condizioni di deflusso su tutti gli elementi del grafo.

Per rendere le stime il più possibile aderenti alle condizioni reali, il sistema raccoglie in Real-Time tutte le informazioni relative ad eventi di traffico e viabilità (congestioni, lavori, chiusure, incidenti, etc.) che riguardano la rete di competenza, integrando quelle individuate autonomamente con quelle provenienti dalle centrali operative di autorità ed enti gestori della rete stradale e dai centri di controllo urbani del traffico.

Il sistema, su tutta la rete di competenza e in Real-Time:

- stima le condizioni del traffico ed individua eventuali situazioni anomale (congestioni, incidenti, etc.)
- effettua previsioni sullo stato del traffico
- stima i tempi di percorrenza sulla rete gestita
- produce e divulga informazioni per l'utenza coerenti con l'obiettivo di gestione ottima del traffico veicolare (politiche informative) attraverso diversi canali (VMS, TV, TMC/RDS o DAB o DVB, radio, cellulare, web, navigatori, etc.)
- attua, in situazioni di "emergenza", opportune strategie di reindirizzamento dei flussi sulle strade extraurbane
- è inoltre in grado di fornire (in accordo con le politiche informative finalizzate alla gestione ottima del traffico) ai navigatori connessi itinerari dinamici basati sulle stime dello stato attuale della rete e sulle previsioni.

Il sistema permette di ridurre i tempi di spostamento sulla rete extraurbana e, cooperando con i centri di controllo urbani, di ottimizzare i flussi in ingresso nelle città e verso i parcheggi d'interscambio, riducendo i fenomeni di congestione, anche in corrispondenza dei cordoni urbani.

Il sistema, infine, costituisce un supporto alla pianificazione strategica della mobilità, sia su scala regionale che su scala locale.

Il sistema può essere quindi utilizzato come fonte dati per tutti i sistemi di controllo del traffico sopra descritti, con effetti benefici maggiori ottenuti grazie al fatto all'integrazione dei sistemi.

Sistema	CO ₂	NO _x	Tempi viaggio	Sicurezza stradale
Sistemi di controllo traffico urbano				
piani fissi coordinati	basso	basso	basso	basso
selezione di piano	medio	medio	medio	basso

attuati dal traffico	medio	medio	medio	basso
adattativi	alto (10%)	alto (10%)	alto (20%)	basso
Indirizzamento parcheggi	basso	medio	medio	=
Sistemi di controllo traffico extraurbano / autostradale				
Informazione e indirizzamento collettivo	basso/medio (0/3%)	basso	medio	medio
Section control/dynamic speed limit	medio (3,7/8%)	medio (4%)	medio	medio
Ramp metering	medio (6/8%)	medio/alto (8/11%)	medio/alto (5/13%)	=
Hard shoulder running	medio (4%)	medio (4%)	alto	=
Sistemi integrati	Fino al 10%	Fino al 11%	Fino al 13%	medio

Tabella 2 – Impatto dei sistemi di controllo traffico per la riduzione di CO₂, NO_x, tempi di viaggio e sicurezza stradale. Legenda: impatto "basso": < 3%; "medio": 3÷10%; "alto": > 10%

4.3 Sistemi per la gestione flotte di veicoli di trasporto pubblico

4.3.1 Sistema di pianificazione, monitoraggio (AVM) e rendicontazione del servizio di trasporto pubblico

Il sistema consente di pianificare il servizio ottimizzando l'uso delle risorse (veicoli ed autisti), monitorare e regolare il servizio in tempo reale e permettere a consuntivo il confronto con il servizio pianificato.

Tali sistemi sono piuttosto diffusi nelle città di grandi dimensioni; la diffusione in piccole e medie città trova resistenza da parte delle aziende di trasporto a causa della necessità di personale qualificato per la gestione del sistema stesso. Il problema può essere risolto con la costituzione di "consorzi" di aziende di trasporto pubblico che utilizzino centrali di controllo unificate.

Così come la fase di pianificazione consente di ottimizzare l'utilizzo delle risorse (veicoli e personale) per la gestione dei servizi, i sistemi AVM consentono il monitoraggio, istante per istante, dell'utilizzo delle risorse, e gli interventi necessari a contrastare eventuali scostamenti dall'ottimo di sistema.

Il sistema regolarizza i passaggi dei mezzi pubblici e gli intertempi tra i veicoli che svolgono il servizio; è noto infatti che l'irregolarità del servizio causa una diminuzione della capacità di trasporto. Il sistema consente anche, a parità di servizio erogato, di ridurre il numero di veicoli della flotta e conseguentemente le emissioni. Inoltre, migliorando la regolarità del servizio e l'informazione agli utenti, si rende il servizio stesso più appetibile alla clientela, che potrebbe optare per uno scambio modale, riducendo quindi le emissioni da traffico privato. L'analisi dei dati a consuntivo permette di rilevare situazioni di criticità nel traffico urbano identificando aree di intervento per migliorare il traffico e quindi ridurre le emissioni. Il sistema di consuntivazione del servizio potrebbe essere utilizzato dalle Amministrazioni per premiare comportamenti virtuosi (sia per la regolarità che ad esempio per gli stili di guida degli autisti) nell'erogazione del servizio.

Il sistema inoltre è integrabile con i sistemi UTC, per consentire ai mezzi pubblici di ottenere la priorità alle intersezioni semaforizzate. Con tale integrazione i mezzi pubblici possono incrementare fino al 17% la loro velocità commerciale, senza impattare negativamente sul traffico privato. Tali risultati sono riscontrabili nelle schede allegate, con i risultati ottenuti a Torino con i sistemi gestiti da 5T.

Il sistema consente di ridurre le emissioni sia di CO₂ che di NO_x, a causa del minor numero di autobus necessari alla copertura dei servizi.

Gli impatti sulla sicurezza stradale risultano essere trascurabili.

4.3.2 Sistema di bigliettazione elettronica integrata

Il sistema consente di utilizzare un unico titolo di viaggio per il pagamento di servizi di trasporto (bus, treno, metro...), o altri servizi quali parcheggi, car sharing, bike sharing e così via.

I sistemi di bigliettazione elettronica si stanno diffondendo grazie alla maturità delle tecnologie di supporto; tuttavia nella maggior parte dei casi si tratta di sistemi di bigliettazione elettronici per un singolo servizio (ad esempio trasporto pubblico), senza possibilità di integrazione con altre tipologie di servizio di mobilità. Le soluzioni integrate potrebbero favorire la penetrazione su larga scala di tale tipologia di sistema, con notevoli benefici per i gestori dei servizi.

La semplicità legata ad un unico titolo di viaggio favorisce i trasferimenti multimodali ed in generale il trasporto pubblico, riducendo le emissioni legate al traffico privato.

Il titolo elettronico potrebbe essere utilizzato per incentivare comportamenti virtuosi, con programmi di fidelizzazione per chi utilizza il trasporto pubblico.

4.3.3 Sistema di informazione all'utenza del trasporto pubblico

I sistemi di informazione all'utenza utilizzano come fonte dati il sistema di gestione e monitoraggio della flotta di mezzi pubblici; tali dati consentono all'utente di conoscere in tempo reale i tempi di passaggio dei mezzi pubblici delle varie linee. Il sistema rende il trasporto pubblico più appetibile alla clientela, favorendo lo shift modale. Inoltre, fanno parte di questa tipologia di sistemi i sistemi che indirizzano gli utenti ai parcheggi di scambio modale.

Il sistema utilizzato a Torino ha consentito uno shift modale del 3% (ovvero il 3% dei viaggiatori su mezzi privati si è spostato su mezzi pubblici), con conseguente miglioramento delle condizioni di traffico, e riduzione delle emissioni nocive quali CO₂ e NO_x.

Sistema	CO₂	NO_x	Tempi viaggio	Sicurezza stradale
Sistemi di gestione flotte mezzi pubblici	alto	alto	alto	=
Sistema di bigliettazione elettronica integrata	medio	medio	medio	=
Sistemi di informazione all'utenza del trasporto pubblico	medio	medio	n.a.	n.a.

Tabella 3 – Impatto dei sistemi di gestione flotte di tpl per la riduzione di CO₂, NO_x, tempi di viaggio e sicurezza stradale.

Legenda: impatto "basso": < 3%; "medio": 3÷10%; "alto": > 10%

4.4 Sistemi per influenzare il comportamento dei viaggiatori

I sistemi per influenzare in modo positivo il comportamento dei viaggiatori sono sostanzialmente strumenti che indirizzano il viaggiatore a mantenere comportamenti il più possibile eco-friendly. I sistemi possono dare raccomandazioni sullo stile di guida da mantenere (evitare accelerazioni brusche, mantenere una velocità costante) che possono essere veicolate sia attraverso siti internet, sia attraverso la strumentazione di bordo. Oltre agli strumenti tecnologici vi sono anche strumenti politici, appoggiati da tecnologie, che possono contribuire al cambiamento dei comportamenti dell'utente: si tratta di politiche di car sharing o di car pooling.

4.4.1 Eco-Driving

Con la sigla Eco-Driving si identifica una serie abbastanza eterogenea di “sistemi”, “dispositivi”, “protocolli”, ecc. molto diverse tra loro accomunate solo ed esclusivamente dall'obiettivo di aiutare il guidatore a ridurre i consumi e conseguentemente le emissioni di CO₂; sia che si tratti di un corso di formazione o di un dispositivo a bordo veicolo che indica il modo migliore di guidare per consumare meno, la definizione è sempre Eco-Driving.

In questo contesto piuttosto variegato, il perimetro dell'Eco-Driving per il quale si vogliono fornire indicazioni di potenziali impatti, parte dalla analisi dei dati reali di guida dell'utente, sia in tempo reale che in tempo differito, per fornire indicazioni circostanziate su come modificare i propri comportamenti di guida per ridurre i consumi e le emissioni di CO₂.

In una recente analisi condotta da CSST sulle iniziative nel campo dell'Eco-Driving a livello internazionale, queste si possono classificare in quattro categorie:

- campagne di sensibilizzazione
- training su simulatori
- training su strada
- tecnologia on-board.

Le prime tre sono in genere appannaggio di istituzioni e organizzazioni specifiche e sono sostanzialmente delle iniziative di formazione/educazione, mentre l'ultima è quella messa a disposizione dalla maggior parte delle case automobilistiche (Toyota, BMW, NISSAN, FIAT, etc.).

Nell'ambito del presente lavoro ci si concentra quindi su quest'ultima categoria distinguendo ancora il caso della *valutazione* e dei *consigli* per “guidare meglio” dati on board al conducente durante la guida, piuttosto che dati off-board a seguito della analisi di informazioni relative al comportamento di guida del guidatore nel periodo di valutazione.

Uno dei sistemi più completi della categoria On-Board è quello di BMW. Il sistema di gran lunga più interessante e diffuso fra quelli appartenenti alla categoria dei sistemi off-board è invece quello di FIAT: l'ecoDrive. Tale sistema ha avuto numerosi riconoscimenti a livello internazionale proprio per la sua originalità e livello di innovazione. Qui di seguito se ne fornisce una breve descrizione.

In occasione dell'inaugurazione del Salone di Parigi 2008, è stato presentato alla stampa internazionale “ecoDrive”, l'innovativo sistema che consente ai guidatori di auto dei marchi FIAT di capire meglio come il proprio stile di guida influenzi i consumi e l'emissione di sostanze inquinanti. “ecoDrive” è un applicativo software da installare sul proprio computer disponibile sul sito www.fiat.com/ecodrive.

In dettaglio, mentre si guida la propria vettura, "ecoDrive" raccoglie tutte le informazioni relative all'efficienza del veicolo e alle caratteristiche di guida dell'automobilista. Tutti i dati, attraverso la porta USB del versatile Blue&Me, vengono così trasmessi all'interno di una normale chiavetta USB e quindi disponibili per una successiva "lettura" su un computer.

Infatti, l'utente può analizzare con attenzione consumi ed emissioni di ognuno dei suoi viaggi (ecoIndex) e ricevere consigli su come guidare per avere un minore impatto ambientale. Grazie ad una serie di tutorial progressivi, si potrà migliorare il proprio punteggio: basti pensare che gli automobilisti più attenti ad una guida "eco-responsabile" possono attendersi miglioramenti del proprio stile di guida pari al 15%, che significa quindi: ridurre le emissioni di CO₂ del 15% e un risparmio annuo di carburante compreso tra 120 e 200 euro. Inoltre, proprio per gli "ecoDriver" di Fiat nel mondo nasce "ecoVile", una community on-line dove tutti potranno condividere l'interesse e l'impegno verso una guida eco-responsabile accedendo al sito www.fiat.com/ecodrive.

Fiat 500 e Grande Punto sono le prime vetture del Gruppo Fiat a poter utilizzare "ecoDrive". Il sistema è stato esteso al resto della gamma equipaggiata con Blue&Me (Croma e MITO). Infine, grazie al contributo degli utenti, l'applicativo "ecoDrive" è continuamente aggiornato rendendolo sempre più utile e rispondente alle esigenze dei guidatori.

"ecoDrive" è un'evoluzione del Blue&Me, la piattaforma sviluppata congiuntamente da Fiat Group Automobiles e Microsoft per la gestione delle applicazioni telematiche a bordo veicolo.

L'effetto dei sistemi di Eco-Driving sulla riduzione consumi e emissioni CO₂ è abbastanza variabile. Le valutazioni attualmente disponibili indicano valori che variano dal 5% al 18-20%.

4.4.2 Car sharing

I viaggiatori possono mantenere comportamenti eco-friendly, dipendenti solo in parte da sistemi ITS, più legati ad un'accorta politica dei trasporti: le pubbliche amministrazioni possono spingere sul car-pooling (utilizzo della stessa vettura da parte di persone che effettuano lo stesso percorso giornalmente) o sul car-sharing (ovvero il sistema per cui utenti diversi utilizzano a diverse ore della giornata la stessa vettura di proprietà di un'agenzia di car-sharing).

Il car sharing è molto utilizzato in aree metropolitane, quali ad esempio Roma, Torino, Milano.

I dati di uno studio di "IO Guido car sharing" riportano la diminuzione delle emissioni di CO₂ dovute all'abbandono dell'autovettura privata per l'autovettura del servizio di car sharing. I dati assoluti riportano una diminuzione delle emissioni annue di circa 7.000 tonnellate/anno.

Sistema	CO ₂	NO _x	Tempi viaggio	Sicurezza stradale
Eco-driving	medio-alto	medio	basso	basso
Car sharing	basso	basso	basso	=

Tabella 4 – Impatto dei sistemi ITS che influenzano il conducente per la riduzione di CO₂, NO_x, tempi di viaggio e sicurezza stradale. Legenda: impatto "basso": < 3%; "medio": 3÷10%; "alto": > 10%

4.5 Sistemi per la gestione degli accessi e della domanda

I sistemi di gestione degli accessi e di controllo della domanda sono sistemi che vengono utilizzati per limitare gli accessi in alcune aree delle città. I sistemi ITS consentono di implementare le politiche di accesso definite dalla municipalità, attraverso l'uso di telecamere con riconoscimento targhe, oppure attraverso l'uso di sistemi di pagamento elettronici.

4.5.1 Controllo accessi alla ZTL

Il controllo accessi in Zona a Traffico Limitato (ZTL) consiste nel consentire l'accesso a determinate zone della città a determinate tipologie di veicoli; solitamente viene negato l'accesso a tutti i veicoli privati, esclusi i residenti.

Inoltre, sono possibili differenti politiche di gestione della Zona a Traffico Limitato: solo in alcune fasce orarie della giornata, solo per alcune categorie di omologazione dei veicoli e così via. Nel caso in cui venga negato l'accesso alle aree ad autoveicoli con omologazione "euro" inferiore ad una certa soglia (ad esempio "euro 2"), si potrà avere l'effetto benefico sulle emissioni grazie al ricambio del parco circolante, che viene naturalmente incentivato da una politica di questo tipo; tuttavia questo influisce in minima parte sulla congestione, sui tempi di viaggio e sulla sicurezza stradale.

I sistemi ITS sono di supporto alle politiche di controllo accessi, grazie a sistemi di telecamere (i varchi), che riprendono i veicoli transitanti leggendone la targa; nel caso che la targa del veicolo non sia in "lista bianca" (ovvero non autorizzato a circolare) la polizia locale provvederà ad elevare contravvenzione.

Nella zona ad accesso limitato gli impatti sulle emissioni possono essere di media entità, in dipendenze delle restrizioni che vincolano gli accessi alle aree controllate.

4.5.2 Cordon pricing / Congestion pricing

Il cordon (o congestion) pricing è una politica di controllo accessi che permette alla municipalità di far pagare un pedaggio ai veicoli che entrano in una determinate area della città; l'importo dovuto può variare a seconda della classe di omologazione del veicolo.

Un esempio di tale implementazione è l'"Ecopass" a Milano, dove i benefici ottenuti sono significativi:

- riduzione CO₂ annua: 9%
- riduzione PM10 annua: 14-19%
- riduzione NO_x annua: 11%

Tali risultati sono da considerarsi validi per la zona della città nel quale è applicato il sistema di controllo accessi.

L'impatto è potenzialmente elevato anche nei confronti del modal split, a patto che nelle aree interessate il livello di offerta di trasporto pubblico sia adeguato: a Milano c'è stato un incremento del 16% delle corse giornaliere dei mezzi pubblici.

Sono da valutare attentamente gli effetti sulle aree esterne a quella sottoposta a congestion pricing; a Milano vi è stata una diminuzione del traffico del 3,4%, migliorando quindi anche la situazione nelle aree limitrofe alla limitazione.

4.5.3 Electronic tolling

I sistemi di tolling elettronico (ovvero di pagamento di pedaggi in modo elettronico) sono utilizzati per lo più in ambito autostradale. I sistemi attuali di electronic tolling sono basati su dispositivi a bordo veicolo che, dialogando con l'infrastruttura di terra, segnalano il passaggio del veicolo e di conseguenza attivano il pagamento del pedaggio.

Il sistema adottato da Autostrade per l'Italia è il Telepass. Tale sistema consente, oltre ad un gran risparmio di tempo per il conducente, un risparmio di consumi e conseguentemente di emissioni. Il modello di stima delle emissioni risparmiate con sistema Telepass calcola la differenza di consumo di combustibile tra un veicolo che attraversa un casello autostradale pagando il pedaggio con riscossione manuale e un veicolo che è dotato di sistema Telepass.

Mediante la simulazione di uno scenario ipotetico in cui tutti i veicoli dotati di Telepass attraversino le porte di esazione con pagamento manuale, è stato stimato il consumo di carburante aggiuntivo che sarebbe necessario in assenza dell'automazione. Tale consumo include, in particolare, il contributo della coda al casello e quello relativo alla sosta per il ritiro del biglietto (o per il pagamento) e successiva ri-accelerazione.

Al valore risultante sono stati ovviamente applicati opportuni fattori di conversione, determinando a conclusione una stima della CO₂ effettivamente risparmiata. Per l'anno 2008 tale stima è di 27.852 tonnellate di CO₂ risparmiata.

4.5.4 Electronic tolling con sistemi GPS (Pay As You Drive)

I sistemi di tolling attraverso tecnologia GPS (ovvero di pagamento del pedaggi attraverso tecnologia satellitare) rappresentano l'evoluzione dei sistemi DSRC tipo Telepass. Tali sistemi sono basati su OBU installati a bordo del veicolo che trasmettono ad una centrale operativa, l'ingresso e l'uscita di veicolo in tratto autostradale a pedaggio. In questo caso non è quindi necessaria l'infrastruttura di terra per rilevare il passaggio del veicolo stesso sul tratto autostradale a pagamento.

Con l'uso di tale tecnologia, il pedaggio può essere calcolato in base al tipo di strada percorsa, alla tipologia del veicolo (classe di inquinamento e di consumo), all'ora di percorrenza, ecc. In tal modo, l'utente paga un pedaggio in base all'uso della strada e per questo si parla di "pay as you drive" o "pay as you pollute".

A livello europeo un sistema di questo tipo è operativo in Germania per il pedaggio del trasporto merci. In Olanda, il Ministero dei Trasporti ha promosso alla fine del 2009 il Pay Per Kilometer Tax, la prima forma di pay as you drive che sarà operativa a partire dal 2012 su tutti i veicoli e che dovrebbe abbattere del 10% le emissioni di CO₂.

La flessibilità del sistema di tolling elettronico attraverso apparecchiature GPS può permettere, in futuro, l'applicazione di ulteriori policy per ridurre l'inquinamento degli autoveicoli: si potrebbe prevedere un tetto massimo annuo di emissioni per ogni conducente, es. 3 Tons di CO₂, e poi in base alla tipologia di veicolo e al suo uso calcolare le emissioni di CO₂. Si possono risparmiare annualmente delle quantità di CO₂ (es. se si ha una city car e si va in bici...) che possono essere poste sul mercato ed acquistate da chi vuole e può inquinare di più (es. chi ha una fuoriserie e si può permettere di acquistare quote di CO₂...). Questo innescerebbe un trend al ribasso dell'inquinamento e soprattutto un quantitativo di emissioni controllato. La stessa amministrazione pubblica potrebbe di anno in anno far leva sulle quantità di CO₂ a disposizione annuale, riducendole e migliorando le emissioni globali degli autoveicoli.

Un esempio pratico di come le apparecchiature per il tracciamento dei veicoli sono utilizzate si trova già sul mercato, e riguarda il settore delle assicurazioni. Avendo a disposizione i dati di posizione e di accelerazione dei veicoli, le compagnie assicurative propongono nuove polizze che consentono risparmio dei costi di gestione assicurativi e risparmi verso l'utente finale con premi scontati o addirittura variabili in base all'effettivo uso,

tenendo in considerazione la reale esposizione al rischio di ogni assicurato, prescindendo dalla sua clusterizzazione (solo per età, sesso, classe bonus malus, residenza).

Studi stanno dimostrando che, pagando il premio assicurativo in base al kilometraggio e all'area percorsa, l'assicurato tende da una parte a ridurre il kilometraggio e dall'altra le percorrenze, soprattutto in ambito urbano, con riduzione proporzionale di emissioni di CO₂ e, in particolare nei centri urbani, riduzione anche di nitrati, particolato ed altri agenti inquinanti.

Sistema	CO ₂	NO _x	Tempi viaggio	Sicurezza stradale
Controllo accessi ZTL	basso/medio	basso/medio	basso	=
Pollution pricing	medio (9%)	alto(11%)	medio	=
Electronic tolling	basso/medio	basso/medio	medio	=

Tabella 5 – Impatto dei sistemi ITS che la gestione della domanda e degli accessi per la riduzione CO₂, NO_x, tempi di viaggio e sicurezza stradale. Legenda: impatto "basso": < 3%; "medio": 3÷10%; "alto": > 10%

4.6 Sistemi per la gestione di flotte e merci e della logistica

4.6.1 Servizi di gestione flotte di veicoli commerciali

I sistemi di gestione delle flotte consentono di monitorare i veicoli commerciali e di pianificarne le missioni. La pianificazione delle missioni mira soprattutto alla riduzione dei costi interni dell'azienda di trasporto, quali ad esempio i consumi di carburante. Inoltre, con un'accorta politica di gestione dei rientri (o dei vuoti nel caso in cui si trasportino container), si evita che veicoli altamente inquinanti circolino senza trasportare merce.

L'impatto di tali sistemi sulla riduzione di CO₂ può essere considerato moderato. Non si riscontrano benefici per ciò che concerne i tempi di viaggio e la sicurezza stradale.

4.6.2 Servizi di gestione flotte (merci pericolose)

Il servizio di gestione flotte delle merci pericolose consente alle autorità di tracciare, istante per istante, i veicoli che trasportano merci pericolose (infiammabili, esplosive, tossiche); tali sistemi consentono inoltre di pianificare i percorsi a minor rischio per tali tipologie di merci, per evitare che attraversino zone sensibili (ad esempio un veicolo che trasporta sostanze tossiche non dovrebbe attraversare i centri abitati). Inoltre il sistema, tracciando i veicoli, consente di incrementare la sicurezza: si può essere avvisati di un eventuale furto di un mezzo di questo tipo che può essere utilizzato per eventuali attentati.

L'impatto di tale tipologia di sistema sulla riduzione di emissioni di CO₂ è molto basso, a volte può essere addirittura negativo; i percorsi calcolati per tale tipologia di mezzi non è ottimizzato in base ai consumi, ma in base a parametri di sicurezza.

Si può quindi concludere che l'impatto sulle emissioni (siano esse di CO₂ o di NO_x) è pressoché nullo, così come l'impatto sui tempi di percorrenza; tuttavia l'impatto sulla sicurezza, anche se non strettamente la sicurezza stradale, è molto elevato.

4.6.3 Gestione logistica urbana

La gestione delle aree logistiche urbane consente di controllare il movimento di veicoli altamente inquinanti all'interno delle aree cittadine; lo scopo è quello di evitare il sovraffollamento delle aree di carico/scarico attraverso politiche di prenotazione degli stalli di sosta.

L'ENEA ha effettuato alcune valutazioni sui progetti pilota nazionali di logistica urbana che presuppongono l'impianto di Centri di Distribuzione dedicati.

Purtroppo è stato generalmente verificato che l'insieme dell'utenza potenziale è piuttosto limitato, visto che alcune tipologie di merce mal si prestano all'impiego di un servizio che presuppone una rottura di carico e una dilatazione dei tempi di consegna e che la Grande Distribuzione Organizzata possiede già una propria organizzazione che la aliena dai vantaggi del servizio; inoltre i costi del servizio e la necessità di un passaggio di consegne della merce non sono sempre ben accettati dalla rimanente utenza potenziale. In sostanza solo in presenza di pesanti limitazioni all'accesso nel centro urbano le iniziative di distribuzione urbana dimostrano di poter avere una sufficiente redditività economica, a meno di non voler considerare nel computo dei ritorni anche la riduzione delle esternalità negative, derivante sia da una migliore organizzazione del trasporto sia dall'impiego di veicoli a basso impatto ambientale e più idonei alla circolazione nei centri urbani. A prescindere da queste considerazioni di opportunità generale, l'impiego di tecnologie ITS risulta senz'altro fondamentale per il successo dei servizi centralizzati di distribuzione urbana, per una serie di attività quali il controllo degli accessi e delle fermate per scarico merce, il routing della flotta veicolare, la localizzazione in tempo reale dei veicoli e della merce, la gestione interna della piattaforma e quella degli ordini di servizio.

Utilizzando un proprio software messo a punto con la collaborazione del DITS della Sapienza di Roma (CityLog ©), su un caso reale mutuato dal Cityporto di Padova, ENEA ha dimostrato che l'impiego di algoritmi di ottimizzazione dei giri di consegna della merce, in termini di utilizzazione della flotta e di definizione dei percorsi, può comportare sino ad un 10% di risparmio di risorse interne al centro di distribuzione e di energia per il trasporto, con ciò che ne consegue in termini di emissioni in atmosfera.

Il sistema impatta non solo sull'ambito di applicazione (il trasporto merci): vi sono sicuramente ricadute positive sul traffico privato, che risulta essere meno congestionato nelle aree centrali delle città, grazie al fatto che non vi sono veicoli merci ad intralciare la circolazione; non vi sono studi approfonditi sull'argomento, ma l'impatto in termini di emissioni di CO₂, per l'ambito di riferimento del centro urbano, può essere considerato medio.

Sistema	CO₂	NO_x	Tempi viaggio	Sicurezza stradale
Gestione flotte (veicoli commerciali)	medio	medio	basso	=
Gestione flotte (merci pericolose)	nullo/basso	nullo/basso	nullo/basso	alto
Gestione logistica urbana	medio	medio	=	=

Tabella 6 – Impatto dei sistemi ITS per la gestione delle flotte, merci e logistica per la riduzione di CO₂, NO_x, tempi di viaggio e sicurezza stradale. Legenda: impatto "basso": < 3%; "medio": 3÷10%; "alto": > 10%

4.7 Enforcement

I sistemi di enforcement servono per il rilevamento delle infrazioni del codice della strada. I tre sistemi di questo tipo più diffusi sono il Safety Tutor, l'Autovelox ed il cosiddetto T-red, per la rilevazione degli attraversamenti con il semaforo rosso.

Il mercato di tale tipologia di sistema è in espansione, perché consente di aumentare notevolmente il livello di sicurezza delle strade.

Il sistema di enforcement che maggiormente impatta sulla riduzione di CO₂ è il Safety Tutor; il sistema che monitora una sezione autostradale e rileva la velocità media dei veicoli. Nel caso in cui la velocità media rilevata sia superiore alla velocità massima consentita viene elevata una contravvenzione. Il sistema consente di fluidificare il traffico, con impatti benefici sulla riduzione di emissioni nocive e sui tempi di percorrenza. Il modello di stima delle emissioni risparmiate con il sistema Safety Tutor determina il quantitativo di CO₂ risparmiata, basandosi su due assunzioni: (a) che almeno il 10% dei viaggiatori monitorati abbiano assunto comportamenti più "virtuosi" a seguito dell'introduzione del sistema di controllo, (b) che gli stessi abbiano di conseguenza ridotto la propria velocità media di 16 km/h, come emerge dalle prime verifiche post installazione Tutor.

I risultati mostrano per il 2008 un impatto molto significativo con una riduzione su base annua di circa 32.595 tonnellate di CO₂. Il sistema consente di ridurre l'incidentalità di circa il 14%, con effetti molto positivi sulla sicurezza stradale.

L'Autovelox ha gli stessi effetti benefici del Tutor, ma essendo una stazione di misura puntuale, i benefici sono concentrati solamente nell'intorno dell'installazione.

Il T-red per il rilevamento di infrazioni semaforiche ha un basso impatto sulla riduzione di CO₂, dovuto al fatto che evita che veicoli che attraversano con la luce rossa intasino l'incrocio per i veicoli che sopraggiungono nella direzione perpendicolare; tuttavia ha effetti elevati sulla sicurezza stradale in quanto gli attraversamenti dell'intersezione con luce semaforica rossa vengono ridotti.

Sistema	CO ₂	NO _x	Tempi viaggio	Sicurezza stradale
Safety tutor	medio	medio	medio	alto
Autovelox	basso	basso	basso	alto
T-red	nullo/basso	nullo/basso	nullo/basso	alto

Tabella 7 – Impatto dei sistemi ITS di enforcement per la riduzione di CO₂, NO_x, tempi di viaggio e sicurezza stradale. Legenda: impatto "basso": < 3%; "medio": 3÷10%; "alto": > 10%

5 Impianti e dispositivi per l'ITS

I sistemi ITS non sono solamente costituiti da applicazioni software, ma le tecnologie ne sono parte integrante. Gli impianti che realizzano le applicazioni ITS consumano energia (e risorse per la realizzazione): le tecnologie moderne possono contribuire a ridurre consumi e difficoltà di realizzazione. Per questo motivo in questo capitolo si citano alcune tecnologie che “virtualizzano” i sistemi ITS stessi.

5.1 I LED

I sistemi di controllo del traffico comprendono una parte “fisica”, oltre che una parte “logica”, costituita da attuatori (i semafori) e da sensori. Anche in questo ambito i sistemi di controllo del traffico possono diventare più efficienti da punto di vista energetico.

L'innovazione tecnologica ha reso possibile una riduzione dei consumi da parte delle lanterne semaforiche: si pensi ad esempio all'uso di LED (Light Emitting Diodes) al posto di lampade alogene o a incandescenza all'interno di semafori. Il consumo di una lanterna semaforica a LED (1 colore) varia tra i 4 ed i 12 W, a seconda della tensione di alimentazione disponibile; le lampade tradizionali ad incandescenza consumano almeno 60 W, a seconda della luminosità necessaria. Ne consegue che con l'impiego della tecnologia LED si ottiene un risparmio energetico compreso tra l'80 ed il 93% circa.

Le lampade a LED, oltre a consumare meno energia a parità di luminosità, hanno una maggior durata (circa 100.000 ore contro le 5.000 ore delle lampade ad incandescenza): per questo richiedono meno manutenzione, sia per la sostituzione di lampade bruciate che per la pulizia dei filtri colorati, in quanto le lampade LED producono la luce già del colore desiderato. In questo modo, a fronte di una maggiore spesa iniziale, si risparmia nel tempo grazie ai minori consumi e ai minori costi di manutenzione (senza contare che la minore manutenzione impatta anche sull'emissione di CO₂, in quanto non sono necessari spostamenti delle squadre per sostituzione/pulizia lampade).

I risultati sopra citati sono un esempio di come sia possibile ridurre le emissioni sostituendo semplicemente le lampade semaforiche; risultati ancora migliori possono essere ottenuti utilizzando speciali lanterne semaforiche, che utilizzano un minore numero di LED per colore (solamente 3 LED). Questo è possibile grazie allo sviluppo di speciali lenti e specchi che focalizzano la luce nella direzione desiderata.

Altri miglioramenti sono stati ottenuti applicando alle lanterne semaforiche un dimmer, ovvero un regolatore di potenza, comandato da un sistema che rileva la luminosità esterna e da uno che rileva la luminosità emessa: in questo modo verrà aumentata la potenza nel caso in cui la luminosità esterna sia molto alta, e diminuita ad esempio di notte, per mantenere una visibilità sempre ottimale della luce. Utilizzando questo principio inoltre si sopperisce al graduale calo delle prestazioni dei LED, tempi comunque più lunghi rispetto alle lampade ad incandescenza.

5.2 I sensori wireless

I sistemi di controllo e gestione del traffico sono alimentati da dati rilevati da sensori posti sulla strada; tipicamente il loro consumo in termini di potenza assorbita è molto ridotto rispetto ai sistemi di controllo del traffico (ad esempio semafori).

Nonostante ciò sono allo studio sensori e tecnologie che consentono di eliminare del tutto le emissioni di CO₂, in quanto vengono utilizzati, per l'alimentazione di questi sensori, piccoli pannelli fotovoltaici. Tuttavia l'impatto dell'utilizzo dei pannelli solari non si può considerare nullo: infatti la produzione di questi apparati non è a costo ambientale nullo (a meno che non venga utilizzata energia proveniente da fonti rinnovabili); infatti l'indice EROEI

(ovvero il rapporto tra l'energia utilizzata per la produzione dell'apparato e l'energia che l'apparato produce nell'arco della sua vita utile) è, secondo numerose fonti, compreso tra 1,7 e 10: ovvero nella sua vita un pannello fotovoltaico produce da 1,7 a 10 volte l'energia utilizzata per la produzione dello stesso. Ciò significa che comunque il bilancio energetico immediato risulta essere negativo (viene utilizzata energia per la produzione dell'apparato), ma con gli anni questo investimento viene ripagato abbondantemente. L'utilizzo di questa tecnologia quindi riduce l'impatto ambientale e l'emissione di CO₂ non nell'immediato, ma ha ripercussioni sul lungo periodo (la vita media di un pannello fotovoltaico è di circa 20 anni).

Bisogna inoltre considerare che l'installazione di queste tipologie di apparati wireless non comporta l'utilizzo di macchinari per gli scavi e la posa dei cavidotti per i cablaggi di alimentazione e trasmissione dati: in questo modo si ottiene un triplice vantaggio: costi e tempi di installazione ridotti, minore impatto (o impatto nullo) sul traffico durante la posa, riduzione delle emissioni dovute all'installazione (può essere utilizzato un solo veicolo per la posa degli impianti al posto di macchine e veicoli per il movimento terra).

6 Considerazioni conclusive

L'analisi svolta illustra come i sistemi ITS contribuiscano, in modo più o meno significativo a seconda della soluzione implementata, alla riduzione delle emissioni di CO₂. Nella seguente tabella sono riassunti i risultati degli studi effettuati.

Si ricorda che per la valutazione qualitativa degli impatti sulle riduzioni di CO₂, sono state adottate le seguenti definizioni:

- impatto degli ITS "basso" < 3%
- impatto degli ITS "medio" 3÷10%
- impatto degli ITS "alto" > 10%

Inoltre, gli impatti sono relativi all'ambito in cui i sistemi sono utilizzati e/o (con poche eccezioni) all'insieme degli utenti interessati.

Sistema	CO ₂	NO _x	Tempi viaggio	Sicurezza stradale
Sistemi per la navigazione e l'informazione in viaggio				
Navigatori 1G	basso	basso	medio	=
Navigatori 2G	medio	medio	medio	=
Navigatori 3G	medio	medio	medio	=
Navigatori 4G	alto	alto	alto	=
Sistemi per la gestione ed il controllo del traffico				
Sistemi di controllo traffico urbano				
• <i>piani fissi coordinati</i>	basso	basso	basso	basso
• <i>selezione di piano</i>	medio	medio	medio	basso
• <i>attuati dal traffico</i>	medio	medio	medio	basso
• <i>adattativi</i>	alto (10%)	alto (10%)	alto (20%)	basso
Indirizzamento parcheggi	basso	medio	medio	=
Sistemi di controllo traffico extraurbano/autostradale				
• <i>Informazione e indirizzamento collettivo</i>	basso/medio (0%/3%)	Basso	medio	medio

• <i>Section control/dynamic speed limit</i>	medio (3,7%/8%)	medio (4%)	medio	medio
• <i>Ramp metering</i>	medio (6%/8%)	medio/alto (8%/11%)	medio/alto (5%/13%)	=
• <i>Hard shoulder running</i>	medio (4%)	medio (4%)	alto	=
Sistemi integrati	Fino al 10%	Fino al 11%	Fino al 13%	medio
Sistemi per la gestione flotte di veicoli pubblici				
Sistemi di gestione flotte mezzi pubblici	alto	alto	alto	=
Sistema di bigliettazione elettronica integrata	medio	medio	medio	=
Sistemi di informazione all'utenza del trasporto pubblico	medio	medio	n.a.	n.a.
Sistemi per influenzare il comportamento dei viaggiatori				
Eco-driving	medio-alto	medio	basso	basso
Car sharing	basso	basso	basso	=
Sistemi per la gestione degli accessi e della domanda				
Controllo accessi ZTL	basso/medio	basso/medio	basso	=
Pollution pricing	medio (9%)	alto (11%)	medio	=
Electronic tolling	basso/medio	basso/medio	medio	=
Sistemi per la gestione di flotte e merci e della logistica				
Gestione flotte (veicoli commerciali)	medio	medio	basso	=
Gestione flotte (merci pericolose)	nullo/basso	nullo/basso	nullo/basso	alto
Gestione logistica urbana	medio	medio	=	=
Enforcement				
Safety tutor	medio	medio	medio	alto
Autovelox	basso	basso	basso	alto
T-red	nullo/basso	nullo/basso	nullo/basso	alto

Tabella 8 – Impatto delle applicazioni ITS per la riduzione di CO₂, NO_x, tempi di viaggio e sicurezza stradale

La tabella evidenzia il notevole contributo che i sistemi ITS possono fornire alla riduzione delle emissioni di CO₂ e fornisce indicazioni sull'efficacia delle diverse applicazioni. Come si è detto in esteso nel documento, una scelta ragionevole deve basarsi, nei diversi ambiti, su opportune combinazioni di applicazioni:

- 1) che migliorano la gestione del traffico e dei sistemi di trasporto (hanno impatti "alti" in molti casi)

- 2) che sono di aiuto all'utente (navigazione, informazione, aiuto alla guida)
- 3) che impongono il rispetto delle regole (hanno impatti notevoli anche sulle emissioni)
- 4) che moderano l'aumento di domanda

Così facendo, la riduzione globale di emissioni di CO₂ può arrivare al 20% in alcuni ambiti di applicazione, ad esempio nell'ambito urbano.

Le analisi riportate nel documento hanno inoltre messo in luce due aspetti legati alla realizzazione su larga scala dell'ITS. Il primo attiene alla necessità di calibrare le diverse applicazioni in modo da ottenere una maggior efficienza del trasporto, senza che ne venga generata una nuova domanda. Il secondo riguarda la sicurezza: si è visto, anche in questo caso, che scelta opportune possono portare benefici sia per l'efficienza che per la sicurezza.

Si noti che i benefici riportati sono relativi alle tecnologie ITS attuali; risultati ancora migliori potranno essere ottenuti dalle tecnologie che oggi sono ancora nello stadio di ricerca (quali i "sistemi cooperativi"); di qui l'esigenza di continuare – in collaborazione con gli altri paesi europei – nella ricerca su tecnologie e applicazioni ITS.

Il documento ha quindi confermato sia l'utilità delle applicazioni ITS per il raggiungimento degli obiettivi di contrasto al "riscaldamento globale" che la mancanza di controindicazioni. Resta ancora aperta la questione sulle strategie più opportune per accelerarne la realizzazione su vasta scala. A questo scopo sarà necessario affrontare l'analisi costi/benefici delle applicazioni ITS: chi scrive si augura che TTS Italia voglia completare questo studio producendo per le varie applicazioni qui descritte il "costo atteso per tonnellata di CO₂ risparmiata".

Da una analisi dei risultati sopra riportati, si può comunque già notare il ruolo preminente che deve assumere il settore pubblico: le categorie 1, 2, 4 sopra citate cadono sotto la responsabilità pubblica o di concessionari. Saranno quindi prioritarie le azioni per motivare i "gestori" delle reti di trasporto e per metterli in grado di usufruire dei vantaggi delle tecnologie ITS.

Si conferma infine che le tecnologie ITS, da sole, non possono raggiungere gli obiettivi nazionali: esse danno un contributo notevole, ma non sufficiente. Non sono quindi "sostitutive" di altri interventi, ma sono "complementari" ad essi, e in alcuni casi possono aumentarne gli effetti. Occorre quindi agire con le diverse leve a disposizione, sfruttando le possibili sinergie:

- la pianificazione delle infrastrutture e dei trasporti
- il miglioramento dei veicoli
- la sensibilizzazione dei cittadini
- le applicazioni ITS.

Bibliografia

- [1] Methodologies for assessing the impact of ITS applications on CO₂ emission – EC-METI task Force – 2009
- [2] PGTL 2001 – Cap. 15 + All. 15.1 – Ambiente – 2001
- [3] ICT for Clean Efficient Mobility – E.Safety Forum – 2008
- [4] NAVTEQ Reports Annual Fuel Savings Resulting From Navigation System Use – NAVTEQ – 2009
- [5] Easyway 2007-2009 – Annual Report for 2007, 1st edition, version 1.7, January 2009
- [6] Easyway 2007-2009 – Annual Report for 2007-2008, 1st edition, version 3.0, March 2009
- [7] Comune di Milano, Monitoraggio Ecopass – Gennaio –Dicembre 2008; Indicatori Sintetici, February 2009
- [8] Evaluation Expert Group Documentation
- [9] Microsimulazione dei Sistemi di COntrollo del Traffico (MISCOT)- Programma di ricerca affidato da: Mizar Automazione SpA – Politecnico di Torino – Settembre 2006
- [10] Servizio CAR SHARING del circuito nazionale – Indagine di custom satisfaction presso gli utenti, privati ed aziende, e di notorietà e di interesse presso il target potenziale. – Report di ricerca – IPR, IO Guido, Ministero dell'Ambiente e tutela del territorio e del Mare – Febbraio 2009
- [11] Bilancio di sostenibilità 2008 – Autostrade per l'Italia
- [12] Easyway 2007-2009 – Valutazione degli impatti del Dynamic Speed Control sulla Tangenziale di Mestre– Laboratorio Mobilità e Trasporti Politecnico di Milano – Ottobre 2009
- [13] Valutazione del Ramp-metering – Centro Studi sui Sistemi di Trasporto – Aprile 2001

Allegato 1 - Il sistema di Controllo Adattativo del Traffico Urbano con priorità ai mezzi pubblici di Torino – Impatti sul traffico privato

Il sistema di Controllo Adattativo del Traffico Urbano con priorità ai mezzi pubblici in uso nella città di Torino, uno dei principali blocchi funzionali del Sistema integrato 5T, effettua il controllo ottimale del traffico privato in tutte le condizioni e provvede, inoltre, ad assegnare la priorità semaforica ai mezzi pubblici. Il sistema gestisce attualmente circa 260 incroci su un totale di circa 600 incroci semaforizzati della città; è attualmente in corso un'estensione, che porterà a breve il sistema di Controllo Adattativo a gestire i 330 più importanti per la rete urbana torinese.

Il Controllo del Traffico Urbano è basato sul sistema UTOPIA (*Urban Traffic OPTimisation by Integrated Automation*), un sistema di controllo semaforico adattativo in grado di determinare ed attuare le strategie ottime di gestione degli impianti semaforici per la regolazione del traffico urbano, ottimizzando la regolazione sulla base dei dati di traffico e determinando i parametri della regolazione (ciclo, durata delle fasi e off-set) di tutti i semafori, con l'obiettivo di migliorare le condizioni globali del traffico urbano, minimizzando il tempo totale di viaggio del traffico privato, privilegiando al contempo i mezzi pubblici. Il sistema, inoltre, consente di monitorare lo stato del traffico nella rete viaria controllata, evidenziando in tempo reale eventuali anomalie di flusso, rende disponibili diverse tipologie di dati statistici e garantisce segnalazioni tempestive relative a guasti rilevati sugli impianti.

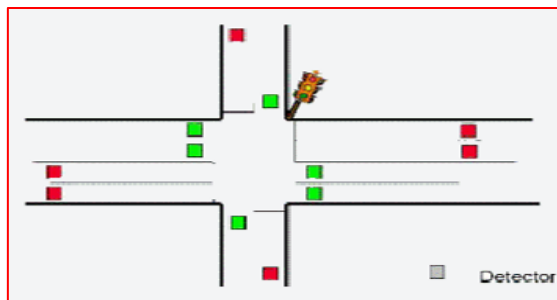
Il sistema UTOPIA può operare su reti di notevole complessità, determinando le strategie di controllo in funzione delle priorità assegnate al trasporto pubblico e al traffico privato, valutando dati storici, misure istantanee ed eventi previsti. Per la sua modularità e completezza il sistema consente semplicità di realizzazione e garantisce l'espandibilità dell'impianto.

Il sistema UTOPIA si sviluppa su due livelli secondo un'architettura gerarchico-distribuita: il livello superiore (o di area) è costituito da un sottosistema centrale, cui sono affidate le funzioni di previsione e controllo a medio e lungo termine per tutta l'area interessata. Il livello inferiore (o di singolo incrocio) è costituito da una rete di Unità Multifunzionali (MFO), dotate delle funzioni di Controllori Locali (SPOT), interconnesse tra loro e preposte ognuna alla gestione di un incrocio. I Controllori Locali determinano dinamicamente il susseguirsi e la durata ottima delle fasi semaforiche, utilizzando i criteri di coordinamento dal livello superiore, le misure di traffico rilevate localmente e le informazioni e le decisioni provenienti dai Controllori degli incroci adiacenti.

Al fine di ottenere il controllo ottimo sull'intera Area, il sistema scompone il problema in sotto-problemi più semplici correlati tra loro. La scomposizione viene effettuata seguendo criteri di natura topologica: l'area viene suddivisa in zone sovrapposte, in modo che ciascuna di esse sia centrata su un'intersezione controllata ed includa tutte le intersezioni vicine. Si procede, quindi, con la definizione di un problema di controllo ottimo per ciascun incrocio, ottimizzando il flusso sui link entranti nell'intersezione centrale controllata, includendo, però, tutte le indicazioni provenienti dalle strategie di controllo attuate nell'intera zona. Si ottimizza l'intersezione sulla scorta dei dati di traffico in ingresso ed in base ai due principi di *interazione forte*, che si realizza tenendo conto del tempo perso nell'intersezione a valle dai veicoli che lasciano l'intersezione centrale, e di *look-ahead*, che tiene conto di tutte le previsioni di traffico definite sull'orizzonte di ottimizzazione (2 minuti) per tutti i link entranti nell'intersezione centrale.

Il sistema assegna maggiore priorità alle correnti veicolari cui è associato un flusso maggiore, al fine di minimizzare il tempo di attesa. Il piano semaforico, dinamico, è di tipo adattativo e viene costruito in tempo reale. La lunghezza delle fasi si adatta alle condizioni di flusso in modo da garantire un maggior tempo di verde alle manovre a maggiore flusso veicolare. L'orizzonte di ottimizzazione è di 120" e viene ricalcolato ogni 3".

Il flusso è misurato tramite spire induttive inserite nel manto stradale (o altri tipi di sensore), in ingresso ed in uscita dall'intersezione, che contano il numero di veicoli che giungono all'incrocio (e che successivamente lo abbandonano) e lo comunicano allo SPOT che, in collegamento con il regolatore semaforico, stabilisce la fase di verde da assegnare alle correnti veicolari, minimizzando il numero di veicoli in coda. Per intersezioni centralizzate in successione, le spire in uscita dall'intersezione a monte costituiscono quelle in ingresso per l'intersezione a valle.



Nei confronti dell'utenza, il sistema di Controllo Adattativo del Traffico Urbano opera regolarizzando la circolazione dei veicoli con conseguente risparmio energetico, riduzione delle emissioni e aumento della sicurezza.

Per quanto attiene le prestazioni del sistema di Controllo Adattativo del Traffico Urbano, nel periodo gennaio-marzo 2007 è stata condotta un'analisi avente come obiettivo la valutazione comparativa tra i tempi medi di attesa con il controllo attivo e i tempi medi di attesa con semaforo operante secondo il piano semaforico a fasi fisse, utilizzato prima dell'introduzione del controllo adattativo. L'analisi ha interessato 26 intersezioni, ubicate su assi viari a forte flusso veicolare; l'intervallo temporale di riferimento scelto per la comparazione è stato quello dalle 6.00 alle 21.00.

Il tempo di attesa è stato valutato, per ciascuna intersezione, come media dei tempi di attesa misurati, o stimati, sui singoli bracci in ingresso all'incrocio e nella stessa fascia oraria. I tempi di attesa nelle intersezioni con il controllo attivo sono stati determinati mediando, nell'intervallo temporale di riferimento, i dati misurati dal sistema stesso. Per la stima dei tempi di attesa senza sistema di Controllo Adattativo si è utilizzato un microsimulatore del traffico veicolare; in questo caso, le matrici O/D utilizzate nelle simulazioni sono state ricavate in base ai valori medi, nelle fasce orarie dell'intervallo temporale di riferimento, dei flussi e delle percentuali di svolta misurati dal sistema.

L'analisi ha evidenziato, con l'introduzione del sistema di controllo adattativo, una sensibile riduzione dei tempi medi di attesa su ciascuna delle 26 intersezioni analizzate. La riduzione media dei tempi di attesa è risultata pari a circa il **33% per intersezione**, calcolata come media pesata in base ai flussi veicolari in transito, misurati o stimati.

I risultati di tale analisi fatta sull'intera rete porta ad una **riduzione dei tempi di viaggio del 20%**.

Allegato 2 - Il sistema di Controllo Adattativo del Traffico Urbano con priorità ai mezzi pubblici di Torino – Impatti sul trasporto pubblico

Il sistema di controllo semaforico adattativo in uso nella città di Torino, descritto nella scheda *“Il sistema di Controllo Adattativo del Traffico Urbano con priorità ai mezzi pubblici di Torino – Impatti sul traffico privato”*, integrandosi con il sistema di controllo e monitoraggio di bus/tram (AVM), è in grado di assegnare la priorità ai mezzi di trasporto pubblico in transito dai semafori controllati.

Il sistema AVM è utilizzato dal Sistema Informativo del Servizio (S.I.S.) di GTT, ente gestore del servizio di trasporto pubblico dell'area metropolitana torinese, per il monitoraggio della flotta di mezzi pubblici (ad oggi oltre 1.300). Il sistema consente, in tempo reale, di conoscere l'esatto posizionamento dei mezzi, gli anticipi o i ritardi rispetto agli orari programmati nonché gli intertempi di ciascun mezzo rispetto a quello che segue e che precede sulla stessa linea; permette quindi di intervenire, con opportune segnalazioni, per regolarizzare i passaggi dei mezzi stessi.

Il sistema AVM è utilizzato, inoltre, per assegnare la priorità semaforica ai mezzi di trasporto pubblico negli incroci dotati di semaforo connesso al sistema di Controllo Adattativo. In pratica, il sistema AVM stima dinamicamente i tempi di percorrenza di ogni singola sezione della linea (tempo di fermata, tempo di percorso libero, tempo di attraversamento degli incroci e così via) e utilizza questa statistica per costruire la migliore previsione di arrivo del mezzo da privilegiare all'incrocio a cui è richiesta la priorità. Il Sistema di Controllo Adattativo predispone, quindi, il ciclo semaforico per consentire il passaggio di tale flusso fittizio garantendo, di conseguenza, la priorità semaforica al mezzo pubblico.

Il miglior uso di questa risorsa è di assegnarla ai veicoli in ritardo. Inoltre, attualmente, nella città di Torino, giovane della priorità semaforica assoluta le linee di trasporto pubblico 3, 4, 9 e 10; si tratta, in tutti i casi, di linee tranviarie.

Si ritiene pertanto proficuo, ai fini della determinazione quantitativa della riduzione delle emissioni di CO₂ indotta dai sistemi ITS, citare i risultati di un'analisi condotta nel periodo 01.10.2006 - 20.11.2006 relativa alla linea tranviaria 4, evidenziati nella figura A1. Particolarmente interessante è la valutazione dei benefici indotti dal sistema di priorità semaforica sulla tratta della linea compresa tra la stazione Porta Nuova e Piazza Caio Mario, di lunghezza pari a 5.446 m, in quanto caratterizzata dall'attraversamento di sole intersezioni semaforizzate dotate di sistema UTC con priorità, che risultano 22.

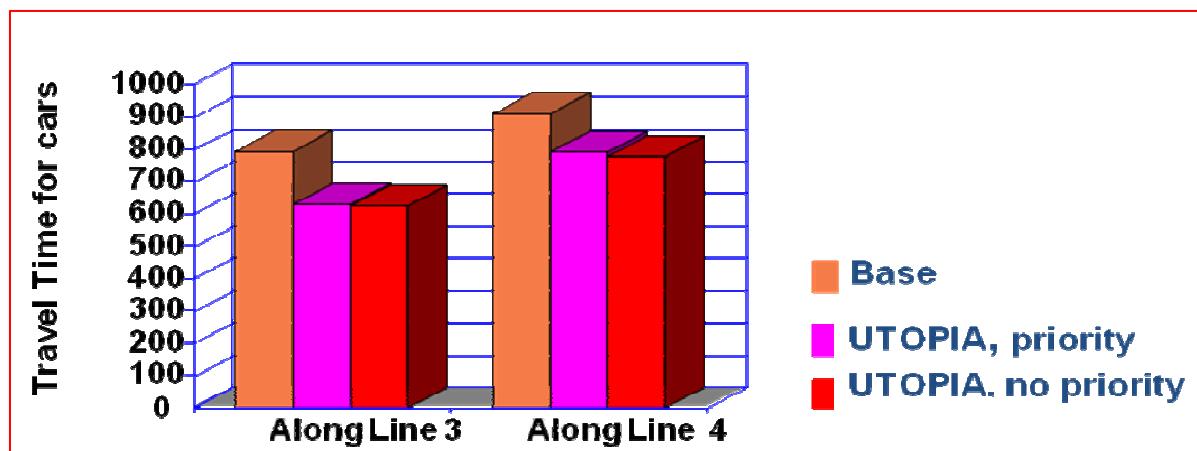


Figura A2.1 – Tempi di viaggio senza sistema UTC, con sistema UTC adattativo con priorità TPL e sistema UTC senza priorità TPL per le linee 3 e 4 di Torino. Fonte: 5T

La linea 4, come le altre linee di trasporto pubblico della città di Torino, è regolarizzata mediante il sistema di monitoraggio e regolarizzazione del servizio, tramite il quale si sono ricavate informazioni sulla velocità commerciale della linea. Questo dato è disponibile sia su tutta la linea che su particolari tratti significativi della linea stessa. Per la tratta in esame, nel periodo osservato, il tempo medio di percorrenza è risultato di 1186", con una velocità media di circa 16,5 Km/h.

La società 5T contrattualmente effettua regolarmente delle verifiche del livello di priorità assegnato alle linee di trasporto pubblico, rilevando il numero di incroci attraversati senza attesa rispetto al numero di incroci complessivamente attraversati, ed il tempo di attesa per gli incroci per i quali le vetture devono arrestarsi per attendere il verde.

Nel corso di tre verifiche ufficiali condotte nel periodo indicato, sulla tratta in esame della linea tranviaria 4 il livello di priorità è risultato pari all'85%; mediamente, il tempo di attesa sugli incroci in cui il sistema non è riuscito ad assegnare la priorità al mezzo è risultato di circa 22". Se ne deduce che mediamente, nella tratta considerata e con il sistema di priorità attivo, il mezzo incontra una fase di rosso in soli 3,3 semafori sui 22 totali, perdendo in attesa del verde circa 72". Bisogna inoltre considerare che, per ogni arrivo ad un semaforo durante una fase sfavorevole (rosso), il mezzo deve decelerare e fermarsi e, successivamente, avviarsi da fermo ed accelerare; tali fasi di decelerazione e spunto comportano ulteriore aumento del tempo di percorrenza, stimato in circa 10". Nel caso di sistema di priorità attivo, quindi, il tempo mediamente perso per decelerazioni e ripartenze risulta pari a circa 33". Il tempo di percorrenza teorico della tratta, ossia quello che si avrebbe con un livello di priorità pari al 100%, può essere determinato sottraendo al tempo medio osservato dal S.I.S. il tempo mediamente perso per attesa al semaforo rosso e quello perso per decelerazioni e ripartenze, calcolato in precedenza; il tempo di percorrenza teorico della tratta risulta pertanto pari a:

$$\text{tempo medio} - \text{tempo attesa} - \text{tempo decelerazione e spunto} = 1186'' - 72'' - 33'' = \mathbf{1081''}$$

Al fine di quantificare l'effetto della priorità sulla velocità commerciale, si è stimato il tempo che, mediamente, si perderebbe agli incroci nel caso questi funzionassero senza priorità (a ciclo fisso).

Nell'ipotesi di impianti semaforici a ciclo fisso senza priorità, la probabilità di attraversamento dell'incrocio senza attesa è pari al rapporto tra la durata della fase favorevole al passaggio del tram e la durata dell'intero ciclo. In tale ipotesi, in base ai tempi dei piani semaforici a ciclo fisso utilizzati prima dell'introduzione del controllo semaforico adattativo, per i 22 incroci attraversati dalla linea nella tratta in esame risulterebbe una durata totale delle fasi favorevoli pari a 1090" ed una durata totale dei cicli semaforici pari a 2078"; la probabilità che il tram arrivi al semaforo durante una fase favorevole risulta mediamente del 52,5%.

Il tempo totale di attesa agli incroci risulta mediamente, pari a:

$$(\text{tempo totale di ciclo} - \text{tempo totale fasi favorevoli})/2 = (2078'' - 1090'')/2 = \mathbf{494''}$$

Dato che la probabilità di arrivo durante una fase non favorevole è del 47,5%, nella tratta considerata la linea avrebbe, nell'ipotesi di assenza di priorità, un tempo medio totale di attesa ai semafori di circa 235".

Nel caso ipotizzato di impianti semaforici a ciclo fisso senza priorità, la probabilità di passaggio del mezzo durante una fase sfavorevole risulta del 47,5%; quindi, sulla tratta considerata, il mezzo incontrerebbe mediamente 10,5 semafori rossi, con un ulteriore aumento del tempo di percorrenza dovuto a decelerazioni e ripartenze pari a circa 105".

In assenza di priorità il tempo di percorrenza sulla tratta considerata può essere calcolato sommando al tempo di percorrenza teorico calcolato in precedenza, pari a 1081", il tempo perso in attesa ai semafori ed il tempo perso per decelerazioni e ripartenze, e risulta pari a:

$$\text{tempo teorico} + \text{tempo attesa} + \text{tempo decelerazione e spunto} = 1081'' + 235'' + 105'' = \mathbf{1420''}$$

Pertanto, nell'ipotesi di impianti semaforici a ciclo fisso senza priorità, la velocità media di percorrenza della tratta esaminata sarebbe pari a circa 13,8 Km/h.



Figura A2.2 – Benefici delle applicazioni ITS per la città di Torino. Fonte 5T

Confrontando questo dato con la velocità media di percorrenza della tratta osservata dal S.I.S. nel periodo considerato, pari a circa 16,5 Km/h, si deduce che l'introduzione del sistema di controllo semaforico con priorità ai mezzi pubblici induce un aumento della velocità commerciale di circa il **20 %**.

Allegato 3 - Studio Navteq sull'utilizzo dei navigatori

Navteq, fornitore leader mondiale di mappe digitali, dati di traffico e localizzazione per soluzioni di navigazione a bordo auto, dispositivi portatili, applicazioni wireless e soluzioni per aziende, ha reso noti i risultati di uno studio che la società ha commissionato per valutare l'impatto sull'ambiente determinato dall'utilizzo dei sistemi di navigazione. I precedenti studi in questo campo si erano soffermati soprattutto sui problemi connessi alla ricerca della destinazione e sui benefici offerti dai sistemi di navigazione ai conducenti che ne fanno un uso regolare.

La ricerca ha preso in considerazione tre categorie di utenti: automobilisti senza navigatore, con navigatore, con funzioni di informazioni sul traffico. I risultati hanno rivelato che i possessori di dispositivi di navigazione: 1) percorrono distanze più brevi e 2) perdono meno tempo alla guida della vettura.

La ricerca, effettuata in due grandi aree urbane della Germania – Düsseldorf e Monaco di Baviera – ha altresì dimostrato che i veicoli dotati di navigatore consumano il 12% di carburante in meno per ogni 100 chilometri percorsi passando dagli 8,3 ai 7,3 l/100km.

Questo aumento dell'efficienza si traduce in un abbattimento annuo delle emissioni di anidride carbonica valutato in 0,91 tonnellate annue per ciascun utente, pari a circa il 24% in meno delle emissioni prodotte dalle vetture senza navigatore. In termini di emissioni in grammi per chilometro, ciò significa 25 g/km per singola automobile. Inoltre, con percorrenze medie annue inferiori di quasi 2500 km, in Germania vi sarebbero ben 1,19 milioni di pneumatici in meno da sostituire ogni anno grazie alla minore usura.

Le vetture degli automobilisti che hanno preso parte a questa ricerca, che in precedenza non avevano mai posseduto un navigatore, sono state dotate di un dispositivo di rilevamento dei percorsi e della velocità di guida. In totale, lo studio ha preso in considerazione oltre 2.100 singoli tragitti per più di 20.000 km e quasi 500 ore su strada.

La ricerca è stata condotta da NuStats, un istituto di ricerca che nel corso dei suoi 25 anni di attività si è imposto come leader per gli studi demoscopici e le ricerche qualitative nel settore dei trasporti, con particolare riguardo alla mobilità delle persone e all'utilizzo dei mezzi di trasporto pubblici.

Inoltre, i risultati della ricerca hanno gettato luce su ulteriori aree di interesse:

- **Riduzione dei tempi e delle distanze di percorrenza nel tempo:** si tratta di una caratteristica "curva di apprendimento" connessa al graduale miglioramento dell'abilità di utilizzo del navigatore; riduzioni ancora più marcate dei tempi e delle distanze si sono verificate a partire dalla seconda metà del periodo della ricerca.
- **L'aggiunta delle informazioni sul traffico riduce ulteriormente i tempi e le distanze di percorrenza:** i risultati migliori si sono registrati in coincidenza con l'utilizzo dei navigatori negli orari di punta (dalle 7:00 alle 8:59 e dalle 16:00 alle 18:59).
- **Ulteriori riduzioni dei tempi e delle distanze di percorrenza si sono avute anche negli spostamenti non di routine:** la riduzione dei tempi e delle distanze di percorrenza sono risultate più accentuate anche quando si percorrono strade diverse da quelle abituali.

"Grazie alla solida base metodologica che sorregge questa ricerca, siamo convinti che i risultati siano rappresentativi di un trend a livello mondiale spesso intuito ma mai provato in precedenza nell'ambito dell'utilizzo quotidiano. I consumatori possono godere dei vantaggi della navigazione non solo dal punto di vista dell'esperienza di guida, ma anche per l'impatto decisamente positivo che essa esercita sull'ambiente" ha dichiarato Judson Green, *Navteq president and chief executive officer*.

Allegato 4 - Ecopass: controllo accessi nella città di Milano

A partire dal gennaio 2008 la città di Milano ha introdotto l'Ecopass, un sistema per il controllo accessi in area urbana, che prevede il pagamento di un ticket di ingresso per i veicoli maggiormente inquinanti.

Di seguito una sintesi dei risultati del primo anno di esercizio del sistema.

Riduzione del traffico

- Riduzione del traffico in area Ecopass – rispetto al periodo di riferimento pre-Ecopass: **-14,4 %**.
- Riduzione del traffico a Milano fuori area Ecopass - media 2008 rispetto alla media 2007: **- 3,4 %**.

Riduzione delle emissioni

- Riduzione media delle emissioni atmosferiche di PM10 allo scarico da traffico stradale in area Ecopass: **- 19 %**.
- Riduzione media delle emissioni atmosferiche di ossidi totali di azoto (NO_x) da traffico stradale in area Ecopass: **- 11 %**.
- Riduzione media delle emissioni atmosferiche di anidride carbonica da traffico stradale in area Ecopass: **- 9 %**.

Impatto sul trasporto pubblico

- A fronte della riduzione del traffico privato, l'applicazione di Ecopass è stata accompagnata da un aumento significativo dell'offerta di trasporto pubblico: è stato riscontrato un incremento giornaliero di **1.300** corse dei mezzi pubblici di superficie (**+16 %**).
- Dai dati forniti da ATM, si registra per il 2008 un incremento complessivo del **5,7 %** dei passeggeri trasportati dal servizio pubblico urbano, corrispondente ad un aumento di circa **35 milioni di passeggeri / anno**.
- Il sistema ha anche avuto impatti sulla velocità commerciale dei mezzi pubblici, con un incremento del **6,7 %**.

Impatti sulla sicurezza

- Incidenti totali: **- 14,4 %** (-4,6% a Milano fuori area Ecopass)
- Incidenti con feriti: **- 14,2 %** (-6,7% a Milano fuori area Ecopass).

Allegato 5 - I LED

L'innovazione tecnologica ha reso possibile una riduzione dei consumi da parte delle lanterne semaforiche: si pensi ad esempio all'uso di LED (Light Emitting Diodes) al posto di lampade alogene o a incandescenza all'interno di semafori. Il consumo di una lanterna semaforica a LED (1 colore) varia tra i 4 ed i 12 W, a seconda della tensione di alimentazione disponibile; le lampade tradizionali ad incandescenza consumano almeno 60 W, a seconda della luminosità necessaria. Ne consegue che si ottiene un risparmio energetico compreso tra l'80 ed il 93% circa.

Considerando una lampada LED con consumo di 4 W ed una lampada ad incandescenza a 60 W il risparmio sulle emissioni di CO₂ sono le seguenti, considerando una lampada sempre accesa per lanterna, un incrocio con 6 lanterne e 300 intersezioni semaforizzate (come ad esempio potrebbe avere una città delle dimensioni di Torino):

$$4 \text{ W/h} * 24 \text{ h} * 365 \text{ gg} = 35 \text{ kW/anno}$$

In media per la produzione di un kW di energia, non utilizzando risorse rinnovabili si immettono in atmosfera circa 0,51 kg di CO₂ (dati Enel); quindi si ottiene

$$35 \text{ kW/anno} * 0,51 \text{ kg CO}_2/\text{kW} = 17,85 \text{ kg CO}_2/\text{anno}$$

Utilizzando una normale lampada ad incandescenza a 60 W/h si ottiene invece il seguente risultato:

$$60 \text{ W/h} * 24 \text{ h} * 365 \text{ gg} = 525 \text{ kW/anno}$$

$$525 \text{ kW/anno} * 0,51 \text{ kg CO}_2/\text{kW} = 267,75 \text{ kg CO}_2/\text{anno}$$

Su una singola lanterna vengono quindi risparmiati circa 259 kg di CO₂ all'anno; considerando 6 lanterne per incrocio e circa 300 incroci semaforizzati si ottiene un risparmio annuo di più **di 450 Ton di CO₂** per una città come Torino.

Le lampade a LED, oltre a consumare meno energia a parità di luminosità hanno una maggior durata (circa 100.000 ore contro le 5.000 ore delle lampade ad incandescenza): per questo richiedono meno manutenzione, sia per la sostituzione di lampade bruciate che per la pulizia dei filtri colorati, in quanto le lampade LED producono la luce già del colore desiderato. In questo modo, a fronte di una maggiore spesa iniziale, si risparmia nel tempo grazie ai minori consumi e ai minori costi di manutenzione (senza contare che la minore manutenzione impatta anche sull'emissione di CO₂, in quanto non sono necessari spostamenti delle squadre per sostituzione/pulizia lampade).

I risultati sopra citati sono un esempio di come sia possibile ridurre le emissioni sostituendo semplicemente le lampade semaforiche; risultati ancora migliori possono essere ottenuti utilizzando speciali lanterne semaforiche, che utilizzano un minore numero di LED per colore (solamente 3 LED). Questo è possibile grazie allo sviluppo di speciali lenti e specchi che focalizzano la luce nella direzione desiderata.

Altri miglioramenti sono stati ottenuti applicando alle lanterne semaforiche un dimmer, ovvero un regolatore di potenza, comandato da un sistema che rileva la luminosità esterna e da uno che rileva la luminosità emessa: in questo modo verrà aumentata la potenza nel caso in cui la luminosità esterna sia molto alta, e diminuita ad esempio di notte, per mantenere una visibilità sempre ottimale della luce. Utilizzando questo principio inoltre si sopperisce al graduale calo delle prestazioni dei LED, tempi comunque più lunghi rispetto alle lampade ad incandescenza.

Allegato 6 - Il Piano Integrato di Roma: Mobilità, Progetto RomaperKyoto e PSMS

Il Comune di Roma, con la collaborazione dell'Agenzia per la Mobilità, ha elaborato il progetto europeo *"Realizzazione del Piano d'Azione del Comune di Roma per il raggiungimento degli obiettivi del Protocollo di Kyoto per la riduzione delle emissioni dei gas ad effetto serra"*, ROMAPERKYOTO, cofinanziato nell'ambito del programma comunitario Life Ambiente. Nell'ambito di questo progetto, Atac si è occupata di analizzare le emissioni del settore mobilità in funzione delle evoluzioni dei sistemi di trasporto e delle infrastrutture ad esso correlate. In ROMAPERKYOTO è stata prevista la Redazione di un "Piano di Azione per il raggiungimento degli obiettivi previsti dal Protocollo di Kyoto", che stabilisce le modalità per il conseguimento entro il 2012 della riduzione del 6,5% delle emissioni di gas climalteranti per la città di Roma, considerando come anno di riferimento il 1990. Esso è stato successivamente approvato con Delibera di G.C. n° 72 del 26/03/09.

Riguardo alla mobilità, si sono valutate le emissioni da CO₂ prodotte dalla mobilità urbana nella città di Roma, esaminando quindi inizialmente gli strumenti adottati ed i risultati ottenuti dall'Amministrazione Comunale dal 1999 ad oggi, in cui ha intrapreso azioni attraverso provvedimenti, programmati o permanenti, adottati per il contenimento delle emissioni climalteranti.

L'Agenzia della Mobilità ha quali principali strumenti e servizi quelli di supporto alle decisioni strategiche e alle valutazioni ambientali (DSS), quelli per il monitoraggio della mobilità, integrabili con le analisi ambientali per la calibrazione del DSS, gli strumenti per la gestione della domanda di mobilità quali le ZTL ed i varchi elettronici associati, strumenti per l'informazione all'utenza dei servizi di mobilità, i servizi di mobilità sostenibile quali il car sharing, bike sharing, mobility management, ricarica veicoli elettrici, ciclabilità, etc. ed è coinvolta nei servizi di progettazione e nella riqualificazione urbana.

In questa valutazione sono risultati fondamentali in particolare i sistemi ITS della città di Roma gestiti dall'Agenzia della Mobilità. A partire dall'inizio del 2000 la STA, poi Atac ed ora Agenzia della mobilità, attraverso il sistema di controllo del traffico, dispone in tempo reale dei dati di circa 400 intersezioni relative ad itinerari della viabilità principale di Roma (24 ore su 24 con cadenze semi - orarie) pari ad un monitoraggio real-time su 160 Km circa della rete primaria.

La Sala di Controllo della Mobilità integra una serie di sottosistemi, ciascuno dedicato all'assolvimento di funzioni tra loro diverse (impianti semaforici, pannelli a messaggio variabile, varchi automatici di controllo accessi, telecamere, unità centrale di elaborazione dei dati e delle informazioni di traffico).

Il DSS Atac è infatti in grado di definire e quantificare la modificazione della distribuzione della mobilità per le diverse componenti modali, valutando i parametri trasportistici ed ambientali su scala Provinciale, tenuto conto dell'evoluzione insediativa prevista dal PRG. Valuta quindi le modalità e le priorità di intervento sulla rete stradale, la rete del TPL (ferrovie, metropolitane, corridoi, rete di superficie urbana ed extraurbana, ferrovie concesse), i servizi del TPL ordinari ed integrativi, i parcheggi di scambio ed intermodalità pedonale e ciclabilità nonché sulle politiche di gestione della domanda tariffarie per il TPL e per la sosta e di regolazione del traffico (es. sosta tariffata, ZTL, limitazioni veicoli inquinanti).

Vari progetti europei di ricerca (ISHTAR, HEAVEN, ecc) e Ministeriali hanno poi portato alla realizzazione di un Sistema prototipale di Supporto alle Decisioni per la valutazione ambientale di politiche di mobilità con la realizzazione di catena completa di modellistica del traffico, delle emissioni e degli input per le dispersioni a livello locale, utilizzando le funzionalità/dati della Centrale della Mobilità di Roma, con creazione di interfaccia operatore con GIS, database e cartografie adeguate.

Per cercare di cogliere gli aspetti dinamici dei flussi, i dati di ingresso che vengono processati sono, oltre alla matrice Origine-Destinazione, i flussi misurati dalle spire elettromagnetiche e dai sistemi UTT che la stessa Centrale gestisce e monitora costantemente, in maniera da introdurre un meccanismo algoritmico che fosse in grado di cogliere, entro limiti accettabili, le variazioni al trascorrere del tempo.

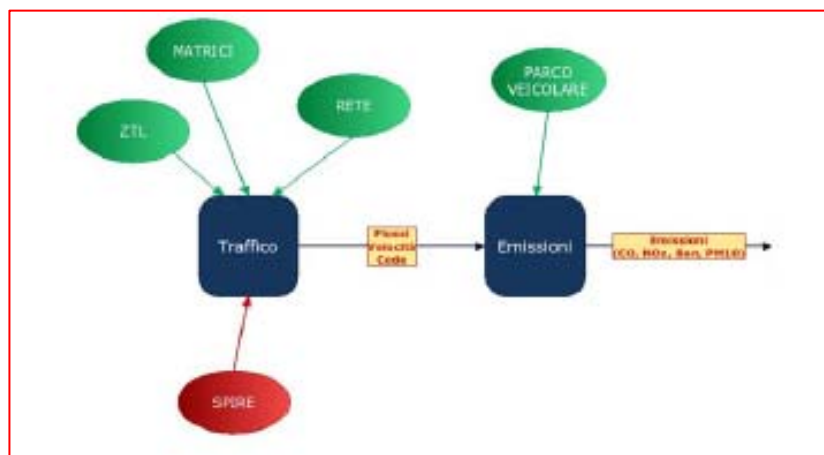


Figura A6.1 – La centrale della mobilità di Roma ed il DSS Ambientale. Fonte: Atac

L'obiettivo è stato quello di valutare da un punto di vista quantitativo, gli effetti che gli interventi di mobilità del Comune di Roma hanno generato sulla viabilità.

A tal fine si sono utilizzati modelli matematici in grado di simulare e verificare differenti ipotesi di progetto. Per lo sviluppo e la risoluzione degli algoritmi di calcolo si è utilizzato lo strumento di supporto alle decisioni (DSS) utilizzato dall'Agenzia della Mobilità.

Il modello di simulazione permette di analizzare puntualmente lo stato del traffico sulla rete di trasporto, consentendo al pianificatore l'individuazione e la risoluzione delle problematiche, verificando al contempo la bontà degli interventi ipotizzati in maniera oggettiva e in tempi relativamente contenuti. I modelli sono verificati e supportati dalla disponibilità di dati reali e statistici provenienti dalla Centrale della Mobilità di Atac stessa, nonché sono integrati da una analisi preliminare costi-benefici.

La metodologia COPERT e sue evoluzioni specialistiche utilizzate nello studio permette di stimare gli impatti derivanti dalle emissioni da traffico veicolare nell'area cittadina e di valutarne i benefici rispetto agli anni precedenti, derivanti sostanzialmente dal rinnovo del parco veicolare, dai sistemi ITS e dai nuovi interventi infrastrutturali previsti nel periodo in esame.



Figura A6.2 – I moduli del DSS di assegnazione e del calcolo delle emissioni. Fonte: Atac

Il piano di interventi di tipo strutturale, messo in atto già da alcuni anni per contenere l'inquinamento atmosferico, si basa su punti fondamentali quali l'adozione del Piano Generale del Traffico Urbano (PGTU) che prevede, quali interventi cardine, la limitazione della circolazione alle auto maggiormente inquinanti nelle zone più sensibili (ZTL Centro storico e ZTL "Anello ferroviario"), come in esso definite. Inoltre, si dà menzione anche dell'aggiornamento del PGTU e delle nuove discipline nel centro Storico, dello sviluppo della mobilità sostenibile, degli incentivi per la conversione del parco circolante privato.

Per quanto riguarda il TPL e la mobilità sostenibile si possono citare importanti risultati a fine 2009:

- Volume di servizio TPL: 173,7 milioni di vetture/Km, 2,9 milioni in più rispetto al 2006, passeggeri trasportati aumentati dell'11,3%
- Varchi elettronici: riduzione media del 18% del traffico veicolare dal 2002 al 2007 nella ZTL Centro Storico
- Tariffazione posti auto: nel 2007-8 sono aumentati del 15,5% rispetto al 2006, con un incremento del 17,7% per gli stalli dei diversamente abili e del 16,9% per i motoveicoli
- Estensione rete ciclabile: passata dai circa 100 Km del 2004 agli attuali 230 Km circa, di cui 115 su strada
- Punti di ricarica per i veicoli elettrici: dal 2002 al 2007 sono passati da 48 a 55
- Car-sharing: il sistema è presente in altri tre Municipi (I,II e XVII) con 60 autovetture ed è attesa una migliore copertura con più di 100 veicoli per metà 2010

- Bike-sharing: la fase di espansione è partita il 1/06/09 coinvolgendo tre Municipi (I, III e XIII) con 220 biciclette. La copertura dell'intera città è prevista per i prossimi anni.

Gli scenari del Nuovo Piano Regolatore Generale (NPRG) individuati quale sviluppo evolutivo della città sono riportati a seguire e forniscono ulteriori elementi di valutazione da tener presente per un ulteriore rafforzamento delle politiche di mobilità sostenibile verso cui la città, in accordo anche alle più recenti evoluzioni della normativa europea e sono in accordo con quanto individuato dal nuovo Piano Strategico per la Mobilità Sostenibile lanciato nel 2009 dalla nuova Amministrazione della città di Roma.

Lo scenario di mobilità nel medio periodo (2011-2013) prevede quindi l'incremento del 25% delle infrastrutture con la rete ferroviaria (10,8 Km Anello Ferroviario, 4 Km di nuova realizzazione), 17 Km prolungamento della Metro C e 5 della linea B1, i corridoi A2 (collegamento Tor Vergata – Anagnina) e la tratta A7 (Laurentina – Trigatoria), un recupero di circa 22 mila utenti sul trasporto pubblico nell'ora di punta (+13,5 rispetto all'attualità), il traffico in riduzione nelle fasce più centrali della città e in incremento in quelle periferiche con aumento delle percorrenze complessive del 4% e spostamenti totali: da circa 563 mila ad oltre 579 mila nell'ora di punta.



Figura A6.3 – Scenario di medio periodo (2011-13). Fonte: Atac

Si sono poi calcolati gli scenari emissivi di CO₂. Il Comune di Roma ha intrapreso un'attività periodica per la valutazione delle emissioni a partire dal 1998, come riportato nei Rapporti annuali sullo stato della qualità dell'aria, mentre prima di quell'anno non era disponibile un sistema di monitoraggio della mobilità e di conseguenza di una base dati. La soluzione più coerente ha suggerito all'interno del presente studio di scegliere il 1998 come anno di partenza, e studiare l'evoluzione e la previsione delle emissioni ed in particolare la CO₂ fino all'orizzonte temporale di riferimento del progetto ed anche a quello di attuazione del Nuovo Piano Regolatore Generale della città di Roma al 2020, per capire le evoluzioni delle emissioni anche dopo la data di applicazione del protocollo di Kyoto.

A questo tipo di risultato si sono affiancate le elaborazioni effettuate da ENEA nell'ambito del progetto ROMAPERKYOTO, che indicano un andamento crescente per il periodo 1990-2002, seguito da leggera diminuzione nel periodo 2002-2006. L'approccio utilizzato di tipo Top-Down, considera come base di partenza i dati forniti dal bollettino petrolifero, relativi ai carburanti venduti nella provincia di Roma.

Comparati i due approcci per la determinazione delle emissioni di CO₂, si è individuato una soluzione di compromesso che corregge gli andamenti elaborati da Atac in maniera compatibile con gli scenari ENEA, cosicché si sono avute indicazioni univoche sui trend futuri. L'anno di partenza, per il calcolo delle emissioni di CO₂, viene considerato il 1998, mentre per il periodo precedente (1990-1998) si sono invece utilizzate le stime di ENEA nell'individuazione del trend, in quanto unico dato disponibile.

La figura successiva sintetizza la condivisa variazione percentuale di CO₂ per il periodo 2006-2012, nelle 5 zone delineate dal PGU: per le tre zone interne si osserva una marcata diminuzione di emissioni causate dall'effetto combinato del rinnovo del parco veicolare da un lato, ed i provvedimenti di regolazione dall'altro. Inoltre, specifici provvedimenti predisposti dall'Amministrazione Comunale, diretti ad un'ulteriore limitazione o interdizione del traffico non solo per le zone a maggior pregio storico, e quindi più esposte ai danni derivanti dalle emissioni prodotte dal traffico privato, ma anche per l'intero territorio comunale.

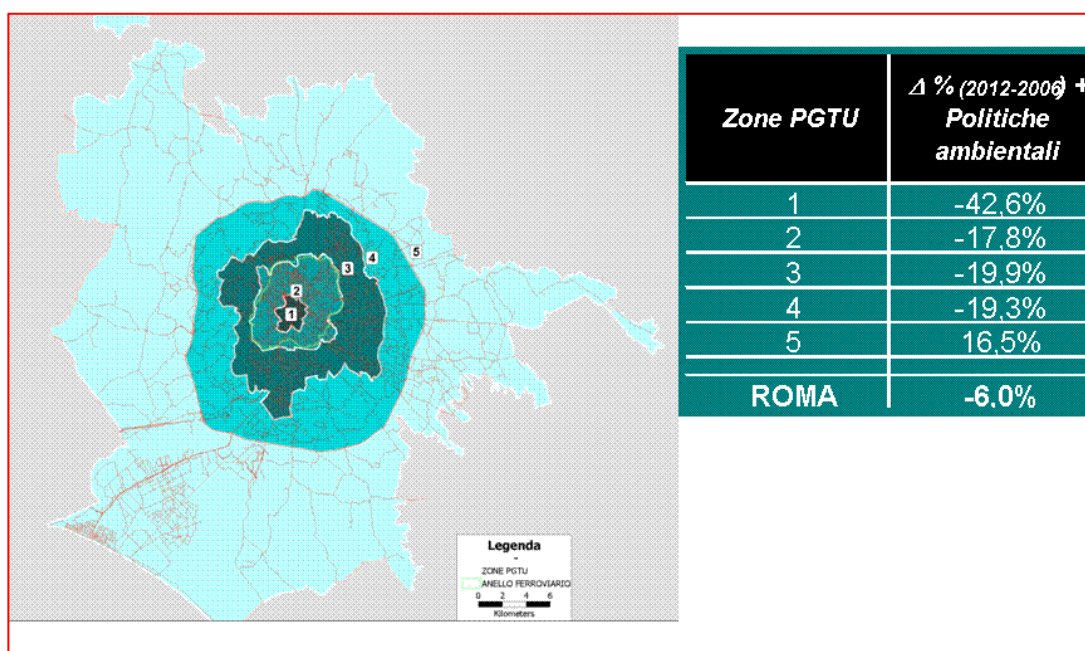


Figura A6.4 - Stima della variazione percentuale di Emissioni di CO₂ nel Comune di Roma evoluzione 2006-2012. Fonte: Atac

Il Piano Strategico della mobilità sostenibile prevede per lo scenario di lungo periodo (2023), tenendo conto delle dinamiche urbanistiche, una serie di interventi come il potenziamento e la fluidificazione della rete stradale, il potenziamento delle ferrovie metropolitane, la razionalizzazione della rete di superficie (la rete su gomma, i corridoi, i tram), i prolungamenti e i tracciati delle metropolitane previste dal vigente PRG.

Ciò porterà la riduzione del 23% del tempo medio sulla rete per un totale di quasi 70 milioni di ore risparmiate all'anno, l'aumento del 4% delle percorrenze, per effetto della dispersione insediativa, la riduzione del 5% traffico viabilità locale con risparmio di 11 mila ore all'anno, l'incremento del 15% di ripartizione modale a favore del trasporto pubblico, (dal 27,5% al 42,5% nell'ora di punta) avendo quasi 100 mila spostamenti in più, la riduzione dell'11% degli spostamenti auto (50.000 in meno) e del 2,5% degli spostamenti moto (10.000 in meno), e sul Centro Storico: ripartizione modale sul TPL pari al 70% contro il 50% di oggi.

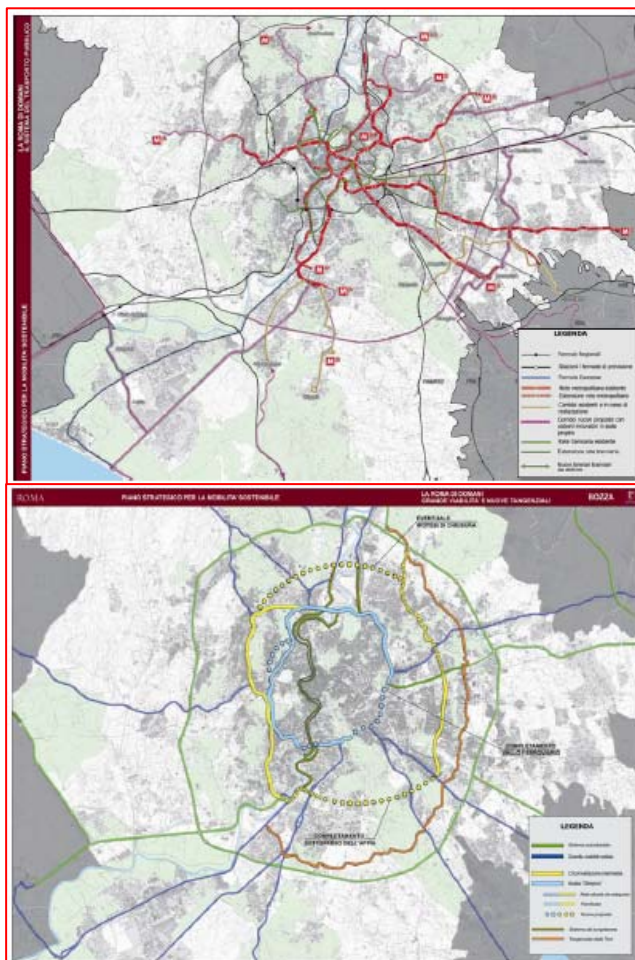


Figura A6.5 - Scenario di lungo periodo della mobilità a Roma da PSMS – TP e traffico privato. Fonte: Atac

Gli interventi infrastrutturali previsti, il potenziamento e la razionalizzazione del trasporto pubblico, il potenziamento e la fluidificazione della rete stradale, consentiranno una riduzione significativa per la CO₂, ma anche di tutti gli altri inquinanti, andando a sanare una situazione ad oggi ancora difficile in termini ambientali.

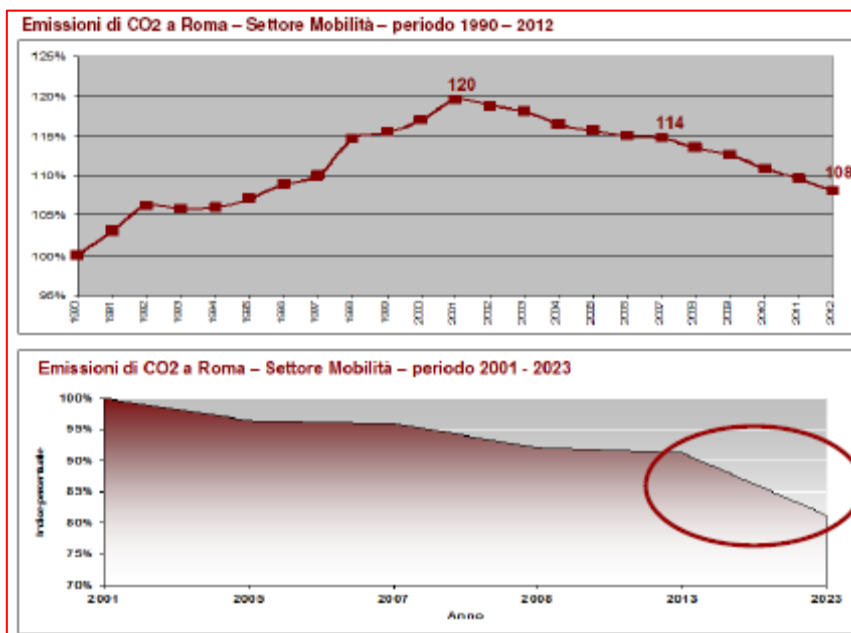


Figura A6.6 - Emissioni di CO₂ a Roma – comparto mobilità. Fonte: Atac

Infine, va notato come la CO₂ abbia iniziato il suo trend discendente proprio in corrispondenza dell'utilizzo sempre più massiccio delle soluzioni ITS a Roma. Gli ITS si dimostrano così strumento fondamentale anche nella gestione delle emergenze ambientali come anche del monitoraggio continuo dell'efficacia degli interventi.

Allegato 7 - Il progetto pilota ITS- TAP

Il progetto pilota ITS- TAP (*Intelligent Transport Systems for Traffic Air Pollution*) è nato nel dicembre 2004, con il supporto dei Ministeri per l'Ambiente italiano e cinese e si è inserito nell'iniziativa "Green Olympics", ovvero il cluster di iniziative intraprese dal Governo cinese per migliorare la qualità dell'aria a Pechino in vista delle Olimpiadi del 2008.

Già nel 2002 il Governo aveva infatti focalizzato l'impatto crescente che il traffico stava avendo sull'inquinamento atmosferico, associato al boom della motorizzazione che ha caratterizzato la città, che vede immatricolati oltre 1000 nuovi veicoli al giorno, per l'equivalente di 350-400.000 nuovi veicoli all'anno: un aumento annuale pari all'intero parco veicoli di una città come Bologna.

Uno studio compiuto nel 1998 dimostrava già che il contributo delle emissioni di gas di scarico alla densità dell'aria risultava essere per il 55% ossido di azoto e il 70% da monossido di carbonio nella stagione calda, e 68% e 78% rispettivamente nella stagione fredda.

In questo quadro, per poter controllare in maniera efficace la tendenza di crescita di tali elementi inquinanti e quindi fornire un supporto a lungo termine per il miglioramento della qualità dell'aria dell'area di Pechino, l'agenzia per l'ambiente della municipalità di Pechino (BMEPB) ha ritenuto necessario stabilire una rete efficace di monitoraggio del flusso del traffico nel centro della città e dell'inquinamento dovuto al traffico stesso, al fine di comprendere le componenti del fenomeno e stabilire le basi per una più efficace azione di contenimento del traffico privato, promuovendo nel contempo l'uso del trasporto pubblico su autobus.

Per conto del BMEPB, il sistema ITS-TAP è stato subito oggetto di uno studio di fattibilità svolto dal CNR, Istituto per l'Inquinamento Atmosferico. Sulla base dei risultati dello studio, la China International Tendering Co., per conto di BMEPB e sempre con fondi del SICP, ha bandito nell'estate 2004 una gara aperta alle Aziende italiane per la progettazione, lo sviluppo e la manutenzione biennale del sistema, assegnata a fine 2004 alla Associazione Temporanea di Imprese formata da Thetis (capofila), Atac, Ecotema e Fata DTS.

Gli obiettivi del progetto ITS-TAP sono:

- contribuire alla riduzione di emissioni di gas serra ed altri agenti inquinanti generati da veicoli a motore in Pechino;
- realizzare nell'area pilota a Pechino delimitata dal secondo anello stradale un sistema integrato e innovativo di gestione della mobilità;
- mettere in atto e dimostrare tecnologie per la gestione dell'accesso in centro, sia nel traffico pubblico sia in quello privato, così da creare la prospettiva per le autorità competenti di definire una politica sulla mobilità;
- aiutare le autorità locali a costituire strategie e strumenti efficaci per la gestione di episodi di inquinamento da traffico.

L'approccio di questo progetto pilota è rappresentato, in prospettiva, dalla possibilità di una gestione intelligente degli accessi in un centro urbano, che scaturisce dalla integrazione fra questi fattori in un sistema decisionale unificato:

- misure in tempo reale dei parametri di inquinamento dovuti al traffico;
- misure della quantità e delle classi di veicoli entranti e uscenti nella zona del secondo anello, in modo da stimare la quantità di traffico attivo agente nell'area;

- previsione del livello di inquinamento dell'aria nei giorni successivi, sulla base di un modello matematico euristico adattativo, che permette di valutare gli effetti di politiche diverse di accesso;
- possibilità di attuare limitazioni all'accesso, mirate a certe classi di veicoli (più inquinanti) registrati su un apposito database e per periodi stabiliti;
- possibilità di gestire il trasporto pubblico su bus a compensazione delle limitazioni all'accesso.

Per realizzare l'idea progetto, il sistema è stato realizzato nelle sue componenti fondamentali:

- **Rete di Monitoraggio della qualità dell'aria (AQMS, Air Quality Monitoring System)**

La rete di monitoraggio comprende 6 stazioni fisse, dotate di analizzatori di gas e particolato, strumenti meteorologici e monitor per l'analisi di stabilità atmosferica, 30 stazioni di saturazione (PM10 e PM2.5), 3 stazioni per il monitoraggio delle emissioni (sensori a distanza e tester per gas di scarico) e 1 stazione mobile non convenzionale, ovvero una stazione con strumentazione innovativa, montata su un mezzo mobile.

- **Rete di Stazioni per il Monitoraggio del Traffico (TMS, Traffic Management System)**

Il sistema consiste di 22 varchi strumentati, composti da radar speciali e telecamere, e relativi sistemi di elaborazione locale, per la classificazione e il conteggio dei veicoli in ingresso e in uscita dalle strade che dal secondo anello portano nel centro della città di Pechino. Il sistema, oltre al conteggio, è in grado di identificare con la lettura automatica delle targhe, e quindi di consentire il sanzionamento, i veicoli che fossero sottoposti alla limitazione all'accesso perché più inquinanti durante i periodi di limitazione.

- **Sistema di Gestione del Trasporto Pubblico (PTMS, Public Transport Management System)**

Il PTMS, realizzato presso la BPT (Beijing Public Transport, la municipalizzata di Pechino) è un sistema sperimentale di localizzazione GPS e gestione flotta del servizio autobus, che realizza la programmazione del servizio utilizzando tecnologie software innovative e la gestione in tempo reale del servizio di trasporto pubblico su autobus. E' il primo sistema di questo tipo utilizzato dalla BPT, donde il carattere sperimentale per l'Azienda, nella prospettiva di un impiego su più vasta scala e non solo nel contesto ITS-TAP.

Risulta composto di: 1 centro operativo, 200 sistemi a bordo di autobus (comprensivi di computer di bordo, terminal di interfaccia con l'autista, sistema di comunicazione Wireless LAN a breve raggio, sistema di comunicazione GPRS a lunga distanza, sistema di localizzazione GPS e uno di informazione per i passeggeri, contapasseggeri), 20 sistemi di informazione per fermate e 3 sistemi di trasferimento dati per i depositi, basato su sistema Wireless LAN.

- **Centro Dati (Data Centre)**

Il Centro Dati, realizzato presso il BMEPB, raccoglie tutti i dati misurati in campo e li utilizza per visualizzare la situazione su apposite mappe geografiche e alimentare un Modello di Traffico e Ambientale (TEM), di previsione della situazione di inquinamento dei giorni successivi. Il Centro Dati fornisce un aiuto alle autorità locali nell'identificazione di strategie e azioni per la gestione del trasporto pubblico e privato valutando i benefici derivanti a livello ambientale.

I risultati di ITS-TAP ed i suoi sviluppi

Il sistema ITS TAP è stato completato in tempo per le Olimpiadi ed è stato utilizzato da BMEPB e da BPT durante i Giochi per analizzare i dati e il traffico nell'area di interesse. Attualmente il sistema è utilizzato da BMEPB per l'analisi causa-effetto fra traffico in centro, inquinamento atmosferico su microscala e macroscala.

Per quanto riguarda il sistema di gestione della rete autobus, il progetto ITS TAP ne ha generato un altro a fine 2007, il progetto IBOCS (Intelligent Bus Operation and Control System), realizzato per conto della BPT dalla Associazione Temporanea di Imprese formata da Thetis e Atac, per consentire la pianificazione e la gestione GPS

del servizio di trasporto pubblico su autobus delle 32 linee speciali Olimpiche, che hanno trasportato gli spettatori dai punti di interscambio in città fino ai luoghi olimpici, coinvolgendo circa 2000 autobus.

L'università di Pechino ha utilizzato il sistema ITS-TAP come lo strumento per lo studio "Impact Assessment of Traffic Demand Management on Traffic-related Air Pollution During the Beijing Olympic Games", presentato a rappresentanti delle autorità cinesi. Ecco alcuni dei risultati:

- a) le emissioni di NO_x sono scese del 13-27%;
- b) le emissioni di CO sono diminuite del 18-25%;
- c) le emissioni di VOC sono diminuite del 12-24%;
- d) le emissioni del PM10 sono diminuite del 14-27%.

Il grafico sottostante indica la variazione di concentrazione di NO_x, VOC, PM10 e CO rilevata da una delle stazioni di monitoraggio di ITS-TAP nel mese di luglio 2008, in seguito delle politiche di Traffic Demand Management realizzate anche con il supporto di ITS-TAP.

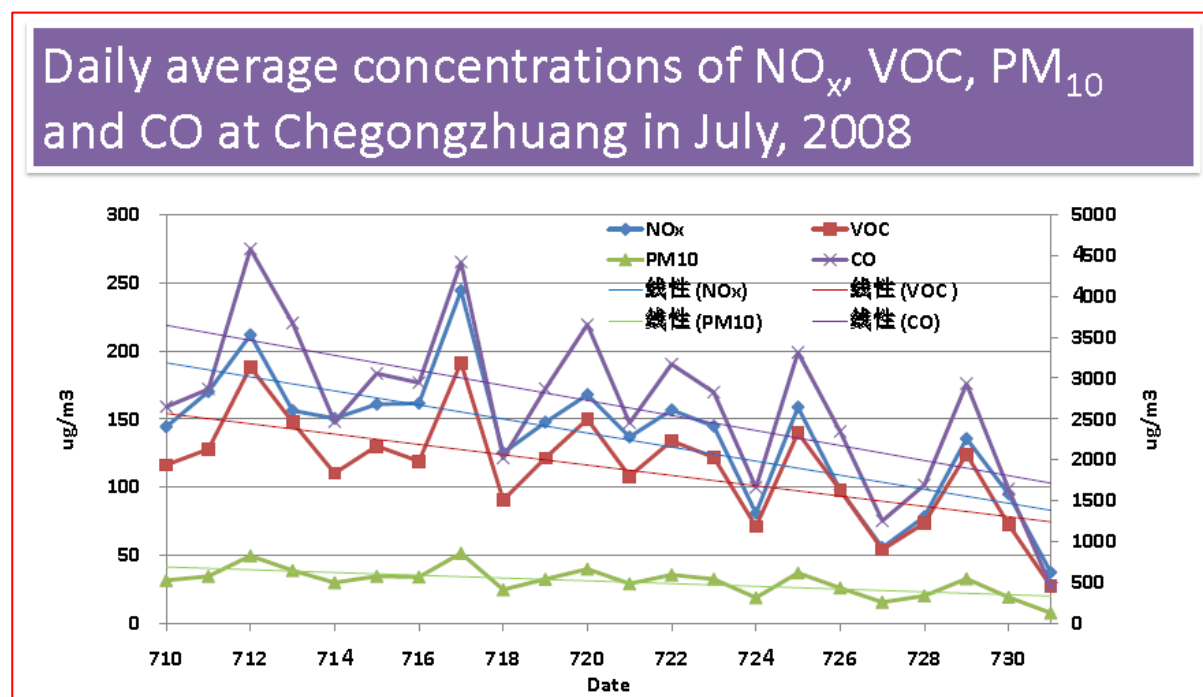


Figura A7.1 – Variazioni delle emissioni inquinanti dopo le implementazioni ITS a Pechino. Fonte: Thetis

