



Ministero dell'Istruzione,
dell'Università e della Ricerca



Università degli Studi
di Palermo

DITRA

Dipartimento di Ingegneria
dei **Trasporti**

Dipartimento di Ingegneria dei Trasporti

Dottorato di Ricerca in
Tecnica ed Economia dei Trasporti

ICAR/05

I SISTEMI ESPERTI COME STRUMENTO DI SUPPORTO ALLA PIANIFICAZIONE DEL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE

Tesi di Dottorato
Ing. Patrizia Franco

Tutor
Prof. Ing. Giuseppe Salvo

Coordinatore del Corso
Ch.mo Prof. Ing. Luigi La Franca

A.A. 2007/2008 – XXII Ciclo – Aprile 2011

INDICE

RINGRAZIAMENTI.....	1
INTRODUZIONE	2
CAPITOLO 1	4
STATO DELL'ARTE	4
1.1 Politiche, pianificazione del trasporto pubblico e legislazione di riferimento.....	4
1.1.1 <i>Introduzione</i>	4
1.1.2 <i>Le direttive europee e gli aspetti attuativi in Italia</i>	5
1.1.3 <i>Politiche e pianificazione del settore dei trasporti nel Regno Unito</i>	7
1.1.4 <i>La tutela dell'ambiente nella normativa di settore</i>	12
1.1.5 <i>Politiche e pianificazione nel settore del trasporto pubblico</i>	14
1.2 Tariffazione dei servizi di trasporto	18
1.3 I modelli di pianificazione e gestione dei servizi di trasporto	23
1.4 Parametri di progettazione delle reti di trasporto pubblico locale.....	29
1.5 Research evidence.....	32
1.6 Obiettivi della tesi	35
CAPITOLO 2	
METODOLOGIA	37
2.1 Metodologia ai fini della progettazione del sistema esperto.....	37
2.2 Metodologia dell'indagine effettuata sugli autobus.....	38
CAPITOLO 3	
IL TRASPORTO PUBBLICO NEL TYNE AND WEAR.....	41
3.1 Introduzione	41
3.2 Cenni storici sullo sviluppo dei trasporti nel T&W	43
3.3 Servizi di trasporto passeggeri su gomma.....	50
3.4 Altri servizi di trasporto pubblico	58
CAPITOLO 4	
SVILUPPO DEL SISTEMA DI SUPPORTO ALLE DECISIONI DSS.....	60
4.1 Descrizione architettura	60
4.2 Il Network Performance Model (NPM)	63
4.3 Il modello di calcolo per le emissioni inquinanti.....	65
4.3.1 <i>Premessa</i>	65
4.3.2 <i>Il modello a rete</i>	66

CAPITOLO 5	
IL MACROSIMULATORE CUBE E IL MODELLO TPM.....	71
5.1 Il macrosimulatore CUBE.....	71
5.2 Descrizione del TPM	75
5.2.1 <i>Area studio modellata dal TPM</i>	78
5.2.2 <i>Caratteristiche dei principali componenti del TPM</i>	81
5.3 Il ruolo del TPM nella ricerca.....	95
5.4 Definizione dello scenario di base	96
5.4.1 <i>Generalità</i>	96
5.4.2 <i>Parametri specifici di scenario</i>	96
5.4.3 <i>Parametri di costo generalizzato</i>	97
5.4.4 <i>Parametri finali del modello</i>	103
CAPITOLO 6	
CASI STUDIO	105
6.1 Descrizione servizi di trasporto su gomma analizzati	105
6.2 Raccolta e analisi dei dati	106
6.3 Relazioni e algoritmi.....	116
6.4 Utilizzo dei parametri nel modello	117
CAPITOLO 7	
APPLICAZIONE DEI MODELLI, VALIDAZIONE E SENSITIVITÀ	118
7.1 Validazione	118
7.1.1 <i>Validazione del modello highway</i>	118
7.1.2 <i>Validazione del modello di trasporto pubblico</i>	129
7.2 Analisi di sensitività	138
CAPITOLO 8	
CONCLUSIONI	161
BIBLIOGRAFIA	163

INDICE DELLE FUGURE

Figura 1 – Evoluzione legislative nel Trasporto pubblico in Europa e nel Regno Unito	9
Figura 2 – Layout utilizzato per la raccolta dati	39
Figura 3 – Mappa del Tyne and Wear	41
Figura 4 – Distribuzione delle principali città del mondo per “popolazione dell’area urbana”	42
Figura 5 – Totale abitanti per classi di popolazione di aree urbane.....	43
Figura 6 – Utenza autobus 1985-2010 nel Tyne and Wear	46
Figura 7 – Utenza della Metropolitana 1985-2010 nel Tyne and Wear ...	47
Figura 8 – Contributo del CAT all’utenza giovane dell’autobus.....	48
Figura 9 – Ripartizione dell’utenza autobus	48
Figura 10 – Copertura spaziale della rete di trasporto pubblico della zona centrale del Tyne and Wear (Fonte: Nexus / Census 2001)...	51
Figura 11 – Mappa della rete di trasporto pubblico metropolitano nel T&W (Nexus)	54
Figura 12 – Mappa delle zone (Z) in cui è suddiviso il T&W per l’abbonamento Metro Saver (Fonte:Nexus).....	56
Figura 13 – Mappa delle zone in cui è suddiviso il T&W per l’abbonamento congiunto ad alcuni servizi autobus, treno e la Metropolitana (Fonte:Nexus).....	57
Figura 14 – Diagramma concettuale dell’architettura del Decision Support System.....	61
Figura 15 – Struttura concettuale per il database utilizzato nel sistema di supporto alle decisioni PT-DSS	62
Figura 16 – Schema del Network performance model	64
Figura 17 – Struttura del Carbon Calculator sviluppata nel TPM model .	70
Figura 18 – Struttura a blocchi del modello TPM	77
Figura 19 – Area studio del TPM e sistema zonale	80
Figura 20 – Sistema zonale esterno del TPM	80
Figura 21 – Principali intersezioni modellate in dettaglio.....	85
Figura 22 – Layout a blocchi del modello di assegnazione del trasporto pubblico.....	91
Figura 23 – Dettaglio della rete del servizio autobus	93
Figura 24 – Rappresentazione della reti della Metro e del collegamento fluviale	94

Figura 25 – Rete di trasporto ferroviario (provincia del Tyne & Wear) ...	94
Figura 26 – Rappresentazione dell'andamento della tariffa basata sulla distanza (basata sull'autobus)	99
Figura 27 – Curva del tempo di attesa alla fermata.....	102
Figura 28 – Localizzazione servizi autobus A e B	106
Figura 29 – Inbound market attraction for the route A	108
Figura 30 - Market attraction of the route A	109
Figura 31 – Reliability index in case A and B.....	110
Figura 32 – Distribution for boarding and alighting passenger (shown as line graphs for clarity)	111
Figura 33 – Alighting and Boarding regressions for route A (left hand side) and route B	114
<i>Figura 34– Variation of boarding and alighting time per passenger</i>	<i>115</i>
Figura 35 – Screenlines di validazione del modello e siti/sezioni di rilievo.	122
Figura 36 – Distribuzione di frequenza dei valori di GEH dei siti di rilievo	126
Figura 37 – Tyne & Wear Metro Sections	132

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 – Sintesi degli impatti della competizione	10
Tabella 2 – Indicatori economici del TPL a Londra e fuori Londra: 1986-1995.....	11
Tabella 3 – Possesso dell’auto privata nel Tyne and Wear (fonte: Census 2001)	44
Tabella 4 – Ripartizione della domanda per modo di trasporto.....	44
Tabella 5 – Ripartizione dei passeggeri trasportati con il Trasporto Pubblico nel Tyne and Wear (anni dal 2007/08 al 2009/10. Fonte: NEXUS).....	45
Tabella 6 - Storia delle inaugurazioni delle tratte metropolitane nel T&W	53
Tabella 7 - principali biglietti del servizio Metro (fonte: Nexus).....	55
Tabella 8 – Principali abbonamenti al servizio Metro (fonte: Nexus).....	56
Tabella 9 – Segmentazione per motivi di spostamento	82
Tabella 10 – Disponibilità di auto propria	82
Tabella 11 – Classificazione modale	82
Tabella 12 – Periodi temporali modellati nel TPM	83
Tabella 13 – Classificazione delle direzioni	83
Tabella 14 – Veicoli pesanti	83
Tabella 15 – Origine dei dati utilizzati nello sviluppo del modello.....	84
Tabella 16 – Principali statistiche del TPM Highway Model.....	86
Tabella 17 – Classi di utenza nell’Highway Model.....	86
Tabella 18 – Principali statistiche del modello di trasporto pubblico.....	87
Tabella 19 – Principali statistiche dei servizi di trasporto pubblico	87
Tabella 20 – Aggregazione delle classi di utenza del modello di scelta modale.....	89
Tabella 21 – Modo / Operatore.....	90
Tabella 22 – Valore del tempo per lo scenario di base.....	98
Tabella 23 – Tabella giornaliera delle tariffe.....	99
Tabella 24 – Parametri generali del modello di Trasporto Pubblico	103
Tabella 25 – Summary of the slopes and powers for boarding and alighting time equations	115
Tabella 26 – Validazione dell’assegnazione – linee guida DMRB di accettabilità	119

Tabella 27 – Sommario della validazione dei flussi d’arco rispetto ai criteri DMRB	124
Tabella 28 – Sommario dei siti di conteggio dei flussi in funzione del GEH	125
Tabella 29 – Screenline Summary	127
Tabella 30 – Tyne & Wear Metro station (Validation Section)	132
Tabella 31 – Metro Section Validation (Average Hour)	134

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia la Professoressa Margaret Bell per avermi guidato, supportato e incoraggiato durante il periodo di studio all'estero presso il Transport Operations Research Group (TORG) e il Dr. Fabio Galatioto per avermi supportato nell'elaborazione e implementazione del modello CUBE. Desidero ringraziare inoltre, per il supporto e le informazioni fornite la Passenger Transport Executive, Nexus e i comuni di Newcastle e Gateshead. Ringrazio la Stagecoach North East per aver autorizzato le campagne di raccolta dati sui suoi autobus, Jacobs Newcastle e Citilabs per il supporto tecnico durante le simulazioni con CUBE e il TPM.

Un particolare ringraziamento agli studenti dell'IIT Delhi Mitali Bhandari, Mansi Dhiman e Swati Pasrija e della Newcastle University Sarah Hollah e Ferenc Kenenssey-Donath che hanno collaborato con me durante le campagne di raccolta dati.

INTRODUZIONE

In Italia e in particolare in Sicilia si sta cercando d'introdurre meccanismi di competizione tra gli operatori di trasporto, al fine di ridurre le sovvenzioni statali per il mantenimento dei servizi. La privatizzazione del mercato e le sue conseguenze sono invece una realtà ben consolidata nel Regno Unito, dove la liberalizzazione del mercato esiste già da più di trent'anni. Partendo dall'analisi delle normative che sono alla base delle politiche di gestione del sistema trasporti in Europa, Italia e Gran Bretagna vengono approfondite le similitudini e le differenze nello sviluppo e promozione del trasporto pubblico.

Data la pressione sui governi per ridurre il contributo dei trasporti al cambiamento climatico i criteri economici non possono essere considerati la principale metrica per la pianificazione e gestione delle reti di trasporto. L'obiettivo principale di questa ricerca è quello di progettare, costruire e utilizzare un modello di rete che considera, oltre ai parametri tradizionali, come tempo di percorrenza, la domanda di trasporto e profitto economico, le emissioni di anidride carbonica per passeggero di ogni servizio di trasporto come parametro per misurare le prestazioni dei servizi autobus. In questo modo le emissioni di CO₂ saranno utilizzate per quantificare i vantaggi del trasporto pubblico e il ruolo specifico dell'interscambio tra i modi di trasporto. Questa ricerca si propone di formulare le linee guida per la progettazione di un *Decision Support System* e di indagare se le attuali linee sovvenzionate dalle PTE, in futuro, possano svolgere un ruolo chiave nel rafforzare la sostenibilità del trasporto pubblico locale, utilizzando la loro capacità di ricambio e la flessibilità potenziale di rotte e dei veicoli che prestano servizio per fornire un sistema integrato di trasporto pubblico. I servizi autobus attualmente sovvenzionati, potenzialmente, rappresentano una risorsa preziosa, poiché penetrano le zone residenziali dove spesso vi è una elevata percentuale di utilizzo dell'automobile privata e collegano queste zone con i principali corridoi di trasporto pubblico nelle vicinanze.

La difficoltà sta nel valutare i benefici dell'interscambio dei trasporti pubblici in termini di risparmio di carbonio emesso in atmosfera. Tutte le analisi sono basate sulla città di Newcastle upon Tyne nella regione del Tyne and Wear, dove sono state altresì effettuate campagne di raccolta dati a bordo degli autobus per raggiungere un maggiore dettaglio e conoscenza dei servizi autobus sovvenzionati. Inoltre la regione si è dotata di un modello di Pianificazione dei Trasporti (TPM), che funziona in ambiente CUBE (CUBE 5.1.2 prodotta da Citilabs Inc.), che è stato utilizzato per una modellazione della rete di trasporto che tenga conto non solo dei trasporti, ma anche aspetti di uso del suolo, demografiche, le condizioni di occupazione, nonché le emissioni di carbonio.

Infine è stato realizzato un modello per il calcolo delle emissioni di anidride carbonica, sviluppato come un post processo (integrato) del TPM per valutare l'attuale politica di controllo delle emissioni di carbonio e valutare i benefici dell'adozione di un trasporto integrato autobus/metropolitana.

Nel primo capitolo della tesi viene presentato lo stato dell'arte delle problematiche da affrontare, con un excursus che partendo dalle normative in vigore, si sofferma sullo sviluppo dei DSS e sui parametri che influenzano le prestazioni degli autobus, per concludere con l'individuazione delle lacune riscontrate in letteratura e gli obiettivi della tesi. Nei capitoli successivi viene presentata la metodologia adottata, la descrizione del caso studio del Tyne and Wear e la descrizione del modello TPM utilizzato nella modellazione. Nel capitolo sei vengono presentati i casi studio per cui è stato calibrato il modello e vengono presentati i dati in seguito inseriti nel database del modello. Nei capitoli finali vengono presentati i risultati e le conclusioni con particolare riferimento alle linee guida per adozione di una procedure simile nel contesto siciliano.

CAPITOLO 1

STATO DELL'ARTE

1.1 Politiche, pianificazione del trasporto pubblico e legislazione di riferimento

1.1.1 Introduzione

L'introduzione di meccanismi di competizione e l'assegnazione dei servizi tramite bandi di gara è vista come la soluzione ottimale ai problemi economici nel settore dei trasporti. Infatti, ci si aspetta che si riducano i costi, incrementando la produttività, la qualità del servizio offerto all'utenza, diminuendo i sussidi, ma contemporaneamente stimolando l'innovazione tecnologica e incrementando l'uso del trasporto pubblico. Inoltre, il principale obiettivo della Commissione Europea è incoraggiare la competizione nel settore dei trasporti per stimolare la crescita di un mercato europeo comune a tutti gli stati membri.

In Italia, a seguito della Direttiva 1191/69/EC e del Decreto 422/97, si è passati dall'assegnazione delle concessioni per affidamento diretto ad un regime di concorrenza regolata, al fine di ridurre i sussidi pubblici e promuovere l'innovazione tecnologica nel settore del trasporto pubblico. Ma, come evidenziato da Boitani e Cambini, 2009 [1], vi è stata una scarsa apertura del mercato e molto spesso le gare di assegnazione dei servizi, essendo scarsamente appetibili, sono terminate con una bassa partecipazione degli operatori del settore e con la vittoria dell'incumbent. Ciò ha portato a ribassi limitati, anche a causa dell'applicazione di clausole sociali, che obbligavano il nuovo fornitore di servizi ad assumere il personale del precedente gestore e a mantenere le vecchie retribuzioni.

In paesi quale il Regno Unito, invece, la privatizzazione del settore del trasporto pubblico ha portato ad una riduzione del costo del lavoro e quindi al raggiungimento di ribassi elevati con una conseguente diminuzione dei sussidi pubblici.

In realtà, dopo oltre vent'anni dall'entrata in vigore della *Deregulation*, in particolar modo nelle aree metropolitane, si è progressivamente generata una scarsa apertura del mercato, con pochi e influenti operatori che si sono gradualmente "divisi" il territorio nazionale. Il risultato è stato un incremento costante della tariffazione e un'innovazione tecnologica non rispondente alle aspettative. Gli utenti, che avrebbero dovuto trarre vantaggio dalla riforma, anche se spesso si trovano di fronte alla possibilità di scegliere fra più operatori, spesso non hanno informazioni sufficienti sia sulla tariffazione sia sui servizi a disposizione, pertanto la scelta risulta difficile e non sempre conveniente rispetto al mezzo privato. Ne consegue un aumento della congestione del traffico, e una diminuzione nell'uso del trasporto pubblico, con conseguente necessità di adottare politiche di *traffic calming* (*road pricing*, la tariffazione della sosta e zone a parcheggio limitato ai soli residenti, estese sia all'intero centro città che ad aree suburbane).

Un'analisi dei problemi di gestione e ottimizzazione del trasporto pubblico non può prescindere dal contesto legislativo, dalla pianificazione, e dal contesto sociale e politico. Nei prossimi paragrafi vengono presentate le prescrizioni e i regolamenti in Europa, Italia e Gran Bretagna, al fine di evidenziare i differenti sviluppi e approcci della stessa politica comunitaria.

1.1.2 Le direttive europee e gli aspetti attuativi in Italia

In Europa, la riforma nel settore dei trasporti è stata avviata dal Regolamento CE 1191/1969, in seguito modificato e integrato dal Regolamento CE 1893/1991.

L'innovazione principale consisteva nel considerare il settore dei trasporti come qualsiasi altro settore economico, forse sottostimando il valore sociale del trasporto pubblico. Le aziende di trasporto dovevano essere gestite come aziende private con un proprio bilancio, divenendo indipendenti dagli organismi di governo. Sono stati introdotti, pertanto, meccanismi di competitività all'interno delle procedure per l'assegnazione dei servizi, al fine di garantire trasparenza e libera circolazione degli operatori all'interno della Comunità Europea, prevedendo, in via eccezionale, forme compensative per l'esercizio delle tratte a bassa redditività (servizi integrativi).

In Italia, a seguito del recepimento dei regolamenti europei mediante il D.lgs 422/97 e il D.lgs 400/99, si stabiliva che a partire dal dicembre 2003 non potevano essere più concessi i servizi di trasporto pubblico mediante affidamenti diretti. Tuttavia, dalle prime esperienze di adozione e implementazione di queste normative [4], sono emerse delle lacune e difficoltà nel bandire gare appetibili, o, laddove portate a conclusione, si è avuta l'assegnazione dei servizi agli operatori storici, vanificando le finalità e gli obiettivi dei regolamenti recepiti. Inoltre, un ulteriore ritardo si è avuto con il D.L. 269/03, che consentiva nuovamente la possibilità di stipulare, in via temporanea, ulteriori affidamenti diretti.

Le lacune e le difficoltà emerse nell'espletamento delle gare si sono verificate non solo in Italia ma anche in altri paesi europei. Ciò ha determinato l'esigenza da parte della Comunità Europea di pubblicare un nuovo regolamento, il n. 1370/2007, in cui sono riviste le norme d'intervento delle autorità competenti e le condizioni per l'assegnazione dell'obbligo di servizio pubblico, ricorrendo o alla compensazione dei costi di servizio o all'assegnazione dei diritti di esclusiva, abrogando il Regolamento 1191/69 e il 1107/70 relativamente al settore del trasporto passeggeri e ristabilendo così l'importanza sociale del servizio di trasporto pubblico. Tale regolamento riprende le indicazioni del Libro bianco del 12/09/2001 in cui è stata reintrodotta l'importanza che i fattori sociali, ambientali e di sviluppo regionale dovrebbero avere nei servizi di trasporto passeggeri, garantendo l'offerta di condizioni tariffarie specifiche a particolari utenze ed eliminando le disparità fra imprese di trasporto provenienti da differenti Stati membri.

Di seguito è riportata schematicamente la cronologia delle principali legislazioni in materia dal 1930 ad oggi:

Nel Decreto Burlando (D.lgs. 422/97) si introduce la responsabilità delle Regioni nello sviluppo dei servizi di trasporto pubblico e si impone la trasformazione delle municipalizzate in società private. Lo stesso decreto prevede che l'affidamento dei servizi di trasporto avvenga tramite procedure concorsuali e, successivamente, venga regolato tramite contratti di servizio con l'introduzione di vincoli di copertura dei costi del servizio.

Nel 2002 la giunta di governo ha approvato un disegno di legge "*La riforma del trasporto pubblico locale in Sicilia*" e, con la successiva Legge regionale n.19

del 22/12/05, sono stati stipulati contratti-ponte con gli operatori storici di servizi di trasporto validi per il triennio 2008/2010, escludendo i contratti di servizio e le convenzioni in atto esistenti fra comuni e aziende affidatarie. Con tale legge si definiscono, inoltre, le differenti tipologie di servizi di trasporto in servizi minimi, aggiuntivi e integrativi. Infine, con lo “*Studio per la pianificazione del riassetto organizzativo e funzionale del trasporto pubblico locale della Regione*” (2007), vengono esplicitati ed individuati i servizi minimi, le unità di rete, i bacini di utenza e viene predisposto il primo programma triennale dei servizi di TPL. Tale studio rappresenta il primo passo necessario per l’avvio delle future gare per l’aggiudicazione dei contratti di servizio

1.1.3 Politiche e pianificazione del settore dei trasporti nel Regno Unito

Negli anni cinquanta e sessanta, si ebbe una diminuzione del 48% dei viaggi totali su trasporto pubblico e autobus e tram scomparvero dalle strade, la differenza tra costi e ricavi fu colmata con sussidi statali. Il motivo per cui avvenne un così rapido declino nell’uso del trasporto pubblico si può attribuire all’incremento dell’uso del mezzo privato, al cambiamento dello sviluppo urbano delle città. Inoltre, il mondo politico favoriva la diffusione delle auto e, anche se molte autorità metropolitane ponevano l’accento sul trasporto pubblico come elemento chiave per una politica del trasporto integrato, il governo nazionale finì con il ridurre i finanziamenti al settore.

Fino alla fine degli anni ‘70 i servizi di trasporto pubblico erano erogati da operatori di trasporto appartenenti e gestiti da enti governativi locali (NBC, National Bus Company in Inghilterra e Galles e SBG, Scottish Bus Group in Scozia). Vi era competizione solo tra autobus e ferrovia e praticamente inesistente era il subappalto verso piccole compagnie di autobus.

Al di fuori di Londra, nelle sei aree metropolitane, il *Transport Act del 1968* crea le PTA (*Passenger Transport Authorities*) che si occupano dell’integrazione e della pianificazione dei servizi di trasporto e le PTE (*Passenger Transport Executives*) che provvedono all’assegnazione dei servizi, alla sovvenzione dei servizi

poco redditizi e alla tutela di alcune categorie di passeggeri, curando inoltre le strategie di comunicazione con gli utenti.

Il governo centrale forniva supporto finanziario agli operatori di trasporto pubblico che assicuravano il servizio in aree a bassa densità abitativa e che applicavano sconti o viaggi gratuiti verso fasce di popolazione deboli (*Concessionary fares*). Tuttavia i fondi versati all'incumbent per lo svolgimento dei servizi di trasporto pubblico erano sempre maggiori, mentre quasi nulla era l'influenza degli enti governativi sulla qualità e l'efficienza dei servizi o l'innovazione tecnologica introdotta nel settore.

Il processo di privatizzazione e deregolamentazione del sistema di trasporto pubblico nel Regno Unito è di gran lunga più sviluppato e consolidato rispetto ad ogni altro paese europeo. La prima normativa in tal senso è stata il *Transport Act del 1980* in cui si è avuta la Deregulation degli Express Coach, ovvero quegli autobus operanti su lunghe tratte, rimuovendo l'autorizzazione sulla linea da servire e sulle tariffe da applicare.

A seguire, dopo 5 anni, con il *Transport Act del 1985* si giunse alla deregolamentazione del trasporto pubblico locale, al di fuori di Londra e dell'Irlanda del Nord. La *deregulation* rimosse ogni vincolo legato alla tariffazione e al livello del servizio. Il supporto finanziario esteso a tutta la rete di trasporto fu abolito e gli operatori venivano rimborsati solo per i mancati introiti attribuiti alle *concessionary fares*. Pertanto, la maggior parte dei servizi operava e continua ad operare su base commerciale e solo alcuni sono ancora coperti da sussidi governativi, eccezionalmente per l'assegnazione di quest'ultimo è prevista una gara per l'assegnazione del servizio.

L'incumbent, anziché ricevere direttamente i fondi dagli Enti locali, deve registrare il servizio come "*commercial*" ad una tariffa decisa dall'operatore stesso, per cui tutti i costi vengono coperti senza il ricorso alle casse del governo, tuttavia rimane come unica fonte di compensazione quella versata dagli Enti per il mantenimento delle tariffe agevolate dei *Concessionary*.

La competizione non avviene solo tra operatori dello stesso settore, ma tra tutti i modi di trasporto (express coach e treni, tra trasporto pubblico e privato). Inoltre, si può avere una competizione diretta (*competition in the market*), cioè,

con l'attivazione di più servizi di trasporto sulla stessa linea e il libero accesso al mercato, o una competizione detta "off road" (*competition for the market*), che è molto più diffusa negli altri paesi europei ossia quella in cui un singolo operatore si aggiudica il servizio di trasporto dopo aver superato un gara d'assegnazione del servizio.

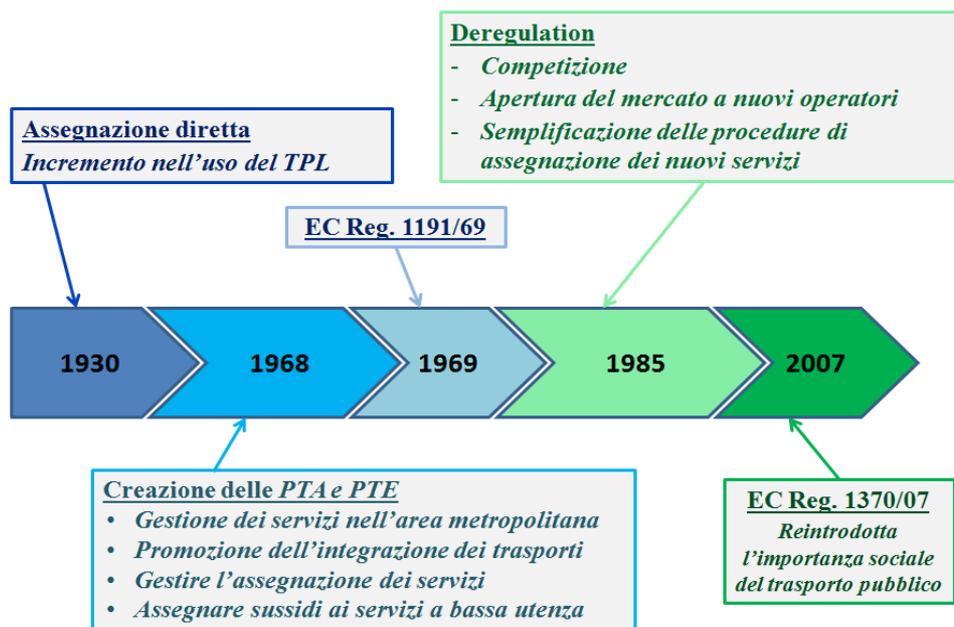


Figura 1 – Evoluzione legislative nel Trasporto pubblico in Europa e nel Regno Unito

Oltre a rimuovere il controllo sulla tariffazione nei servizi commerciali, viene introdotta una procedura facilitata per l'attivazione di nuovi servizi. È sufficiente, infatti, registrare il percorso scelto, l'orario, la tariffazione che si desidera applicare e con che tipologia di veicolo verrà effettuato il servizio, e nessun altro operatore può opporsi, ma sulla stessa tratta possono essere attivati più di un servizio e ognuno con le proprie tariffe.

Tuttavia, alcuni servizi non possono essere classificati come commerciali. Infatti, gli enti locali possono richiedere l'attivazione di nuovi servizi di trasporto, specificandone la tratta, e l'assegnazione può avvenire persino per via diretta, in questo caso vale la regola del massimo ribasso. Ciò accade per molti servizi peri-

ferici, o in nuove zone d'espansione, in fasce orarie a bassa domanda, come le serali, o di domenica. Quindi spesso accade che un servizio considerato commerciale durante la settimana venga assegnato ad un altro operatore nelle ore notturne e durante i festivi.

Dall'entrata in vigore della deregulation ben l'84% dei servizi è definito come commerciali, mentre il 16% è stato assegnato a seguito di gare o per via diretta [5]. Solo ultimamente quest'ultima percentuale è salita al 22%, a causa dell'attivazione di nuovi servizi periferici o della declassazione di alcuni servizi perché considerati non più convenienti dagli operatori che gestivano il servizio.

Tabella 1 – Sintesi degli impatti della competizione

Ambito	Elementi chiave del Contratto	Impatti economici	Altri impatti
Londra	Contratto per linea, tipo <i>gross cost</i> , durata 5 anni	Riduzione costi unitari del 51% (1985-2000)	Offerta (+32% bus*km); tariffe (+12%) (1985-2000)
Gran Bretagna	Contratto per linea, tipo <i>net cost</i> , durata da 5 anni in su	Riduzione dei costi del 54% (1986-1999)	Riduzione della domanda servita (-30%)

Fonte: *elaborazione su dati Wallis, I.P., Hamilton, Competitive tendering for urban bus service-cost impacts: international experience and issues, 2007*

A seguito della Deregulation, la NBC fu privatizzata e, dopo un iniziale periodo di estrema confusione e competizione su strada (nel centro di Newcastle si passò da 70 autobus diretti al centro a 700!) si è passati oggi ad una quindicina di operatori tra cui i principali sono tre: Arriva, Stagecoach e GoAhead. Si è, dunque passati da un monopolio pubblico ad un oligopolio privato.

I meccanismi di competitività auspicati si sono rivelati poco efficaci creando da un lato un sistema oligopolistico in cui pochi grandi operatori determinano e gestiscono i servizi con conseguente pericolo di creazione di “cartelli” sulle tariffe e dall'altro una suddivisione dei servizi in categorie, quelli più remunerativi (*primary and secondary services*) e quelli prevalentemente sovvenzionati dalle PTE (*tertiary routes*) caratterizzati da bassa domanda e scarsa qualità (bassa frequenza, parco veicolare vetusto, ecc.). Inoltre, si è riscontrato un aumento di circa il 20% delle tariffe, un'eccessiva congestione del traffico nei corridoi principali, dove si sovrappongono molti servizi di trasporto, una diminuzione del 30% dell'occupazione degli autobus e un basso ricambio del parco veicolare, vanificando i propositi iniziali di aumento della qualità del servizio e d'innovazione

tecnologica. La facilità con cui vengono attivati/soppressi i servizi ha portato a una conseguente perdita dell'integrazione dei servizi di trasporto e delle tariffe, trascurando, infine, l'informazione all'utenza.

Diverso è invece il caso di Londra, che rappresenta un'eccezione. Con il *Transport Act del 1984*, nasce la Greater London Authority, le cui decisioni vengono implementate da *Transport for London (TfL)*, che controlla tutte le modalità di trasporto all'interno della città, creando una rete interconnessa efficiente ed efficace, e che pianifica i percorsi, gli orari, i livelli di servizio e il monitoraggio degli stessi, pur affidando la gestione del servizio a delle compagnie private. Tutti i servizi sono assegnati tramite gare e gli operatori sono sottoposti a contratti di tipo *net cost*, con una durata che varia dai 3 ai 6 anni. Si è avuta non solo una riduzione dei costi, ma anche dei sussidi erogati dal governo del 99%, mentre dove si è avuta la *deregulation* sono diminuiti solo del 73%. Ma questi risultati sono il frutto di politiche di traffic calming, portate avanti con determinazione da *TfL*. Inoltre Londra è l'unica città del Regno Unito a essere rientrata nelle Air Quality Management Area, e dal 2003 viene applicato il *Road Pricing*, formulato per la prima volta da Smeed, che ha portato a una riduzione del traffico veicolare del 16% con un shift modale verso il trasporto pubblico del 50%.

Nella tabella seguente sono evidenziate le variazioni nel decennio tra il 1986 e il 1995 che si sono registrate a Londra, nel resto dell'Inghilterra e nell'intero territorio.

Tabella 2 – Indicatori economici del TPL a Londra e fuori Londra: 1986-1995

(London: Competitive Tendering; Outside London: Deregulation) Fonte Cox et al. (1997)			
Indicatore	Londra	Outside	Combinato
Costi totali	-23.5%	-28.9%	-27.1%
Chilometri servito	30.4%	28.6%	28.8%
Costo unitario (al km)	-41.4%	-44.7%	-43.4%
Passeggeri	1.3%	-27.5%	-21.6%

Da notare come il trend dei costi totali e costo a chilometro è drasticamente sceso ed i chilometri serviti sono aumentati di circa il 30%. In termini di utenza passeggeri trasportati, Londra si è mantenuta stabile, mentre il resto del Paese ha perso oltre un quarto dell'utenza.

Con la salita al potere del governo laburista guidato da Tony Blair, non si è avuta un'inversione di tendenza, anche se si è fortemente sentita la necessità di reintrodurre l'integrazione dei servizi di trasporti, ma le politiche di competizione introdotte sono risultate efficaci nel taglio dei sussidi.

1.1.4 La tutela dell'ambiente nella normativa di settore

Negli ultimi anni, inoltre, anche il settore dei trasporti deve soddisfare le prescrizioni della Direttiva della Comunità Europea 2008/50/EC sulla qualità dell'aria, entrata in vigore dall'11 Giugno 2008. In base a questa direttiva, gli stati membri devono ridurre l'esposizione al PM 2.5 in aree urbane del 20% entro il 2020, considerando come livelli base quelli del 2010, e raggiungere una concentrazione pari a 20 microgrammi per m³ entro il 2015, senza mai superare il limite dei 25microgrammi/m³. Le emissioni dei veicoli vengono regolate dalla legislazione europea attraverso gli standard "Euro", con limiti che diventano sempre più restrittivi con il passare degli anni. Dal 2009 è entrato in vigore lo standard Euro 5 sia per le auto che per i *Light Duty Vehicles* (LDV), a cui seguirà l'Euro 6 dal 2014, mentre per gli *Heavy Duty Vehicles*(HDV) lo standard Euro 5 era applicato già dall'Ottobre 2008.

Gli effetti di questa politica di contenimento delle emissioni inquinanti sono stati più che positivi, con una diminuzione tra il 20% e il 50% dal 1995 e un altro decremento del 50% è d prevedersi entro il 2020.

In aggiunta a queste direttive vanno altresì considerati il *White Paper* del 2001 sulla politica dei trasporti per il 2010 e del *Green Paper* sui trasporti urbani si è cercato di favorire il ricambio del parco veicolare di pubblica utilità con veicoli puliti, favorendo l'innovazione tecnologica con il susseguirsi di norme via sempre più restrittive nei riguardi delle emissioni inquinanti e l'introduzione degli impatti sull'ambiente, consumi di carburante, emissioni di CO₂ e inquinamento

dell'aria, come fattori discriminanti nell'acquisto di nuovi mezzi, da affiancarsi al prezzo d'acquisto.

Nel Regno Unito è il Defra (Department for Environment, Food and Rural Affairs) che ha il compito di controllare e gestire la qualità dell'aria. Sulla scia delle direttive europee ha pubblicato l'ultimo report sulla qualità dell'aria nel 2007, stabilendo quelli che sono i criteri e le misure da prendere per rispettare gli standard qualitative europei (introducendo misure di *road pricing*, aree ad emissioni controllate, montando filtri anti-particolato nelle marmitte catalitiche dei mezzi pesanti)

A livello locale esistono obblighi derivanti dal *Environment Act* del 1995 secondo il quale tutti i comuni sono responsabili del monitoraggio della qualità dell'aria e obbligati a rispettare gli standard imposti dalla strategia nazionale e, grazie al *Transport Act* del 2000 e del 2008, le PTE sono in grado d'influenzare le scelte degli operatori autobus locali. Tra le varie misure adottate:

- Accordi volontari tra operatori e PTE (*Voluntary Partnership Agreement - VPA*);
- Servizi di trasporto finanziati dalla PTE stessa;
- *Statutory Quality Partnership (SQP)*;
- *Quality Contract (QC)*;
- Misure di contenimento del traffico.

Infine, in base al *Local Transport Act (LTA 2008)* le PTAs, a seguito di ciò denominate Autorità di trasporto integrato (ITAs) vedono ampliati i loro poteri, il ruolo strategico, la loro giurisdizione. Inoltre viene introdotto un nuovo meccanismo di assegnazione dei servizi di trasporto, nuove misure per regolamentare gli accordi obbligatori e su base volontaria (VPA, SQP e QC) tra operatori autobus e enti locali, e un nuovo ente preposto alla tutela dei diritti dei passeggeri.

Lo scopo principale è porre in parte rimedio ai risvolti negativi della deregulation, ovvero la perdita d'integrazione dei servizi, il declino del trasporto pubblico sia rispetto al numero dei passeggeri serviti sia in funzione della qualità del servizio offerto.

Le PTEs spendono ogni anno più di £80 milioni per sostenere una rete di circa 100 milioni di chilometri di servizi autobus che non possono essere assegnati co-

me commerciali. Sono servizi che operano lontani da ore di punta o che collegano nuove zone d'espansione o piccole comunità adiacenti i centri urbani. I servizi messi a bando possono essere servizi sovvenzionati dalla PTE, scuola bus o servizi navetta tra i parcheggi e le zone d'interscambio. Poiché le PTE sovvenzionano questi servizi di trasporto sono in grado d'imporre migliori prestazioni dal punto di vista ambientale. Alcuni esempi, in territorio britannico, sono il QuayLink che opera tra Newcastle e Gateshead e sfrutta autobus ibridi (motore elettrico combinato con motori diesel), numerosi servizi Park and Ride e servizi navetta gratuiti o a basso costo operanti nei centri storici di Bristol, Liverpool, Leeds e Manchester, in cui sono stati altresì utilizzati autobus ibridi.

1.1.5 Politiche e pianificazione nel settore del trasporto pubblico

La moderna pianificazione dei sistemi di trasporto si fonda sul superamento della competizione tra le diverse modalità di trasporto. La concezione che considera le diverse reti infrastrutturali ed i servizi da esse offerti in contrapposizione funzionale gli uni agli altri, senza sfruttare le possibili sinergie esistenti, appartiene ad un modello di pianificazione reso obsoleto dalle oggettive inefficienze che tale impostazione ha generato per la mobilità locale. Oggi, dopo svariati esempi nei principali paesi europei, occorre affrontare la politica e l'organizzazione della mobilità nelle aree metropolitane in un'ottica di sistema. Pertanto, la strategia di pianificazione nel futuro dovrà puntare all'integrazione delle reti e dei servizi, ovvero alla realizzazione di un sistema di trasporto più integrato e sinergico, dove sia possibile scegliere per ogni percorso la modalità migliore, sotto il profilo individuale e sociale. La pianificazione pertanto dovrà seguire un approccio di sistema che intende potenziare tutti i modi di trasporto, valorizzandoli per il contributo specifico che ciascuno di essi può dare alla mobilità generale. In particolare, in quest'ottica di sistema occorre puntare al potenziamento dei punti di interscambio (stazioni, terminal intermodali, ecc.), in maniera da rendere agevole e conveniente il cambio di modalità di trasporto.

Attualmente il trasporto delle persone avviene in molti casi utilizzando modi non ottimali: tale esito è causato sia dalla mancanza di un'offerta adeguata, sia

dalla scarsità delle informazioni, sia dalle vistose distorsioni nel sistema dei prezzi, che rendono individualmente conveniente una scelta in realtà socialmente più onerosa, scaricando sulla collettività una parte rilevante del costo del trasporto, in particolare quello ambientale.

In linea con le direttive comunitarie, l'obiettivo della pianificazione dovrà quindi essere quello di ottenere un riequilibrio modale dei trasporti: tale risultato però non dovrà essere perseguito imponendo ai cittadini e agli operatori la modalità decisa dal programmatore, ma rendendo effettivamente conveniente, sotto il profilo della qualità e del costo, la modalità più appropriata.

Il riassetto del trasporto pubblico dovrà essere condotto attenendosi ad alcuni principi fondamentali volti a rendere il servizio realmente attrattivo nei confronti dell'utenza che attualmente effettua i propri spostamenti su mezzo privato:

- razionalizzazione della rete di trasporto pubblico locale, attraverso un'architettura gerarchica della rete che ottimizzi lo sviluppo dei percorsi e garantisca uno standard elevato del servizio sulle linee di forza, favorendo l'adduzione della domanda attraverso servizi di trasporto collettivo adeguati e percorsi ciclopedonali;
- orario del servizio di trasporto pubblico cadenzato, affidabile, frequente e facilmente memorizzabile;
- comfort elevato di tutte le componenti infrastrutturali del sistema come forme innovative di pagamento, nuovi treni ed autobus confortevoli, migliore promozione e comunicazione del servizio, introduzione di servizi di autobus a chiamata;
- realizzazione di un sistema tariffario integrato che faciliti la fruizione del servizio e la massima diffusione delle informazioni relative all'offerta di mobilità collettiva.

Altro elemento importante è rappresentato dalla possibilità di introdurre nei contratti di servizio sufficienti elementi di flessibilità che consentano di adeguare l'offerta alle mutate condizioni complessive di sistema, consentendo di cogliere nuove opportunità per l'intermodalità (es. ferro-gomma) che si presenteranno con le nuove infrastrutture ed i nuovi servizi programmati.

La rete di trasporto pubblico su gomma ha pertanto l'obiettivo di coprire le direttrici di penetrazione verso il cuore dell'area metropolitana non coperte dal sistema su ferro (ferroviario, metropolitano e/o metro tranviario) e contemporaneamente di alimentare i corridoi coperti dalla ferrovia al fine di garantire la domanda che consenta la loro sostenibilità economica ed il loro massimo sfruttamento. Il secondo obiettivo dovrà essere perseguito con un orizzonte temporale di medio lungo periodo, poiché la capacità marginale della rete ferroviaria di assorbire nuova utenza in ambito metropolitano è sostanzialmente nulla. Infatti, la duplicazione di alcuni itinerari che sono serviti sia con relazioni ferroviarie sia con relazioni automobilistiche spesso non rilevano un'inefficienza del sistema, ma testimoniano piuttosto della inadeguatezza della rete ferroviaria nel soddisfare interamente la domanda di trasporto collettivo. Laddove è presente un servizio su ferro efficiente e frequente, l'offerta di servizi di trasporto collettivo su gomma dovrà lentamente riconvertirsi dai servizi di penetrazione urbana a servizi di *feeder* asserviti alla rete primaria su ferro. In questo senso, quando l'organizzazione del sistema di trasporti metropolitano si baserà realmente su una logica di intermodalità, diventerà strategico il ruolo dell'integrazione fisica delle reti ed, in particolare, quello dell'integrazione tariffaria e dei servizi.

Tale obiettivo è la preconditione necessaria per rendere realmente attrattivo un sistema di trasporto collettivo fortemente basato sull'intermodalità: la riduzione dei tempi di attesa, la disponibilità di un unico titolo di viaggio da utilizzare indipendentemente dal vettore utilizzato, una politica di informazione capillare, un sostanziale aumento della qualità del servizio sono variabili che impattano fortemente sull'utenza potenziale consentendo spesso di aumentare considerevolmente il numero di clienti e migliorare l'efficienza complessiva del sistema stesso.

Dal punto di vista ambientale, l'attuale aumento del traffico e delle situazioni di congestione sono insostenibili e richiedono una strategia comune per favorire lo sviluppo dei modi puliti, quali camminare e andare in bici ma soprattutto aumentare gli utenti che usano il trasporto pubblico.

Il settore dei trasporti è, infatti, quello più inquinante, un quarto delle emissioni inquinanti prodotte dal genere umano dipende da questo settore ed è anche la

causa principale dell'effetto serra. Se si guarda alle singole emissioni, contribuisce per l' 80% alle emissioni di monossido di carbonio, per il 50% a quelle di azoto, per il 10% a quelle di particolato e per il 5% a quelle di ossido di zolfo.

Inoltre, quello dei trasporti è l'unico settore che è in grado di crescere con maggior rapidità rispetto ad altri settori produttivi. Per cui, a seguito del Libro verde, che promuoveva l'uso del trasporto pubblico, e la diminuzione dell'uso del mezzo privato, nel 1990 si rese necessario la pubblicazione del Libro Bianco, in cui si davano indicazioni sulla nuova politica ambientale che il governo britannico doveva adottare, favorendo lo sviluppo di un sistema di trasporto integrato che aiuti ad abbattere le emissioni inquinanti.

Già con il Libro Verde, si aveva la consapevolezza che non si potesse continuare a soddisfare la crescente domanda di traffico. L'approccio *predict and provide* consisteva, infatti, nel prevedere la domanda di trasporto e soddisfarla in tutto e per tutto aumentando la capacità delle strade e costruendo nuove infrastrutture viarie, a ciò corrispondeva un continuo declino del trasporto pubblico e, a seguito della *deregulation*, dell'integrazione dei vari modi di trasporto, a favore delle auto. Conseguentemente, all'inizio degli anni 70, Hillman e Plowden contestarono l'eccessiva fiducia riposta nelle auto poiché non tutti ne possedevano una e non era usata per tutti gli spostamenti. Inoltre questa politica portò a evidenziare i problemi sociali di un simile approccio, in quanto i bambini e gli anziani, che erano già gli utenti che possedevano i maggiori problemi di mobilità, persero la loro indipendenza non appena gli autobus scomparvero dalle aree residenziali.

Goodwin identifica almeno cinque principi su cui fondare la nuova politica dei trasporti. Innanzitutto è evidente la necessità di una pianificazione urbanistica e dei trasporti coordinata e a lungo termine, difficile da realizzare dopo che il settore dei trasporti è stato privatizzato. Va garantita l'equità di trattamento tra tutti i modi di trasporto, tenendo presente che non è possibile soddisfare tutti i bisogni di mobilità e che i vari modi sono interconnessi tra di loro, per cui diventa difficile agire su di un modo e non provocare effetti su di un altro. Infine si rende necessario un nuovo approccio alla politica in cui siano messi in primo piano i bisogni dell'essere umano e le sue necessità di trasporto, perché la politica dei trasporti non deve essere intesa come imposizione dall'alto ma accettata e

condivisa dagli utenti. Infine, Goodwin pone l'accento sulla diversa importanza dei vari tipi di traffico, favorendo gli autobus, i mezzi d'emergenza e lo scarico merci. Ciò appare più una diretta conseguenza dell'abbandono dell'approccio *precict and provide*, infatti, essendo la capacità delle strade limitata si cerca di assegnare corsie preferenziali a quei mezzi di pubblica utilità, creando *bus lane*, *no car lane*, *superoute*, *high occupancy vehicle lane* e razionalizzando lo scarico merci nei centri urbani.

L'obiettivo principale del *White Paper (1990)* è costituito dalla riduzione delle emissioni inquinanti attraverso la riduzione e la razionalizzazione del traffico. Ma spesso l'attuazione di queste misure non è di così facile attuazione.

La pedonalizzazione di molti centri storici ha visto l'opposizione dei commercianti che credono che un miglior accesso al centro possa favorire gli affari, e quella degli stessi progettisti. L'accessibilità verso le zone pedonali va migliorata operando un simultaneo miglioramento del trasporto pubblico, mentre il caos che si genera nelle aree limitrofe all'area oggetto di pedonalizzazione dipende più da un ipotesi semplificativa di certi modelli di simulazione del traffico che da un reale problema di smaltimento del traffico, ciò è dovuto al fatto che i modelli considerano il volume di traffico come fisso, invece, è una variabile che dipende dalle scelte degli utenti.

Per garantire una crescita sufficientemente veloce del trasporto il settore degli autobus dovrebbe crescere del 5% ogni anno e in alcune città anche del 50%, ciò significa che nei prossimi anni il trasporto pubblico dovrebbe crescere più velocemente di quanto sia diminuito negli ultimi 30 anni. Questo risulta ancora più difficile se si pensa che non può essere annullata la privatizzazione nel settore, per cui si è fatto ricorso ai *Quality Bus Partnership*, accordi tra enti pubblici e operatori di trasporti, a cui viene dato accesso prioritario in cambio di un servizio di qualità con alte frequenza e confortevole.

1.2 Tariffazione dei servizi di trasporto

Sia in Italia che in Gran Bretagna, la struttura tariffaria dipende dal verificarsi di tre situazioni. Nel primo caso può accadere che l'ente locale decide il livello

tariffario indipendentemente dall'opinione dell'operatore. Oppure può accadere che è l'operatore stesso che propone e l'ente dà la sua approvazione o, come spesso accade in un mercato aperto, che decide direttamente l'operatore e l'autorità competente non può opporsi. Gli utenti non sono direttamente coinvolti ma si tiene conto della fattibilità della tariffazione proposta, poiché una tariffazione troppo elevata sarebbe percepita come comportamento antisociale e ne risulterebbe una diminuzione dell'uso del trasporto pubblico, anche se uno degli obiettivi degli operatori di trasporto è attrarre utenti ad alto reddito.

La tariffa può essere determinata tenendo in considerazione due fattori, il viaggio e il passeggero.

La tariffa basata sul tipo di spostamento riflette alcune caratteristiche dello spostamento (come il tempo di viaggio, la distanza da percorrere, il mezzo utilizzato) e riflette il costo dello spostamento, poiché alcuni modi di viaggio sono più costosi di altri, o perché i viaggi effettuati lontani dall'ora di punta sono meno onerosi per l'operatore o perché i costi per brevi tratte sono minori di quelli per lunghe tratte. Tra le tariffe che si basano sullo spostamento effettuato si possono avere:

- Tariffa *flat*: ogni passeggero è tariffato indipendentemente dalla distanza percorsa, dalla tipologia di passeggero e dalla tratta percorsa. Questo metodo di tariffazione è il più semplice e viene adottato quando la maggior parte dei passeggeri viaggia per la stessa distanza o nelle linee che confluiscono verso il centro della città, dove le persone ad alto reddito vivono vicino al centro e quelle più povere in periferia.
- Tariffa che dipende dalla tratta da servire: Ogni linea ha la propria tariffa. Spesso si verifica nelle città dove le differenti linee di trasporto vengono affidate a differenti operatori.
- Tariffa zonale: La rete è divisa in più zone e all'interno delle zone è applicata una tariffa *flat* e il prezzo è determinato da quante zone il passeggero attraversa. Non è equa per i passeggeri che viaggiano per brevi distanze a cavallo di due zone. I servizi tariffati in questa maniera sono metropolitane pesanti e leggere (HRT e LRT)

- Tariffa a distanza: Viene applicato un prezzo per Km. Ogni linea è divisa in tratte intermedie e il prezzo finale è calcolato in base alla distanza percorsa. Tuttavia punti di confine, dove si ha il cambio di tariffa dovrebbero essere segnalati chiaramente. Questo sistema tariffario è diventato di facile attuazione dopo l'introduzione dell'*Oyster card* a Londra anche se questo sistema di pagamento è il meno equo per gli utenti a basso reddito che per viaggiare verso la periferia pagano la tariffa più alta.

La tariffazione basata sulla tipologia di passeggero dipende da una caratteristica di quest'ultimo, di solito l'età o lo status sociale. Il metodo è usato dagli operatori commerciali per segmentare il mercato e massimizzare il profitto, anche se nel caso degli operatori di trasporto riflette una motivazione di tipo sociale (*concessionary fares*). Tra le categorie di passeggeri tutelate possono esserci:

- bambini
- studenti
- anziani e pensionati
- disabili
- disoccupati
- polizia ed esercito

L'applicazione di concessioni verso certe categorie di passeggeri è un obbligo in molti paesi, tra i quali la Gran Bretagna dall'Aprile 2008, dove i passeggeri possono usufruire dei loro pass solo al di fuori delle ore di punta e usufruiscono di tariffe agevolate su metropolitane e *light rail transit*. Ovviamente è il governo nazionale che compensa i mancati introiti agli operatori commerciali, basti pensare che la quota dei viaggi effettuati da *concessionary* nell'anno 2009/10 è stata del 34% di tutti gli spostamenti effettuati su autobus, l'1% in più rispetto all'anno precedente.

Tra gli elementi da tenere in considerazione per definire la struttura della tariffazione, c'è la facilità d'utilizzo per i passeggeri e di riscossione per l'operatore, l'equità del pagamento al variare degli utenti e della tipologia di spostamento, la riduzione delle frodi, l'integrazione tariffaria tra altri mezzi di trasporto e di conseguenza la trasparenza nel ridistribuire i ricavi tra gli operatori.

Il biglietto è solo lo strumento per l'applicazione della politica tariffaria, tecnicamente è solo il modo in cui la tariffa viene trasferita da passeggero a operatore. Nel trasporto pubblico sono utilizzati diversi tipi di biglietti, anche se in termini di costi per l'operatore non c'è alcuna differenza tra uno studente, un anziano e un lavoratore, serve a segmentare il mercato e massimizzare i ricavi. Tra le varie tipologie di biglietti si possono incontrare:

- Biglietto singolo:
 - solo andata senza limiti di tempo o valevole per una sola zona
 - valevole per un certo intervallo di tempo ma utilizzabile per più di un viaggio
 - valevole solo per un modo di trasporto o per un solo operatore
 - valevole per più di un modo e per più di un operatore
- Biglietto andata e ritorno
- Biglietto multimodale o valevole per più di un viaggio
- Abbonamento (giornaliero, settimanale, mensile e annuale)
- Abbonamento con l'operatore ma si paga solo al momento della fruizione del servizio (pay as you go)
- Biglietti al di fuori dell'ora di punta e notturni
- Biglietti combinati (ad es. park and ride)
- Biglietti di gruppo e per famiglie

Tra i vari modi in cui può essere corrisposto il costo del biglietto si hanno denaro, gettoni, biglietti prepagati, magnetici, *smartcard* con contatto e senza, e pagamenti tramite telefoni cellulari. Tra i canali di vendita più comuni si possono avere acquisti direttamente a bordo (come in UK, ma solo per biglietti singoli), macchine per la vendita nelle stazioni, sportelli e uffici degli operatori o via internet e telefono, ciò che importa è la facilità d'utilizzo del sistema per l'utente.

Armonizzare e integrare le tariffe è ciò che rende il trasporto pubblico di facile utilizzo. Alla coesistenza di differenti tipologie di titoli per i diversi modi e operatori utilizzati è inoltre associato il disagio, in termini monetari, psicologici e temporali, derivante dalle inevitabili code agli sportelli e alle fermate dei mezzi che si generano in assenza di adeguate forme di coordinamento inter-modale e

inter-vettoriale. Inoltre, i passeggeri sono costretti ad affrontare ulteriori disagi provocati dai trasbordi durante uno spostamento, con lo svantaggio dell'acquisto di diversi titoli per effettuare la relazione desiderata, ad un costo generalmente superiore a quello da sostenere in presenza di integrazione tariffaria. Inoltre, in mancanza di un sistema tariffario integrato, la concatenazione dei diversi servizi può essere vista dall'utente come un aggravio di costi e una perdita di tempo rispetto ad un servizio «porta a porta».

L'adozione di un STI potrebbe contribuire alla riduzione delle esternalità del trasporto, quali congestione, inquinamento atmosferico e acustico e incidenti. Considerata la ridotta capacità di carico delle automobili private e la conseguente inefficienza nell'utilizzo dello spazio stradale rispetto ai mezzi pubblici, caratterizzati da una capacità media di gran lunga più ampia, l'incremento continuo del tasso di motorizzazione privata a cui si è assistito nel corso degli ultimi decenni ha generato problemi crescenti di inquinamento acustico e atmosferico, in aggiunta alla congestione da traffico nelle aree urbane durante i periodi di punta.

Per l'adozione di un sistema tariffario integrato devono essere presenti l'integrazione infrastrutturale (attraverso la creazione di parcheggi, stazioni, fermate dell'autobus), integrazione modale, integrazione tariffaria, che consiste nell'introduzione di un unico schema tariffario valido per tutte le modalità offerte. L'economista White (1985) fornisce un punto di vista alternativo riguardo a queste problematiche connesse all'introduzione di titoli integrati. L'autore argomenta infatti che l'integrazione modale e tariffaria può portare a incrementi significativi dell'utenza del trasporto pubblico e permette di innalzare i ricavi da traffico. L'obiettivo è raggiungibile attraverso l'applicazione iniziale di tariffe integrate fortemente scontate, in modo tale da incentivare il passaggio dalla modalità di trasporto privato ai mezzi pubblici; il prezzo dei titoli può quindi essere aumentato in una fase successiva, quando l'utenza ha preso coscienza dei vantaggi associati al STI e il suo utilizzo si è radicato nelle abitudini dei consumatori. Tuttavia afferma che non si possono pretendere risultati positivi nel breve termine: occorre investire molto sulle capacità potenziali di attrazione di nuova utenza del STI.

Questo rende ancora più difficile l'attuazione dell'integrazione tariffaria in ambiente deregolato. Infatti, contrariamente a quanto ci si aspettava, la *deregulation* ha provocato un incremento delle tariffe, poiché sono state incrementate le frequenze e sono aumentati il numero dei servizi non si sono avute diminuzioni nei costi operativi. Inoltre, il principale scopo del governo era ridurre i sussidi all'industria degli autobus, per cui il reale risparmio lo hanno avuto i contribuenti e non i reali utilizzatori dei servizi di trasporto, che pagano il prezzo reale del servizio offerto. Quanto esposto da Bannister è perfettamente coincidente con le leggi di mercato ma non con lo scopo iniziale della norma che prevedeva un effettiva riduzione dei costi per gli utenti.

La competizione non si è avuta sul prezzo ma sulla qualità del servizio. Non c'è differenza tra i costi dei servizi offerti se il viaggio è di breve durata, in quanto la reazione naturale di un utente è quella di salire sul primo autobus disponibile e lo scopo dell'operatore è gestire il servizio a un prezzo che corrisponde al regime di monopolio. I maggiori ribassi sui costi del servizio di trasporto si possono avere soltanto dove un operatore cerca di eliminare un concorrente dalla linea o dal mercato stesso.

1.3 I modelli di pianificazione e gestione dei servizi di trasporto

I pianificatori del trasporto pubblico e gli operatori devono confrontarsi con una crescente pressione per fornire un servizio adeguato, ma la gestione e l'analisi delle reti urbane diventa sempre più complessa. Vanno considerati diversi fattori statici, cioè con un'evoluzione lenta (la rete stradale e lo sviluppo urbanistico della città), e dinamici (traffico, emissioni, cantieri stradali) per cui la quantità di dati da gestire e il modo di analizzarli rende necessario l'uso dei computers e di sistemi di supporto alle decisioni. Inoltre, sempre più spesso accade che i decisori non siano esperti nel settore dei trasporti, ma dirigenti, che si occupano più della massimizzazione del profitto economico dell'azienda di trasporti più che di una gestione sostenibile del sistema urbano dei trasporti.

Il ricorso a un sistema esperto per la risoluzione di problemi complessi risale agli anni sessanta (Raymond, 1966) ma con l'evoluzione dei calcolatori si stanno

avendo numerose applicazioni. Quelle più importanti enfatizzano l'uso di modelli quantitativi, avendo la possibilità di accedere e analizzare grandi data base, e supportare processi decisionali di gruppo. Vanier [3] menziona sei caratteristiche di un DSS: design esplicito per risolvere i problemi mal strutturati; un'interfaccia potente e facile da usare; capacità di combinare in modo flessibile modelli di analisi e i dati; capacità di esplorare diversi scenari alternativi; capacità di supportare una varietà di stili decisionali e d'iterare il processo fino al raggiungimento della soluzione ottimale per il decisore.

I primi a usare il termine *Decision Support System* furono Gorry e Scott-Morton, mentre Sprague nel 1989 definì il DSS come un sistema che aiuta i decisori nell'utilizzo di dati e modelli per risolvere problemi non strutturati. Little (1970) identificò quattro criteri per la progettazione di un DSS: robustezza, facilità d'utilizzo, linearità e completezza dei dettagli. Alter(1980) nei suoi studi definì sette categorie di DSS:

- *File drawer systems*: fornisce l'accesso a un database;
- *Data analysis systems*: restituisce dati elaborate da un modello con obiettivi specifici;
- *Accounting and financial models*: calcolano le conseguenze di possibili azioni;
- *Representational models*: stimolano le conseguenze di diversi scenari sulla base di modelli di simulazione;
- *Optimization models*: forniscono linee guida, individuando la migliore azione da intraprendere, considerando le diverse limitazioni;
- *Suggestion model*: modellano il processo logico che porta a una determinata decisione.

Inoltre, secondo una classificazione proposta da Power nel 2002 [80], si possono classificare secondo l'elemento posto a base della struttura del DSS. Tra i vari DSS sviluppati dagli anni ottanta in poi, si possono identificare:

- *model-driven DSS*: sfruttano l'accesso a piccole basi di dati e, tramite l'uso di modelli di simulazione e un numero limitato di parametri, si ottiene l'ottimizzazione di processi

- *data-driven DSS*: contrariamente al precedente sfrutta grandi quantità di dati relativi a un'unica azienda sia interni che esterni e anche in tempo reale ed è in grado di risolvere obiettivi specifici o generici in base allo strumento affiancato al database
- *Communications-driven DSS*: il principale componente dell'architettura è un sistema di database intercorrelati
- *Document-driven DSS*: in questo caso il database è costituito da documenti di diversa natura (ipertesti, immagini, video, suoni, scansioni...), viene utilizzato spesso per catalogare documenti, procedure e politiche relativi a un'unica società, che vengono richiamati tramite un motore di ricerca
- *Knowledge-driven DSS*: in grado di suggerire azioni agli amministratori delle aziende. Questo DSS interagisce con l'uomo e ha un'elevata expertise in un campo specifico. L'expertise è la conoscenza in un dominio specifico, una comprensione dei meccanismi e dei problemi di quel dominio, e la capacità di risolvere alcuni di questi problemi.

Proprio su quest'ultima categoria di DSS, detti anche *Expert System*, si concentrarono i lavori di Feigenbaum (*DENDRAL expert system*, 1965), Buchanan e Shortliffe (*MYCIN*, 1984). Per la loro capacità di interfacciarsi con database relazionali, disponibili anche online, la loro struttura sempre più sofisticata e completa, si sono moltiplicate negli ultimi anni le applicazioni in numerosi campi.

Comunemente viene utilizzata solo una tecnica di modellazione come i modelli d'interazione spaziale, programmazione matematica, o analisi multi-criteria.

Nel campo dell'ingegneria civile, si possono riscontrare in letteratura numerose applicazioni nel campo idraulico. Questo perché fin dagli anni sessanta, i decisori si trovarono a risolvere l'invecchiamento delle reti idriche e a dover dare una priorità negli interventi per il contenimento dei costi (*PARMS-PRIORITY*). Inoltre a partire dagli anni ottanta, anche le aziende pubbliche cominciarono a introdurre meccanismi di controllo tipici delle aziende private per cui divenne utile fornirsi di uno strumento abbastanza flessibile da permettere l'esplorazione di nuove politiche attuative prima ancora di metterle in pratica.

Alcune delle applicazioni in letteratura sono: *WATERSHEDSS* (*WATER, Soil, and Hydro-Environmental Decision Support System*), che aiuta le autorità

di bacino e i gestori dei depuratori a identificare i problemi della qualità delle acque e identificare le possibili soluzioni di gestione; EDSS (Environmental Decision Support System), che risolve problemi ambientali grazie a modelli avanzati e sistemi d'analisi rivolti verso una vasta gamma di utilizzatori, da scienziati a semplici educatori; un DSS spaziale per la gestione del rischio d'incendi nell'interfaccia tra zone urbane e rurali, per ridurre il rischio della propagazione d'incendi; un DSS per la pianificazione integrata di rischi idrogeologici e vulnerabilità del territorio, che aiuti legislatori nazionali e locali nella gestione dei rischi, e i pianificatori locali nell'analisi, modellazione e valutazione della pianificazione territoriale in rapporto all'uso preesistente del suolo.

Per quanto riguarda quest'ultima categoria dei modelli spaziali (SDSS), si trovano in letteratura diversi contributi volti a risolvere il problema della localizzazione dei servizi. Nei lavori di Timmermans (Borgers e Timmermans – 1991, Arentze e Timmermans -2000) il cuore del sistema è un modello d'interazione spaziale per predire la scelta della destinazione o l'interazione tra zone adiacenti in base alla distanza percorsa, dimensioni e servizi offerti dal centro commerciale. I risultati sono mostrati in una matrice O/D dalle quali vengono dedotte le singole quote di mercato dei negozi, la domanda di viaggio dell'utenza, e quindi gli utenti che verrebbero attratti dal nuovo servizio. Lo scopo del sistema è quindi di predire e analizzare gli impatti delle possibili localizzazioni di centri d'interesse o per finalità pianificatorie.

Armstrong et al. (1990), Densham e Rushton (1996) descrivono un'applicazione di DSS per la riorganizzazione del sistema delle spedizioni. L'obiettivo del DSS di quest'applicazione è fornire un ambiente di risoluzione del problema flessibile, in maniera tale che il decisore possa esplorare tutte le possibili soluzioni e individuare possibili effetti indesiderati della soluzione da adottare.

Il medesimo problema di localizzazione di servizi può essere trattato tramite un sistema DSS basato su analisi multi-criterio o multi-oggetto. L'analisi multi-criterio fa riferimento a una serie di tecniche per la classificazione di possibili soluzioni e assiste il gruppo di decisori nell'individuazione della localizzazione ottimale, sviluppando una lista di criteri per la valutazione e assegnando pesi ad ogni criterio, per poi eseguire un'analisi di sensitività e una graduatoria delle so-

luzioni prescelte (Janssen, 1991). Inoltre, vi sono applicazioni che utilizzano tecniche di programmazione, analisi degli impatti e processi analitico-gerarchici (MacDonald, 1997) o integrazioni tra analisi multicriteria e sistemi GIS (Carver, 1997).

Il problema principale di un DSS, rilevato da Sprague[3], è la mancanza di flessibilità del sistema, che può essere intesa sia come capacità del sistema ad adattarsi alla soluzione preferita dal decisore (quando per esempio non esistono soluzioni standard al problema) sia come rigidità del sistema, cioè la capacità di modificare la struttura del sistema stesso al variare della categoria dei problemi da risolvere. Il motivo principale di una così scarsa flessibilità è che i DSS per la localizzazione dei servizi vengono disegnati per problemi specifici e per cambiare problema da analizzare si dovrebbe incrementare il numero di informazioni a disposizione e i parametri da utilizzare. Densham e Armstrong (1993), inoltre, definiscono i sistemi spaziali modelli intuitivi, perché l'utente è in grado di specificare gli scenari desiderati mentre con i sistemi basati su programmazione matematica e analisi multi-criteria si è solo in grado di definire i criteri pesati desiderati e da questi il modello ricava lo scenario, quindi sono più adatti se si deve

Per quanto concerne il settore della trasporti, un interessante applicazione è stata sviluppata da Tsamboulas e Mikroudis. Il loro TRANS-POL è in grado di predire gli impatti risultanti dall'applicazione di una politica dei trasporti o a seguito della realizzazione di un progetto. Grazie a degli strumenti di facile utilizzo e interfacce elementari si naviga attraverso le risorse del sistema (databases, mappe, modelli di trasporto ...) e si possono usare anche strumenti complementari quali GIS, gestione di banche di dati, analisi multi-criteria e metodi di valutazione per progetti d'infrastrutture dei trasporti. Il valore aggiunto di questo DSS sta nel evitare la fase di script in lingua basic o C++ e fornire all'utente finale direttamente l'interfaccia grafica, in questo modo si rende lo strumento di facile utilizzo per qualsiasi utente, al quale viene lasciato il compito di prendere la decisione sulla soluzione finale. Diversamente dagli altri DSS l'utente può scegliere se avviare TRANS-POL o un singolo strumento per volta dalla schermata principale del DSS, cioè è presente un collegamento allo strumento/modello che fa parte del DSS. Per realizzare questa funzione si sono aggiunti due programmi il Vi-

sData, che consente all'utente l'accesso a tutti i dati caricati sul sistema e il DSSview, che è un'applicazione GIS che porta direttamente alla software ESRI per la visualizzazione di file GIS (ARC/INFO, MapInfo, shapefiles, bitmaps, etc.), o creazione diretta di shapefile o tabelle di attributi. Tuttavia non può essere classificato come gli altri DSS basati su modello descritti in precedenza, poiché per sua stessa natura non contiene né dati né modelli se non è l'utente stesso a caricarli volta per volta al variare del problema da analizzare. Il cuore del sistema è un guscio vuoto dove vengono caricati di volta in volta modelli indipendenti. Così gli amministratori possono variare il contenuto del DSS per applicazioni future, ma, allo stesso tempo, il DSS può essere usato dai modellatori che scrivendo un semplice template, e non lo script di un file eseguibile, possono variare il metodo d'analisi adottato.

1.4 Parametri di progettazione delle reti di trasporto pubblico locale

La qualità del servizio offerto è fondamentale per gli utenti, che conoscendo l'esatto tempo di arrivo alla fermata dell'autobus sono in grado di pianificare meglio lo spostamento e ridurre al minimo il tempo di attesa alla fermata, e quindi aumentare la loro percezione di qualità del servizio.

A causa della natura stocastica delle operazioni di transito (ad esempio, i ritardi nelle intersezioni semaforizzate, le fluttuazioni della domanda nello spazio e nel tempo, l'utenza distribuita in modo diseguale tra le fermate), il tempo di viaggio è difficile da prevedere nel mondo reale. L'effetto congiunto di molti fattori tra cui le richieste dei passeggeri alle fermate, il controllo del traffico, il diritto di precedenza, le condizioni geometriche della carreggiata e di traffico sul tempo di arrivo alla fermata è difficile da formulare matematicamente.

La performance di un autobus lungo una linea è fortemente influenzata dalle condizioni di traffico e dal numero dei passeggeri servito. Accade infatti che il tempo di sosta alla fermata dell'autobus è fortemente influenzato dal numero dei passeggeri in salita e in discesa, ma è raro che modelli di simulazione del trasporto pubblico ne tengano conto. Per questo vengono spesso affiancati modelli aggiuntivi che tengano conto di questi parametri per fornire una previsione più accurata del tempo di arrivo alla fermata. Fra questi si possono trovare modelli di regressione o approcci d'intelligenza artificiale quali le reti neurali applicate sia ai nodi che agli archi [50].

Il link-based ANN è progettato per predire il tempo di arrivo dell'autobus distribuendo il tempo di viaggio su tutto l'arco. Chien et al., assumono che avendo m archi tra due fermate consecutive $i-1$ e i . Al tempo t , calcolano il tempo di arrivo alla fermata come somma (da A verso B) del tempo totale impiegato dall'autobus per attraversare gli m archi, mentre con il secondo approccio, basato sulle fermate, il tempo è ottenuto come somma (da B verso A) dei tempi di arrivo alla fermata determinate dalle condizioni di traffico di ogni arco:

$$E_{k,i} = p_{k,i-1} + \Phi_2 (Z_j(t))$$

dove $p_{k,i-1} (p_{k,i-1} \geq t)$ è il tempo calcolato in base al tempo stimato di arrivo

più il tempo di sosta alla fermata precedente, mentre la funzione Φ_1 e Φ_2 sono ottenuta dal sistema di reti neurali dopo che lo stesso è stato sottoposto ad addestramento con un sufficiente numero di dati. In questo caso gli autori avevano utilizzato un algoritmo di back-propagation.

I fattori che influenzano il tempo di arrivo alla fermata dell'autobus sono identificati come input, tra le varie combinazioni viene scelta quella con il minor valore di errore dell'addestramento, cioè quello con la minor somma degli errori quadratici medi provenienti da tutto il campione di addestramenti. La calibrazione del modello viene in seguito fatta usando un micro simulatore sviluppato per calcolare il tempo di sosta dell'autobus alla fermata e il tempo di attesa alla fermata per la salita e discesa dei passeggeri, basato sulla domanda origine/destinazione dei passeggeri e sugli orari predefiniti di arrivo alla fermata.

A differenza dei modelli di regressione convenzionali, le reti neurali possono essere utilizzate senza specificare la forma del modello, le restrizioni sulla correlazione delle variabili dipendenti possono essere trascurate, sono in grado di prevedere con precisione le condizioni del traffico sulle autostrade e le strade urbane (ad esempio, i flussi di origine-destinazione, deviazioni orari degli autobus).

Nelle analisi condotte, i dati sono risultati coerenti per un limitato numero di fermate e non si estendono all'intero servizio di trasporto. Inoltre, limitare la fase di apprendimento della rete neurali a un campione di dati basato su un solo servizio di trasporto e a un limitato numero di ore non rende il modello migliore di un approccio convenzionale per la previsione dell'arrivo del veicolo alla fermata, quali i modelli di regressione, che consentono di esplicitare una relazione tra il tempo e i diversi elementi che caratterizzano i sistemi di transito.

Inoltre, si pone il problema dell'applicazione di simili modelli in un paese quale il Regno Unito in cui non è possibile assumere come ipotesi semplificativa un tempo medio di salita/discesa per ogni passeggero, e quindi risalire di conseguenza al tempo di trasbordo. Ciò è dovuto allo stesso sistema di riscossione tariffaria britannico (riscossione tariffa effettuata direttamente dall'autista) che impone una maggiore ritardo per il trasbordo passeggeri.

Molte ricerche hanno sviluppato approcci in tempo reale o su dati storici, applicazioni d'intelligenza artificiale (artificial neural network, support vector machines), approcci basati su modelli (filtro di Kalman) e metodi statistici (analisi di regressione e serie temporali) per la predizione dei tempi di arrivo dell'autobus alla fermata.

L'approccio storico stima il tempo di viaggio a un generico tempo t come la media dei tempi di viaggio verificatisi nella stessa fascia oraria su un periodo di più giorni. L'approccio in tempo reale, invece, stima che il tempo di viaggio del successivo intervallo di tempo si pari al tempo di viaggio attuale. I modelli di regressione sono tra i più diffusi per il calcolo del tempo di viaggio, considerato una variabile dipendente da un set di variabili indipendenti. I modelli basati su reti neurali sono molto utilizzati per la loro capacità di risolvere problemi non lineari. Ma tutte queste tecniche richiedono preventivamente analisi di dati e ampi campioni di dati e quindi un maggior tempo di elaborazione dei dati.

Lin e Zeng hanno sviluppato un algoritmo per prevedere l'arrivo dell'autobus alla fermata in tempo reale, usando dati di localizzazione dell'autobus, dati previsti di arrivo alla fermata e la differenza tra il tempo di arrivo alla fermata ufficiale e quello reale, e il tempo di stazionamento alla fermata.

Wall e Dailey usano, invece, un algoritmo che sfrutta una combinazione di Automatic Vehicle Location (AVL) e dati storici per la predizione dell'arrivo alla fermata dell'autobus. L'algoritmo ha due componenti: una che tiene conto del tracciamento dell'autobus (usando il filtro di Kalman) e un'altra per la predizione dell'arrivo alla fermata (usando stime statistiche).

Jeong e Rilett valutano le prestazioni degli autobus usando dati storici, un modello di regressione e un modello basato su reti neurali e sono arrivati alla conclusione che il modello ANN approssimi meglio gli arrivi dell'autobus.

Cathey e Dailey utilizzano, invece, un algoritmo a tre componenti (localizzatore, filtro di Kalman e predizione), mentre Liu et al. [...] hanno sviluppato un modello ibrido basato su State Space Neural Networks (SSNN), che richiede una gran quantità di dati per essere tarato, e filtro di Kalman esteso (EKF) utilizzato per la taratura della rete neurale.

È interessante notare come nessuno degli autori citati abbia considerato i ritardi sulla tabella di marcia provocati dal tempo speso alla fermata per il trasbordo dei passeggeri (*dwell time*) nel calcolo della predizione del tempo di arrivo alla fermata. Due autori che ne hanno tenuto conto sono Shalaby e Farhan, che utilizzano dati raccolti tramite AVL (*Automatic Vehicle Location*) e *automatic passenger counters* (APC) per la predizione del tempo di arrivo. Il modello da loro utilizzato è costituito da due filtri di Kalman, uno per la predizione del tempo di viaggio e uno per predire il *dwell time*, come funzione del numero di passeggeri in salita e in discesa ad ogni fermata.

Liu et al. hanno sviluppato un modello macroscopico per prevedere il tempo di viaggio su ogni arco, concentrando sui nodi alle intersezioni i ritardi come una funzione dipendente dal numero dei veicoli in coda. Il tempo di viaggio viene quindi considerato come somma del tempo impiegato per l'attraversamento dell'arco e dei ritardi concentrati alle intersezioni. Il modello è stato in seguito testato per un solo arco utilizzando il simulatore VISSIM in condizioni di traffico in tre diverse fasce orarie, ma, a causa del limitato campione di dati a disposizione degli autori, il modello non restituisce un'adeguata predizione dei tempi di viaggio.

1.5 Research evidence

Guardando alle regolamentazioni descritte è chiaro che la deregulation propriamente detta, anche se ha portato notevoli risparmi nei sussidi che il governo versava alle singole regioni per il mantenimento dei servizi di trasporto, non ha portato tutti quei vantaggi per l'utenza, che si prospettavano con l'introduzione dei meccanismi di competizione nel mercato. In particolare si è verificata una scarsa apertura del mercato, una perdita d'integrazione dei servizi, mancanza d'investimenti nel rinnovo del parco veicolare e in innovazione tecnologica e una concentrazione dei servizi efficienti nei corridoi principali e un abbandono dei corridoi secondari. Inoltre, si è avuta la perdita del valore sociale del trasporto pubblico.

Le tariffe generalmente non sono diminuite, ma in gran parte dei casi hanno subito incrementi, a causa dell'aumento del numero di servizi e quindi di una non effettiva diminuzione dei costi per gli operatori. I servizi risultano essere ridondanti nei corridoi principali e pressoché inesistenti nelle zone periferiche, inoltre, si è completamente persa l'integrazione fra i diversi modi di trasporto che fino agli anni ottanta era considerato il fior all'occhiello della Gran Bretagna. La situazione di Londra risulta quella preferibile dal punto di vista della gestione del trasporto pubblico, ma si deve anche sottolineare che in una città come Palermo, o come qualsiasi altra città siciliana, non esistono i presupposti per paragonare gli interessi e le restrizioni che ruotano attorno a una città come Londra. Le città nelle aree metropolitane, come l'area del Tyne and Wear esaminata, invece, hanno caratteristiche (popolazione, estensione, servizi di trasporto offerti) simili all'area di Palermo.

Tuttavia, un parametro che andrebbe considerato, oltre alla redditività del servizio dal punto di vista economico, dovrebbe essere l'impatto ambientale del servizio stesso al fine di perseguire le politiche ambientali che la Comunità Europea ha introdotto da alcuni anni (Stern Report [4], CI Beattie et al. (2001) [5], ECCP (2005) [6]). Il trasporto pubblico gioca un ruolo fondamentale per la riduzione delle emissioni inquinanti, aumentare il numero di passeggeri significa, infatti, diminuire le emissioni di CO₂ per passeggero. Ma per promuovere uno shift modale dal mezzo privato a quello pubblico, bisogna migliorare gli standard di servizio degli autobus e creare i presupposti per la reintroduzione dell'interscambio. Ciò non rappresenta un problema per i servizi commerciali ma lo è per quei servizi che ricevono finanziamenti dalle PTE e che vedono calare sempre di più il numero di passeggeri da servire in virtù delle scarse prestazioni sia in termini di rispetto delle tabelle di marcia che di comfort.

Inoltre, per perseguire una mobilità sostenibile è necessario promuovere la collaborazione fra enti locali e operatori e recuperare l'interscambio modale tra i vari servizi di trasporto, in questa maniera si ottiene la riduzione del traffico e quindi un miglioramento delle prestazioni degli autobus, a causa dei minori livelli di congestione.

Data la pressione che ricade sui governi nazionali il criterio economico non può essere considerato come l'unica metrica nei processi di pianificazione del territorio e dei trasporti. Eppure persino tra le più recenti applicazioni di sistemi di supporto alle decisioni non vi sono riferimenti all'aspetto ambientale del problema. Inoltre con l'evoluzione di modelli come Cube Voyager di Citilabs, molti dei DSS presentati nei paragrafi precedenti risultano obsoleti. La programmazione in C++ e il richiamo dei vari modelli compresi gli strumenti GIS sono oggi tutti integrati nel programma.

Inoltre, nella maggior parte delle applicazioni sulla predizione dell'arrivo alla fermata, che è in definitiva l'indice di prestazione del servizio autobus che si andrà ad esplorare, non vi è traccia dei ritardi dipendenti dalla salita e discesa dei passeggeri o, se viene calcolato, non vi sono applicazioni valide in territorio britannico, dove la struttura tariffaria è diversa dal resto d'Europa e dall'America.

Le uniche ricerche in proposito furono svolte da Chapman nel 1976, quando però ancora erano in servizio gli autobus con controllore e autista e l'unico titolo era il biglietto cartaceo.

1.6 Obiettivi della tesi

Dall'esame dello stato dell'arte e delle research evidence sono stati individuati degli obiettivi principali e una serie di obiettivi specifici da raggiungere nel presente lavoro.

Gli obiettivi principali sono i seguenti:

1. Progettare un sistema di monitoraggio della performance in termini di emissioni di CO₂ per passeggero (che si integri ai parametri generalmente utilizzati quali *tempo di viaggio, domanda e profitto*) al fine di fornire delle informazioni utili ai decisori;
2. Esplorare se gli attuali servizi sussidiati caratterizzati da elevate emissioni di CO₂, attraverso l'integrazione con le linee di trasporto pubblico principali, possono svolgere un ruolo chiave nella creazione di un trasporto pubblico sostenibile (utilizzando l'elevata capacità residua e migliorando la flessibilità di tali servizi);
3. Dimostrare come nel caso specifico del Tyne and Wear l'interscambio modale e l'integrazione tariffaria tra autobus e Metro possano apportare benefici alla rete di trasporto pubblico.

Di seguito sono definiti una serie di obiettivi specifici che permetteranno di ottenere le informazioni necessarie per il raggiungimento degli obiettivi principali sopra descritti:

- Studiare le caratteristiche dei parametri (tempo di salita e discesa, congestione, ecc.) che influenzano il tempo di viaggio dei servizi di trasporto autobus;
- Sviluppare degli algoritmi che permettano di quantificare la performance dei servizi autobus ad un livello di dettaglio che rifletta le dinamiche dei passeggeri;
- Sviluppare un modello di stima delle emissioni di CO₂ per passeggero per le varie opzioni di trasporto pubblico;
- Progettare e sviluppare uno strumento con sufficiente sensibilità che permetta la valutazione di servizi autobus alternativi (incluso

l'interscambio modale tra differenti servizi di trasporto pubblico) secondo differenti metriche (£/€, CO₂);

- Testare il modello di valutazione della performance per uno scenario ipotetico “interscambio bus-metro” con uno scenario di base (do-nothing tertiary service).

CAPITOLO 2

METODOLOGIA

2.1 Metodologia ai fini della progettazione del sistema esperto

Il primo passo per la progettazione del DSS è stata la raccolta dei dati necessari ai fini del calcolo della performance ambientale dei servizi autobus e , quindi della CO₂ per passeggero. La maggior parte dei dati necessari per raggiungere gli obiettivi di questo lavoro erano già inclusi nel TPM (*Transport Planning Model*), progettato da Jacobs su base CUBE/TRIPS per la modellazione dei flussi di traffico nel Tyne and Wear, e commissionato dai comuni del Tyne and Wear.

Nel modello è compreso anche un modulo sul trasporto pubblico, ma, essendo il modello un macrosimulatore e, non essendo la modellazione del trasporto pubblico lo scopo principale del TPM, non viene raggiunto un dettaglio tale da poter essere utilizzato come modello base senza apportare alcune modifiche. Infatti, solo il corridoio autostradale A1 raggiunge un elevato livello di dettaglio, per cui non è adeguato per misurare la performance di un qualsiasi servizio di trasporto operante nel T&W.

Grazie all'utilizzo del CUBE/TRIPS sono stati modificati gli script in C++ e, aggiunti dati al database di riferimento per quanto riguarda il trasporto pubblico nell'area oggetto di studio.

Tutti i servizi di trasporto attivi sono caricati e visualizzati tramite interfaccia GIS (percorsi, orari, operatore che gestisce il servizio e tariffazione applicata, e domanda di trasporto), mentre i dati di traffico, composizione veicolare a seconda delle fasce orarie, i tempi di percorrenza e velocità sulla rete provengono dal modulo di TPM chiamato *Highway*.

Ai fini della ricerca risultava necessario raccogliere delle informazioni che non vengono considerate necessarie ai fini professionali e per quel livello di dettaglio che si voleva raggiungere col TPM, e che né la PTE né i comuni avevano mai raccolto in precedenza. Per cui si è organizzata una campagna di raccolta dati che dia evidenza dell'occupazione dei passeggeri al variare del giorno, della fa-

scia oraria e delle fermate, delle accelerazioni e velocità raggiunte dal mezzo con differenti livelli di congestione.

A causa della particolare condizione vigente nel Regno Unito le PTE non sono tenute a raccogliere dati sui servizi commerciali, gestiti direttamente dall'operatore di trasporto pubblico, ma monitorano costantemente tutti i servizi sussidiati e sono interessate a promuovere questa categoria di servizi. Considerando che uno degli scopi della tesi è quello di migliorare le prestazioni ambientali dei servizi di trasporto e che questi servizi sono quelli che utilizzano maggiormente veicoli obsoleti, quindi più inquinanti, si è deciso di considerare le *sus-sidised service* come laboratorio di ricerca nell'ambito di questa tesi. Infatti, la particolare caratteristica di queste linee consente di rilevare facilmente i dati d'interesse.

Inoltre, la causa principale del basso livello di servizio di queste linee è rappresentata proprio dall'estrema vicinanza con il servizio di metropolitana per cui nelle analisi di scenari alternativi si è testato l'influenza di un eventuale nuovo scenario integrato con il servizio di metropolitana, e il beneficio in termini di CO₂, di miglioramento della frequenza e di aumento dei passeggeri.

2.2 Metodologia dell'indagine effettuata sugli autobus

Lo scopo principale della raccolta dati è quello di ottenere quanti più dati possibili sulla prestazione di un servizio autobus, e la percezione che l'utente ha sulla qualità del servizio offerto. Una volta che sono identificate le caratteristiche del servizio, il bacino d'utenza servito, il livello di servizio e il numero dei passeggeri serviti, è possibile formulare una nuova proposta per il servizio oggetto di studio che elimini o quantomeno attenui le barriere per l'utilizzo di quest'ultimo e quindi la riduzione dei sussidi da parte delle PTE per il mantenimento del servizio stesso.

La raccolta dati è stata effettuata a cavallo dei mesi di Giugno e Luglio negli anni 2009 e 2010. L'indagine è stata estesa sempre a un periodo di due settimane, coprendo tutti i giorni e tutte le fasce orarie in cui operavano i servizi oggetto di studio. A seconda delle caratteristiche del servizio, la squadra di rilievo era composta da un membro per autobus in servizio, per il rilievo delle caratteristi-

che del servizio (tempi di percorrenza, tempi alla fermata, tempi di salita e discesa passeggeri e composizione dei passeggeri).

Ai fini del rilievo sono risultati sufficienti dei cronometri, sincronizzati con gli orologi degli autobus, e un applicazione su *smartphone* con GPS che misurava accelerazioni, velocità e posizione dell'autobus di volta in volta.

In Figura 2, è mostrato il layout del foglio per la raccolta dei dati a bordo degli autobus. È diviso in quattro macro sezioni.

PUBLIC TRANSPORT SURVEY - LINE

bus annotation: Date:

From - to

STOP_ID	TIME_expt (hh:mm)	TIME_meas (hh:mm)	Stopwatch_ Time (mm:ss)	loading_ Time (sec)	Boarding			Alighting	Note
					Ticket	Travel Card	Concess.		
1	7.47		0.00						
2									
3									
4									
5	7.50								
6									
7	7.52								
8									
9									
10									
11									
12									
13	8.02								
14									
15									
16									
17	8.04								
18									
19									
20									
21									
22									
23	8.11								
24	8.13								
25	8.14								

Figura 2 – Layout utilizzato per la raccolta dati

La prima identifica la singola fermata, con i nomi di riferimento dei capolinea e delle fermate intermedie, e il tempo di arrivo alla fermata, prevista nella tabella ufficiale. La seconda sezione prevede la registrazione dell'effettivo tempo di arrivo alla fermata e del tempo trascorso alla fermata per la salita e discesa dei passeggeri (ottenuto per differenza tra il tempo di arrivo e il tempo di partenza alla fermata). Nella terza sezione, costituita da tre colonne, vengono annotati il numero di passeggeri che salgono a bordo, distinguendoli a seconda del titolo utilizza-

to per imbarcarsi. Nel caso del Regno Unito sono stati considerati i biglietti standard, gli abbonamenti, chiamati *travelcards*, ovvero quelli sottoscritti da lavoratori e utenti abituali del servizio, e *concessionary*, cioè gli abbonamenti gratuiti per pensionati e disabili (T = Ticket, TC = Travel Card, C = Concessionary). Mentre nella la quarta sezione vengono annotate il numero di passeggeri in discesa senza distinzione alcuna.

Inoltre sono state fornite ai rilevatori alcune avvertenze per la registrazione dei dati:

- È prevista una colonna per annotazioni, utile nell'individuare e spiegare, in fase di analisi, tutti gli *outliers* (madri con passeggini, persone particolarmente lente nel salire a bordo, richieste informazioni, liti fra passeggeri);
- I biglietti giornalieri, settimanali o mensili vengono considerati come un abbonamento, e quindi come le *travelcards*, a meno che l'acquisto del biglietto non venga effettuato in quel momento, per cui viene registrato come un biglietto standard perché implicherebbe lo stesso perditempo.

Questo livello di dettaglio è stato possibile in quanto il numero dei passeggeri non era tale da poter esser gestito da un solo osservatore, ma nel caso in cui la stessa metodologia venga applicate per un servizio commerciale va impiegato un numero d'osservatori adeguato al numero di passeggeri in salita e discesa.

Tutti i tempi sono stati registrati in minuti e secondi, e ogni mattina il cronometro veniva sincronizzato con l'orario ufficiale degli autobus in servizio. Inoltre nel calcolo *del dwell time*, non sono state considerate le fasi di decelerazione e accelerazione dell'autobus ma solo il reale tempo di sosta alla fermata, che non è necessariamente coincidente con il tempo di apertura e chiusura delle porte.

CAPITOLO 3

IL TRASPORTO PUBBLICO NEL TYNE AND WEAR

3.1 Introduzione

Il Tyne and Wear è la maggiore area urbana nel Nord Est dell'Inghilterra, originariamente estesa dal fiume Tyne a Nord al fiume Wear a sud, oggi è costituita dalle città di Newcastle, Gateshead, North Tyneside, South Tyneside and Sunderland, oltre all'hinterland delle provincie di Durham e del Northumberland (v. Figura 3).



Figura 3 – Mappa del Tyne and Wear

La provincia del Tyne and Wear rappresenta un eccellente base di riferimento per studi relativi al trasporto pubblico o, implementazione di sistemi di tariffazione e gestione del sistema di trasporto pubblico su una scala urbana, nonché per l'implementazione di moderni ed efficienti sistemi di trasporto, si osservi infatti come il T&W con i suoi 1.100.000 abitanti rientra fra le 240 città nel mondo (tra 418 prese in esame [76], Figura 4) con un numero di abitanti dell'area urbana compreso tra 1 e 2 milioni, che rappresentano oltre il 20% dell'intera popolazione interessata (Figura 5).



Figura 4 – Distribuzione delle principali città del mondo per “popolazione dell’area urbana”

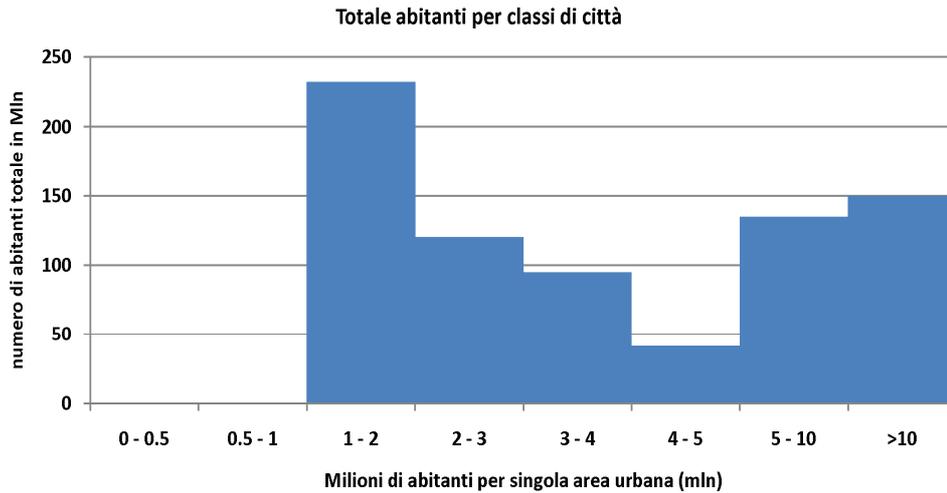


Figura 5 – Totale abitanti per classi di popolazione di aree urbane

3.2 Cenni storici sullo sviluppo dei trasporti nel T&W

Storicamente il Tyne and Wear ha rappresentato un'area economicamente meno sviluppata rispetto le altre inglesi, e ciò è confermato attraverso veri indicatori economici anche negli anni più recenti, tuttavia dal punto di vista dei servizi di trasporto, fin dal 1980 anno di entrata in esercizio della prima tratta metropolitana i trasporti hanno svolto un ruolo fondamentale nello sviluppo economico e spaziale dell'area urbana determinando la nascita, in alcuni casi, di vere e propri quartieri nell'intorno delle stazioni metropolitane, ma anche nel contrastare il fenomeno di incremento del numero di possessori di auto private.

Nel dettaglio, se si osserva la Tabella 3, la percentuale di famiglie che non posseggono auto è del 42% nel Tyne and Wear e del 36% circa per la Regione del North East, se poi si considera il numero di famiglie con non più di una vettura, tale percentuale sale ad oltre l'83% e 79% rispettivamente per le due aree.

Rispetto al resto dell'Inghilterra la maggiore divergenza è proprio nel numero di famiglie che non posseggono l'auto e ciò conferma un'economia poco prospera.

Tabella 3 – Possesso dell'auto privata nel Tyne and Wear (fonte: Census 2001)

Area	Cars per Household			
	None	One	Two or more	Average
Tyne and Wear	41.8%	41.5%	16.6%	0.78
North East	35.9%	43.1%	21.0%	0.90
England	26.8%	43.7%	29.5%	1.11
Great Britain	27.5%	43.8%	28.8%	1.09

In Tabella 4 sono riportate le percentuali di ripartizione della domanda per modo di trasporto per Tyne and Wear, North East e Inghilterra, osservando la tabella si conferma che una significativa percentuale di persone, rispetto alle altre due aree, utilizza o l'autobus o la rete su ferro per compiere spostamenti pendolari, utilizzando meno l'auto (-6%), il treno (-3,5%) e la bicicletta (-1,4%).

Tabella 4 – Ripartizione della domanda per modo di trasporto

	Tyne and Wear	North East	England
Car driver	53.7%	59.8%	60.5%
Car passenger	9.2%	9.9%	6.7%
Motorcycle	0.7%	0.7%	1.2%
Metro	5.2%	2.3%	3.5%
Train	1.2%	1.0%	4.7%
Bus	16.3%	11.9%	8.3%
Taxi	0.8%	0.7%	0.6%
Bicycle	1.7%	1.8%	3.1%
Foot	10.3%	11.0%	11.0%
Other	0.9%	0.9%	0.5%

Relativamente al Trasporto pubblico, nel Tyne and Wear l'autobus ricopre la porzione maggiore di mercato con oltre 142 milioni di passeggeri trasportati nell'anno 2009/2010 (v. Tabella 5).

Tabella 5 – Ripartizione dei passeggeri trasportati con il Trasporto Pubblico nel Tyne and Wear (anni dal 2007/08 al 2009/10. Fonte: NEXUS)

Mode	Patronage (thousands)			Change from 2008/09 to 2009/10
	2007/08	2008/09	2009/10	
Bus	133,691	140,392	142,738	2%
Metro	39,829	40,581	40,892	1%
Rail	2,044	1,745	1,757	1%
Ferry	480	467	476	2%
Total	176,044	183,185	185,863	1%

Nel grafico di Figura 6 è riportato l'andamento annuale dell'utenza autobus (in migliaia di passeggeri) dal 1986, anno della deregulation, ad oggi. Si evince che nel solo anno successivo all'introduzione della legge il numero di spostamenti con l'autobus scese di circa 38 milioni e tale riduzione si è mantenuta negli anni successivi fino all'introduzione dei pass gratuiti (concessionari) per anziani e altre fasce deboli della popolazione, avviata nel 2006. Nel caso particolare del Tyne and Wear dal 1986 al 2006 l'utenza autobus si è ridotta del 59% [Nexus' 2009/10 Business Intelligence Report].

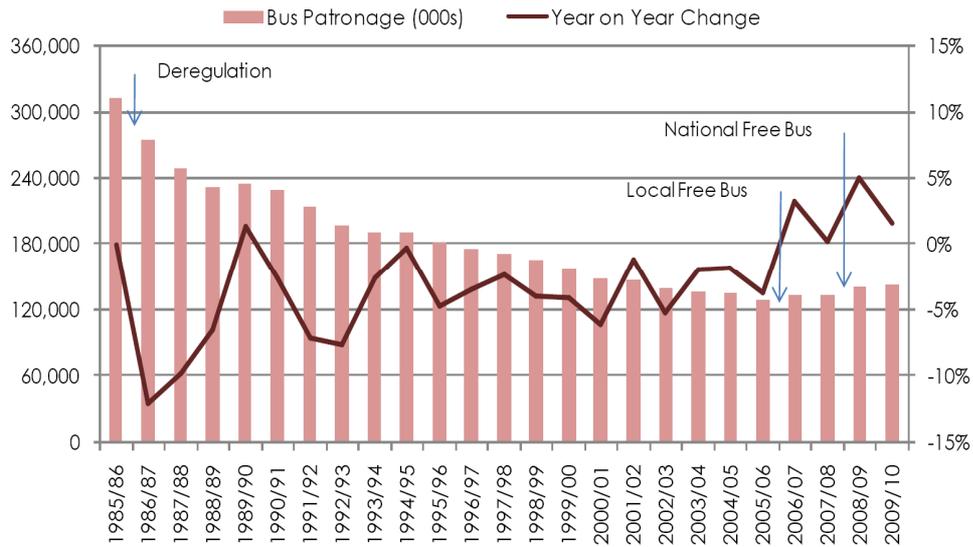


Figura 6 – Utenza autobus 1985-2010 nel Tyne and Wear

Il grafico di Figura 7 illustra l’andamento annuale dell’utenza della metropolitana (in migliaia di passeggeri) dal 1986, anno della deregulation, ad oggi, in cui il livello dell’integrazione tra autobus e metropolitana ha registrato il maggior declino. In particolare nel solo anno successivo all’introduzione della legge si registro una riduzione di 8 milioni di spostamenti, che evidenzia il significativo e negativo impatto della riduzione dei livelli di integrazione modale sul numero di utenti. L’utenza della Metro ha continuato il trend negativo fino al 2001/02, tale differenza rispetto all’autobus è da attribuire all’apertura della nuova estensione della linea metro verso la città del Sunderland (tratto Pelaw - South Hylton), avvenuta il 31 Marzo 2002. In generale tra il 1985/86 e il 2005/06, l’anno dell’introduzione della Gold Card per i concessionary, l’utenza della Metro si è ridotta del 34%.

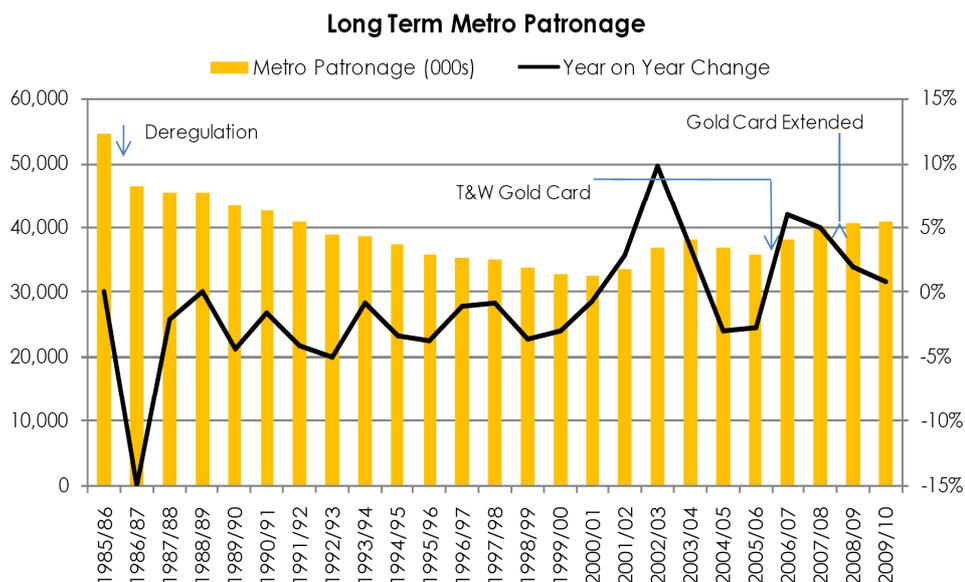


Figura 7 – Utanza della Metropolitana 1985-2010 nel Tyne and Wear

Un interessante esempio di integrazione tariffaria, anche se limitato ad una classe di utanza, è rappresentato dal concessionary Child All-Day Ticket (CAT) che è stato introdotto nel Settembre 2008 e permette di viaggiare su tutti i modi di trasporto, per tutto il giorno al costo di £1,00 al giorno. È da sottolineare come il maggior uso di questo tipo di biglietto è stato effettuato sugli autobus, portando la percentuale di spostamenti tra i giovani (<16 anni) effettuati sull'autobus dal 75 al 79% nel 2009/10. Dall'introduzione del CAT sono stati generati più di 4 milioni di spostamenti all'anno di giovani sull'autobus. Il grafico di Figura 8 mostra il trend di variazione dell'utanza giovane prima dell'introduzione del CAT, confrontandola con quello precedente ed evidenziando gli spostamenti specificatamente attribuibili al CAT.

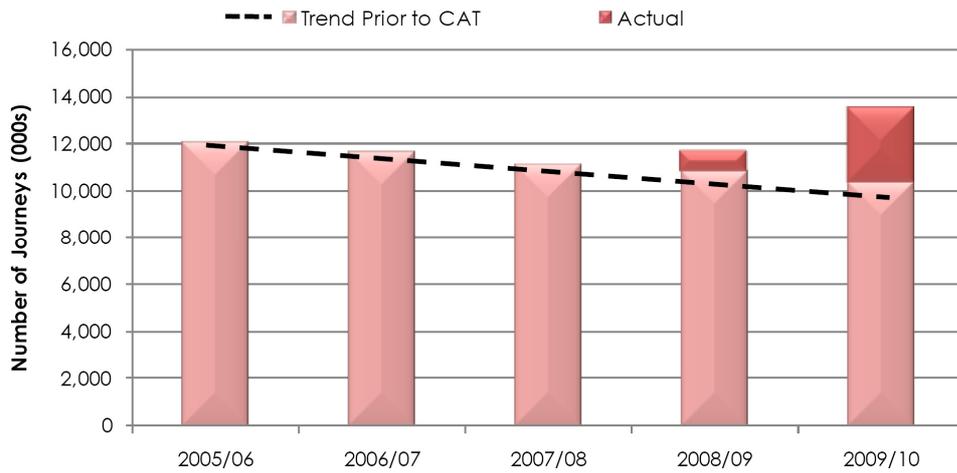


Figura 8 – Contributo del CAT all'utenza giovane dell'autobus

In Figura 9 il continuo declino dell'uso dell'autobus da parte degli adulti e l'incremento dell'uso di tale modo da parte di anziani (over 60) e giovani (under 16) ha significativamente cambiato la ripartizione dell'utenza autobus negli ultimi anni. Infatti dal 2005/06, in cui il 67% dei viaggi è stato effettuato da utenza pagante, si è passati nel 2009/10, al 58%, che rappresenta in termini relative una riduzione del 13%.

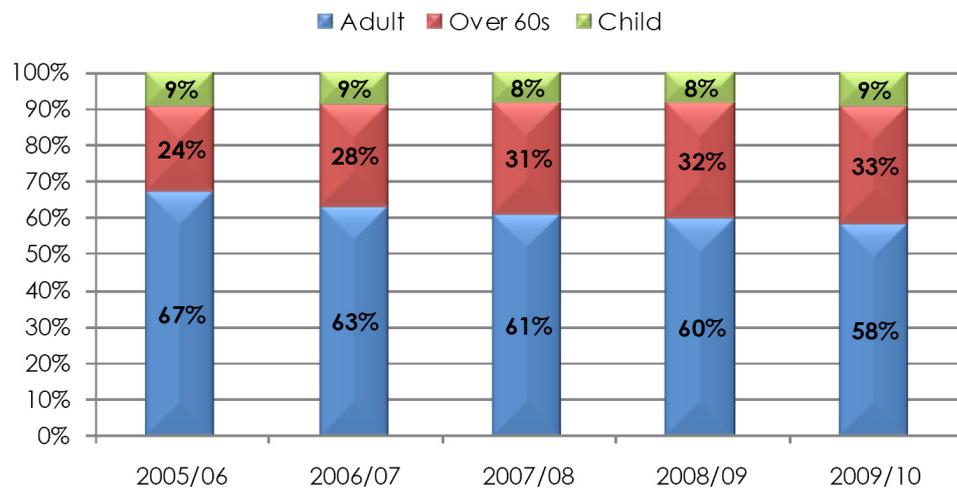


Figura 9 – Ripartizione dell'utenza autobus

Tuttavia occorre tenere conto che parte dello shift modale verso l'autobus, avvenuto recentemente (2008/09), potrebbe essere attribuibile in gran parte alla recessione economica, considerazione che può essere derivata anche dal fatto che negli ultimi anni si è comunque registrato un declino nell'uso del mezzo pubblico da parte della popolazione pagante (adult).

3.3 Servizi di trasporto passeggeri su gomma

I Servizi di trasporto passeggeri su gomma (autobus) sono il principale modo di trasporto pubblico del Tyne and Wear in termini di numero di passeggeri trasportati e la possibilità di accedere a gran parte del territorio.

Nonostante l'incremento dei costi e la continua competizione con altri modi di trasporto, il declino a lungo termine del numero dei passeggeri si è ridotto, in parte dovuto all'introduzione del pass gratuito, da utilizzare dopo l'ora di punta, per gli over 60 e disabili (concessionary) recentemente introdotto e in parte dove gli operatori hanno investito in veicoli nuovi e più accessibili, offerte tariffarie e incrementando la frequenza.

Una recente indagine "*Mystery Traveller*" conferma che il 78% degli utenti che effettuano spostamenti col trasporto pubblico utilizza l'autobus, e solo una piccola percentuale effettua spostamenti più lunghi che utilizzano congiuntamente anche la metropolitana o altri autobus. Circa il 90% della distanza coperta da servizi autobus è fornita da operatori commerciali, mentre gli altri servizi operano sotto contratto dalla NEXUS, specialmente quelli del mattino presto, notturni e domenicali, ossia quelli che svolgono un servizio essenziale, attraverso partnership es. Quaylink; o con supporto di soggetti privati, es. i servizi che servono dei centri di affari fuori dal centro città, il Cobalt Clipper e il Quorum Express.

Di seguito si riporta una mappa dei trasporti che mostra la frequenza autobus e la copertura spaziale della rete di trasporto pubblico della zona centrale del Tyne and Wear, evidenziando anche il rapporto con la densità di disoccupazione delle varie aree censuarie.

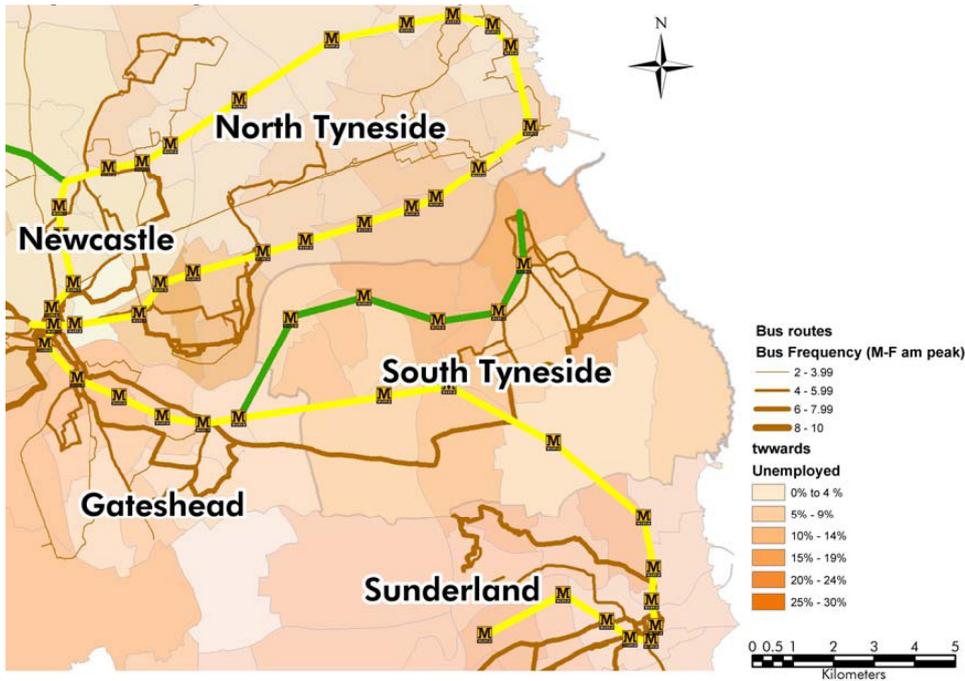


Figura 10 – Copertura spaziale della rete di trasporto pubblico della zona centrale del Tyne and Wear (Fonte: Nexus / Census 2001)

Anche se alcuni progressi sono stati fatti negli ultimi anni, rimane la necessità di fare molto di più per incontrare le crescenti aspettative della popolazione che, se efficacemente raggiunta e informata può rappresentare una risorsa considerevole per il trasporto pubblico e, lasciando l'auto privata contribuire a raggiungere gli obiettivi ambientali e di sostenibilità prefissati.

Tra i principali ambiti in cui molto deve essere fatto si hanno la percezione della convenienza economica del passeggero, puntualità e affidabilità del servizio che tuttavia sono interdipendenti, l'impatto della congestione da traffico che influenza notevolmente la puntualità e affidabilità dei servizi autobus e infine, persistono le preoccupazioni che gli operatori continuano a concentrarsi sulle linee/corridoi ad alta frequenza commerciale a scapito della restante parte della rete.

Quest'ultimo aspetto ha rappresentato uno dei punti chiave negli indirizzi stabiliti dal Local Transport Act del 2008 che da alle autorità dei trasporti l'opportunità di intraprendere delle effettive e concrete "Quality Partnerships" con gli operatori ed eventualmente stipulare un "Quality Contracts Scheme" se

necessario per poter raggiungere le necessità dei passeggeri all'interno di una specifica area.

Quality Partnerships, Statutory Quality Partnerships e Quality Contracts

A seguito delle recenti modifiche apportate al precedente Transport Act 2000 da parte del recente Local Transport Act 2008, sono state individuate complessivamente quattro differenti tipi di approcci:

1. *Lo status quo* (includendo la continuazione delle preesistenti partnership esistenti nella zona est di Gateshead;
2. I *Voluntary Partnership Agreements*, ossia accordi volontari in cui la Nexus e l'operatore identificano vari aspetti della qualità del servizio, delle infrastrutture ed altro, a cui l'operatore dovrà garantire certe prestazioni/livelli;
3. *Statutory Quality Partnerships*, sono accordi legalmente siglati tra l'autorità dei Trasporti e uno o più compagnie di autobus, in cui i contenuti dell'accordo vengono discussi e negoziati tra le due parti, ma non appena siglati hanno valore legale, con l'autorità che avrà il potere di imporre uno schema su un'area che potenzialmente potrebbe escludere tutte le altre compagnie che non hanno siglato l'accordo e che operavano nel territorio.
4. Infine, il *Quality Contracts scheme* stipulato dall'ITA che produce l'effetto di sospendere la deregolamentazione del mercato degli autobus in un'area, e quindi ne definisce i servizi, frequenze e qualità e affida il contratto o multipli contratti per la sua applicazione.

Quest'ultima tipologia effettivamente apre spazio a possibili soluzioni di tipo interchange che potrebbero agevolare, in alcuni contesti specifici, lo shift modale dall'auto privata verso l'uso del trasporto pubblico.

Servizio di HRT- METRO

La metropolitana del Tyne and Wear, il primo sistema light rapid transit system dell’Inghilterra, è alla base del servizio di trasporto pubblico del Tyne and Wear.

La Metro è stata progettata circa anni fa e inizialmente doveva chiamarsi Tran-Cit, prima che poi adottasse l’attuale nome “Metro” nel 1974. Inaugurata agli inizi degli anni ’80, il sistema era composto da 40 stazioni, e successivamente venne esteso all’aeroporto (1991) e verso Sunderland e South Hylton (nel 2002).

Per un maggior dettaglio si rimanda alla Tabella 6 di seguito.

Tabella 6 - Storia delle inaugurazioni delle tratte metropolitane nel T&W

Inaugurazione	Tratta Metropolitana
11 Agosto 1980	Haymarket - Monkseaton – Tynemouth
10 Maggio 1981	South Gosforth - Bank Foot
15 Novembre 1981	Haymarket – Heworth
14 Novembre 1982	St. James - Manors – Tynemouth
25 Marzo 1984	Heworth - South Shields
17 Novembre 1991	Bank Foot – Airport
31 Marzo 2002	Pelaw - South Hylton (Sunderland extension)
11 Dicembre 2005	Northumberland Park station added
17 Marzo 2008	Simonside station added

Oggi la Metro serve 60 stazioni lungo 78 chilometri di linea, trasportando circa 41 milioni di passeggeri nell’anno 2009/10. La metropolitana è accessibile a circa il 25% delle famiglie del Tyne and Wear, anche se molte stazioni metropolitane possono essere utilizzate anche per interscambio con altri modi (autobus, treno, taxi o aereo). La gran parte del sistema è stata costruita negli anni ’70, anche se alcune infrastrutture chiave sono databili al tempo vittoriano, come ad esempio il North Shields Tunnel con i suoi oltre 160 anni di vita.

Nel Febbraio 2010, il precedente Governo ha riconosciuto alla NEXUS circa £560 milioni per modernizzare e continuare ad erogare il servizio Metro, finanziamento che è stato confermato anche dall'attuale nuovo Governo.

La maggior parte della spesa, fino a £350 milioni, sarà spesa nel progetto di modernizzazione "Metro: All Change" che si attuerà durante i prossimi 11 anni. Un ulteriore fondo di £230m supporterà i costi di funzionamento e gestione nei prossimi 9 anni. Tale finanziamento, il maggiore dei 30 anni di storia della Metro, assicurerà la vita di tale sistema di trasporto pubblico indispensabile per il raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità previsti.

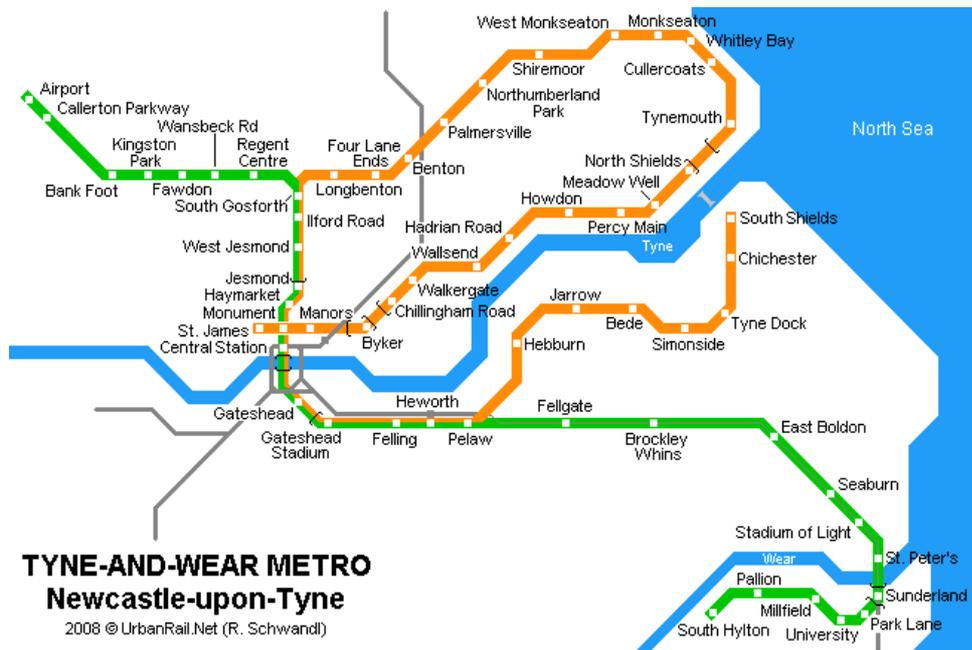


Figura 11 – Mappa della rete di trasporto pubblico metropolitano nel T&W (Nexus)

La tariffazione della metro avviene mediante tre zone quasi concentriche (v. Figura 12) in cui il biglietto base può essere di tre tipologie singolo (£1,40), andata e ritorno (£1,90) e giornaliero (£3,90); per la zona 1 escluso il giornaliero che vale per tutte e tre le zone, di recente dal Gennaio 2011 la Metro ha abolito il biglietto di andata e ritorno e lasciato solo il

singolo e il giornaliero, riducendo il costo di quest'ultimo e portando a £1,50 il singolo.

Di seguito nelle Tabella 7 e Tabella 8 si riporta l'elenco esaustivo dei principali biglietti ed abbonamenti che possono essere acquistati per usufruire della Metro.

Tabella 7 - principali biglietti del servizio Metro (fonte: Nexus)

Prodotto	2010	2011
1 Z Single	£1.40	£1.50
2 Z Single	£2.20	£2.30
3 Z Single	£2.90	£3.00
1 Z Off-Pk Rtn	£1.90	Abolito
2 Z Off-Pk Rtn	£2.90	Abolito
3 Z Off-Pk Rtn	£3.80	Abolito
1 Z Peak Rtn	£2.30	Abolito
2 Z Peak Rtn	£3.50	Abolito
3 Z Peak Rtn	£4.60	Abolito
1 Z off-Pk DaySaver	£1.90	£2.10
2 Z off-Pk DaySaver	nuovo	£3.10
3 Z off-Pk DaySaver	£3.90	£4.00
1 Z Pk DaySaver	£2.30	£2.50
2 Z Pk DaySaver	nuovo	£3.70
3 Z Pk DaySaver	£4.80	£4.80
Evening DaySaver	£2.30	Abolito
WednesDaySaver	£2.70	Abolito
SunDaySaver	£3.90	Abolito
Transfare 1 Zone	£2.10	£2.30
Transfare 2 Zone	£2.90	£3.10
Transfare 3 Zone	£3.60	£3.80
Metro Centre Return	£4.60	Abolito
Metro Centre Single	£3.60	Abolito
Child Full Fare Single	£0.60	£0.60
Child Full Fare Transfare	£0.70	£0.70
Child Day Saver	£1.10	£1.10

Tabella 8 – Principali abbonamenti al servizio Metro (fonte: Nexus)

Prodotto	2010	2011
Settimanale 1 Zona	£8.50	£9.00
Settimanale 2 Zone	£12.50	£13.00
Settimanale 3 Zone	£17.00	£18.00
4 Settimane 1 Zona	£30.50	£33.00
4 Settimane 1 Zona online	£30.50	£30.50
4 Settimane 2 Zone	£44.00	£46.50
4 Settimane 2 Zone online	£44.00	£44.00
4 Settimane 3 Zone	£58.00	£61.00
4 Settimane 3 Zone online	£58.00	£58.00
Annuale tutte le zone	£450.00	£475.00
Annuale tutte le online	£450.00	£450.00

Di seguito in Figura 12 si riporta la mappa delle zone della metropolitana in cui è strutturata la tariffazione del servizio.

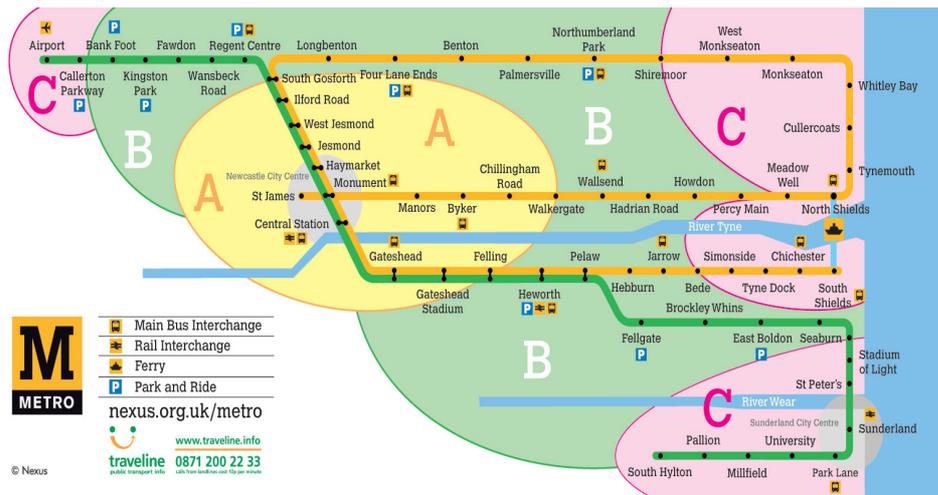


Figura 12 – Mappa delle zone (Z) in cui è suddiviso il T&W per l’abbonamento Metro Saver (Fonte:Nexus)

Nel Tyne and Wear esiste una soluzione integrata che permette di usufruire di molti servizi di trasporto pubblico la metro, varie compagnie di autobus, il traghetto e alcuni treni locali, questo biglietto integrato prende

il nome di “One network” e la tariffazione è suddivisa in 5 zone come riportato in Figura 13 di seguito.

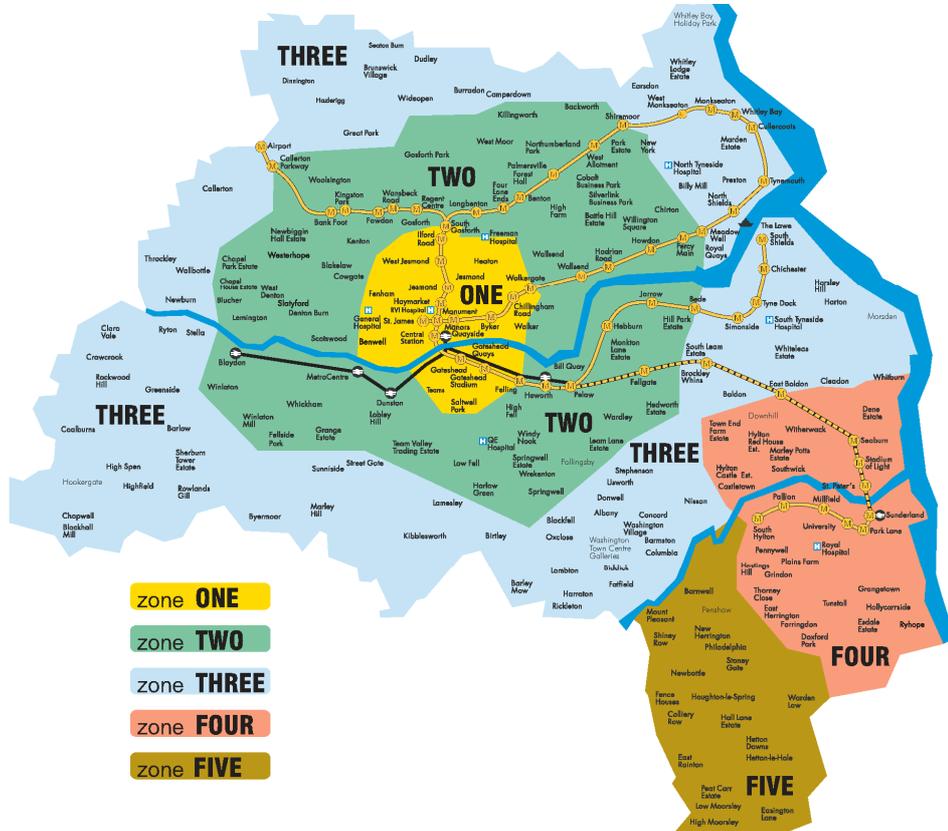


Figura 13 – Mappa delle zone in cui è suddiviso il T&W per l’abbonamento congiunto ad alcuni servizi autobus, treno e la Metropolitana (Fonte:Nexus)

3.4 Altri servizi di trasporto pubblico

Il Treno

Il Tyne and Wear è dotato di una rete ferroviaria che collega il territorio al resto dell'Inghilterra e che serve anche i vari centri urbani di minori dimensioni della provincia. Essa è costituita dalle seguenti tratte ferroviarie:

- La linea East Coast Main (ECML), da Newcastle verso la Scozia a nord e verso lo Yorkshire e Londra a sud;
- La linea Tyne Valley che collega Newcastle verso Hexham e Carlisle ad est;
- La linea TransPennine che collega Newcastle con Leeds e Manchester;
- La rete Cross-Country da Newcastle verso le Midlands e il sud-est dell'Inghilterra;
- Servizi verso il Sunderland, MetroCentre (uno dei centri commerciali più grandi d'Europa) e la cittadina di Hexham;
- La linea costiera verso Durham che corre lungo il sud-est da Sunderland verso Middlesbrough;
- Infine, la linea Grand Central dal Sunderland verso Tees Valley, Yorkshire e Londra.

La rete ferroviaria locale svolge un ruolo importante nel fornire un trasporto sostenibile all'interno del Tyne and Wear ed oltre, e svolge un ruolo chiave, al pari di altri servizi pubblici, nel ridurre la congestione stradale specialmente nella rete stradale primaria (autostrade e strade a grande scorrimento) e consentendo l'accesso nell'area a passeggeri e merci che si spostano sul territorio sia per interessi locali, regionali che nazionali.

Se si considera l'ultimo decennio tali servizi ferroviari hanno visto accrescere la domanda fino all'ultima recessione economica in cui sono rimasti stabili. Al momento i treni regionali sono gestiti dalla Northern Rail, che da contratto opererà fino a Settembre 2013. Una nota al riguardo è che il servizio quando è stato attivato dalla Northern Rail non prevedeva incrementi di utenza (era sulla base dello stato di fatto); tuttavia data la tendenza positiva nel numero annuale di passeg-

geri, fino al 33% in più dall'inizio del contratto, i partner del contratto hanno già concordato di migliorare il servizio nel prossimo contratto.

L'unico servizio locale finanziariamente supportato dalla Tyne and Wear ITA è la linea MetroCentre - Heworth - Newcastle - Sunderland che attualmente trasporta ogni anno circa 1,8 milioni di passeggeri. Tuttavia, la recente decisione della NEXUS di non finanziare più nel futuro tale servizio metterà in seria discussione qualsiasi possibile miglioramento del servizio nel futuro che già oggi, specialmente nelle ore di punta risulta oltre il limite di capacità, e ciò comprometterà fortemente ogni potenziale shift modale strada – treno per insufficiente capacità della linea.

Nel Tyne and Wear, il treno accoglie l'1.7% degli spostamenti per lavoro, corrispondente a più di 8,9 milioni di spostamenti all'anno e se si considera la tratta centrale (Newcastle, Sunderland e MetroCentre) si è registrato un aumento del 25% tra il 2007/08 e il 2008/09).

Infine, il servizio ferroviario svolge un importante ruolo nel trasporto merci specialmente da e per il porto del Tyne. Di recente la Tyne and Wear Freight Partnership ha esplorato la possibilità di un potenziale sviluppo del traffico merci nella regione.

Il servizio di traghetti per l'attraversamento del fiume Tyne

Tale servizio, che nel passato ha operato come principale modo di attraversamento del fiume fin dal XIV secolo, collega oggi North Shields e South Shields, ed è gestito e sovvenzionato dalla NEXUS, rappresentando l'ultimo servizio storico sopravvissuto.

Nel 2009/10, 476.000 spostamenti sono stati effettuati mediante tale servizio di traghetto, che per altro è collegato alla rete di trasporto pubblico principale sia di metropolitana che autobus, in corrispondenza delle due omonime fermate di North Shields e South Shields.

CAPITOLO 4

SVILUPPO DEL SISTEMA DI SUPPORTO ALLE DECISIONI DSS

4.1 *Descrizione architettura*

Considerando come punto di partenza la pianificazione del territorio e dei trasporti, esistente e futura, dell'area oggetto di studio, che può variare dall'intero territorio urbano a quello più ampio regionale, si è progettata la struttura e i componenti che fanno parte del PT-DSS. L'elemento di partenza è costituito dalla *what if question*, domanda o problema operativo che un dirigente di un'azienda di trasporto si propone di risolvere per aumentare il profitto e ottimizzare le prestazioni della sua azienda dei trasporti o un dirigente di una PTE che deve migliorare i servizi di trasporto in ambito urbano. In entrambi i casi non si tratta di un tecnico, ma semplicemente di un amministrativo che non è a conoscenza dei meccanismi, dei problemi specifici e, pertanto, non possiede una visione globale del sistema trasporti, per cui si richiede necessaria la presenza di un esperto nel settore dei trasporti che sappia tradurre la domanda fatta dai manager in parametri operativi e input per un modello matematico. La decisione scaturisce dalle esigenze degli operatori e va testata considerando diversi parametri, e a seguito di un processo iterativo potrebbe risultare inadeguata e la misura da attuare potrebbe essere un compromesso tra lo scenario desiderabile e quello realmente attuabile. Quindi, il cuore del sistema è costituito da diversi modelli, come si evince dalla Figura 14, in cui vengono illustrati gli elementi costitutivi del sistema.

In particolare, in questo sistema sono stati considerati il *Network performance model* (NPM), lo strumento di valutazione e il modello inferenziale. Per l'NPM si fa riferimento in maniera più diffusa nel paragrafo successivo. L'NPM restituisce in output diversi parametri che vengono aggregati dall'*assessment tool*, per ottenere gli input per il modello inferenziale. All'interno di quest'ultimo modello ci possono essere differenti modelli a seconda di quale sia il criterio scelto per valutare la domanda *what if* iniziale. Ad esempio, potrebbe essere utilizzato un mo-

dello economico per la minimizzazione dei costi di servizio o un modello per la determinazione degli orari dei servizi. In questo caso si è deciso di utilizzare un modello per il calcolo delle emissioni di CO₂ prodotte dal trasporto pubblico.

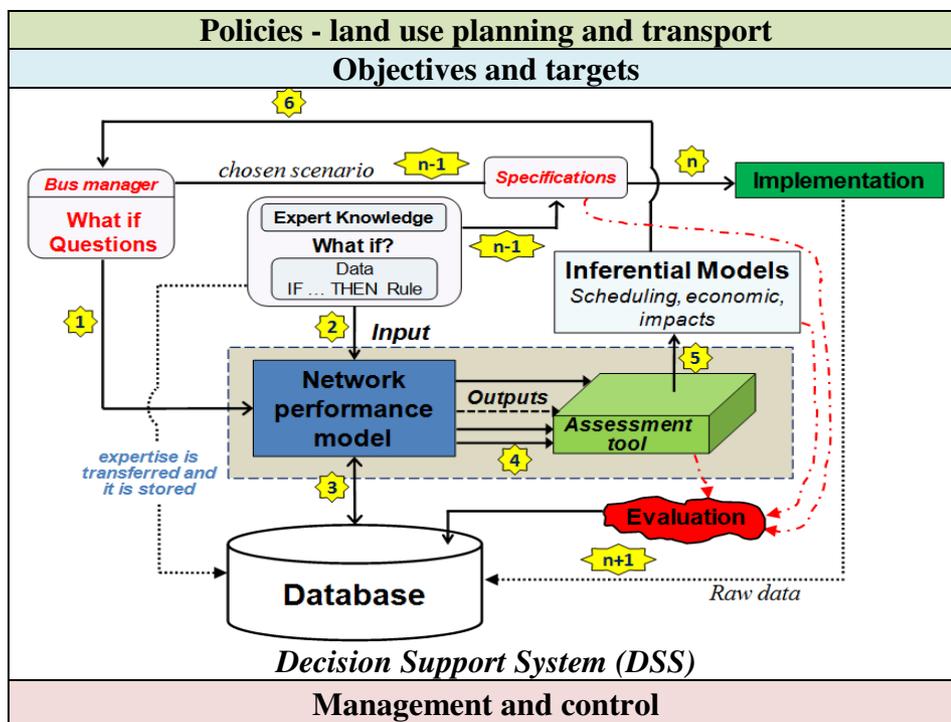


Figura 14 – Diagramma concettuale dell'architettura del Decision Support System

Il database fornisce all'NPM tutti i dati e le informazioni richieste. I dati sono sia di tipo storici che in tempo reale, forniti dai sistemi di monitoraggio automatici e manuali, o fanno parte del database del TPM. Questi dati permettono al NPM di quantificare lo stato della rete per lo scenario di base (*Base Case*, BC).

Mentre per quanto riguarda gli scenari da analizzare, vengono definite dagli stessi operatori autobus, ad esempio richiedendo l'attivazione di un nuovo servizio, o la modifica di un servizio di trasporto poco redditizio, consultandosi con l'esperto. Lo scenario viene definito e analizzato tramite il modello NPM. Gli output del modello vengono messi a confronto con quelli del scenario base tramite il modello di valutazione e viene calcolato l'impatto secondo differenti parametri (economico, ambientali, effetti sulla tabella di marcia, ecc.) tramite il modello inferenziale. In questa maniera, differenti scenari sono messi a confronto e

un'analisi comparativa viene presentata al dirigente dell'azienda di trasporti che potrà scegliere la soluzione più appropriata, in consulta con l'esperto, per il rispetto degli obiettivi posti nella fase iniziale del processo decisionale. A seguito della scelta, lo scenario viene implementato con le specifiche tecniche del caso e, conseguentemente, monitorato per essere aggiunto al database e arricchire l'expertise del DSS.

Le informazioni utilizzate dal PT-DSS sono conservate nel database, di cui è rappresentato un schema in Figura 15.

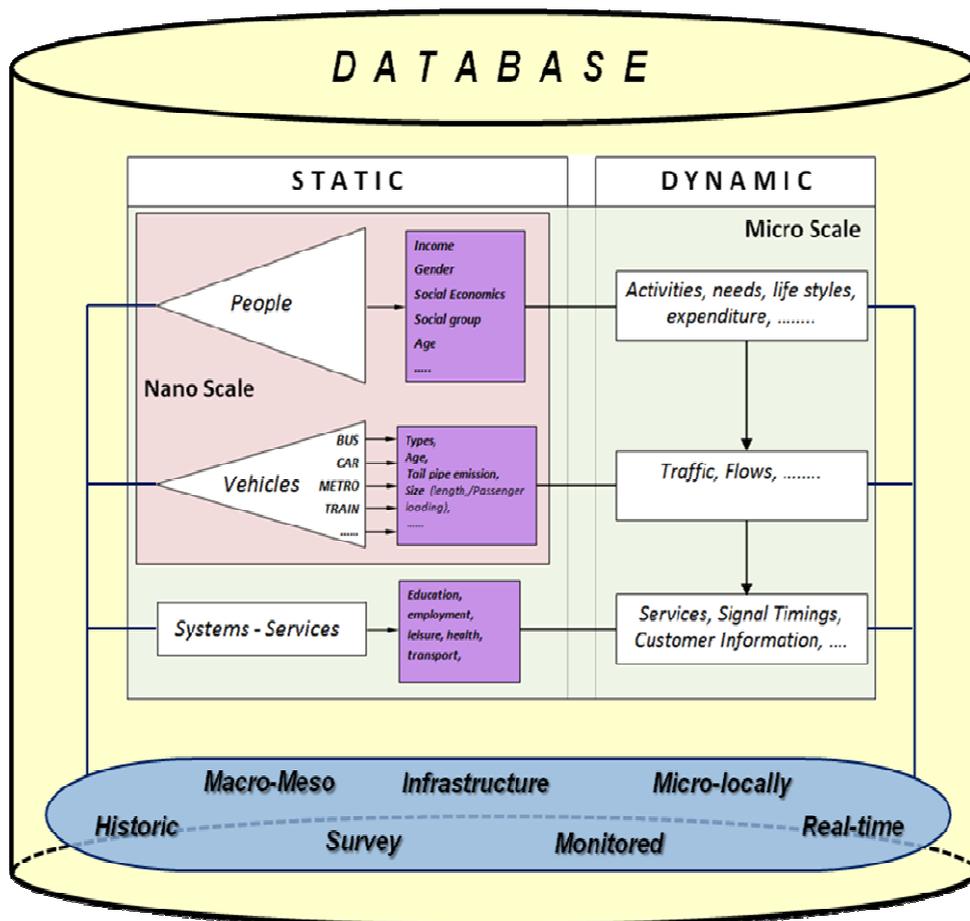


Figura 15 – Struttura concettuale per il database utilizzato nel sistema di supporto alle decisioni PT-DSS

Il primo livello è caratterizzato da un set di dati che include le informazioni sulla rete (strade, traffico, uso del suolo, economia) sulla storia dell'area oggetto di studio (dati relativi a piani precedenti, layout della rete, tratte servite, ecc.) e quelle informazioni ottenute dalle campagne di raccolta dati che servono per validare e calibrare il modello.

Tutti i dati sono conservati nel database, che può essere diviso per comodità in due sezioni, quella statica, i cui dati non cambiano per un intervallo di tempo considerevole, e quella dinamica, la cui validità temporale è limitata a brevi archi temporali. Nella parte statica si possono distinguere, inoltre, i dati relativi a grandi aree (livello macro e meso), quelli relative alla scala micro, dove è importante conoscere le esigenze della popolazione e il parco veicolare in circolazione, e quelli relativi ai sistemi e servizi. La componente dinamica è legata alle caratteristiche demografiche, alle attività della popolazione e quindi gli spostamenti che generano traffico e impatti, a causa del quale si devono mettere in atto misure di mitigazione e monitoraggio. Conseguentemente, l'utilizzo del trasporto pubblico, l'occupazione dei mezzi, il livello dei flussi di traffico, le informazioni fornite all'utenza e la congestione vengono considerati come input del modello NPM.

4.2 *Il Network Performance Model (NPM)*

Il modello NPM (Figura 16) definisce i parametri da utilizzare nei modelli successivi. La performance del servizio di trasporto è strettamente correlata al tempo di viaggio, che è costituito dalla sommatoria dei tempi di percorrenza tra le fermate (*run time*) e dalla sommatoria dei tempi spesi alla fermata per la salita discesa dei passeggeri (*dwel time*). Mentre il tempo di viaggio è spesso calcolato da modelli, come il CUBE (TPM), l'affidabilità del servizio è legata al tempo di viaggio, e dipende dal ritardo causato dal traffico e dalla congestione nella rete. Per cui, per calcolare la prestazione di un autobus sulla rete è necessario essere a conoscenza dei ritardi lungo la tratta causati dal *dwel time*.

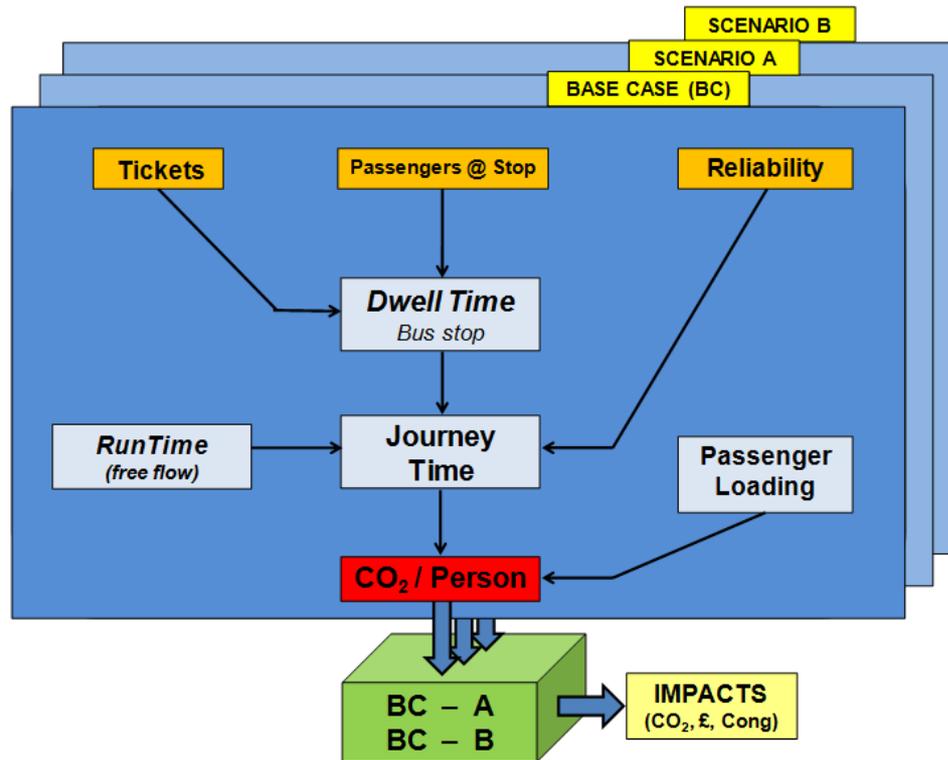


Figura 16 – Schema del Network performance model

Questo parametro rappresenta un tempo allocato alla fermata e dipende dal numero di passeggeri in salita e discesa. Nel caso preso in esame, più specificamente, dipende dalla composizione dei passeggeri in salita e dal numero di passeggeri in discesa, poiché, come sarà ampiamente presentato nel capitolo 6, questo tempo varia in relazione al passeggero imbarcato, cioè in base alla tipologia di biglietto utilizzato.

Una volta calcolato il tempo di viaggio per un servizio di trasporto in base alla composizione dei passeggeri, si è altresì a conoscenza dell'occupazione dell'autobus al variare della fermata. Per cui usando il modello di calcolo della CO₂ si è in grado di stabilire qual è la CO₂ per passeggero a seconda dei vari scenari da implementare, che verranno in seguito messi a confronto con l'assessment tool.

4.3 Il modello di calcolo per le emissioni inquinanti

4.3.1 Premessa

I principali inquinanti, comunemente associati con le emissioni da traffico, sono il biossido d'azoto (NO_2), il particolato (PM_{10}), il monossido di carbonio (CO), il biossido di zolfo (SO_2), l'Ozono (O_3) e i VOC. Oltre questi esiste un altro gas che negli ultimi anni è andato assumendo sempre più un ruolo di inquinante in quanto fondamentale nella lotta contro i cambiamenti climatici che contribuisce in modo determinante alla creazione di effetto serra importante sia su base regionale che globale perché è direttamente correlato con il riscaldamento globale. Tale gas è l'anidride carbonica (CO_2) che come è noto non viene emesso dal solo traffico veicolare, ma direttamente o indirettamente da qualsiasi mezzo o sistema produca o usi energia, ma anche degli esseri viventi, piante incluse.

Dal protocollo di Kyoto ad oggi i vari paesi della comunità Europea si sono posti degli obiettivi di riduzione delle emissioni di CO_2 per contrastare le conseguenze negative prodotte. Ad esempio in Inghilterra lo Stern Report ha stabilito che si dovrebbero ridurre le emissioni di CO_2 del 60% entro il 2050, tale riduzione è stata ulteriormente elevata all'80% dal recente Climate Change Act del 2008.

In particolare tale onere è stato affidato alle varie unità locali, dai Comuni alle Regioni che dovranno intervenire mediante regolamenti e politiche volte ad intervenire sul controllo ambientale, gestione delle reti ed infrastrutture e riduzione della congestione e delle emissioni da traffico veicolare.

In tale contesto si colloca l'esigenza di dover quantificare in termini di emissioni di CO_2 , anche le alternative e soluzioni che via via vengono individuate al fine di valutarle non solo economicamente ma anche ambientalmente, sia in termini di qualità dell'aria (quantificazione delle emissioni di NO_x , PM_{10} , CO , SO_2) che di emissioni di CO_2 .

In questa sezione pertanto si descrive l'approccio e i risultati della costruzione di due strumenti, uno a scala macro (*modello a rete*) e uno a scala locale (*modello micro*) per la quantificazione delle emissioni di CO_2 , ossia capaci di fornir-

re quelle informazioni fondamentali per poter valutare in modo più completo le diverse ipotesi di scenario proposte.

4.3.2 *Il modello a rete*

Al fine di quantificare le emissioni di CO₂ a livello di rete si è implementato nel TPM un “*carbon emissions calculator*”, seguendo alcune linee guida contenute nel WebTAG Unit 3.3.5.

Ovviamente per ogni scenario il calcolo avviene indipendente e con il modello è possibile settare delle operazioni di confronto fra differenti scenari al fine di poter valutare gli impatti (positivi o negativi) in termini di CO₂ per un determinato intervento o politica.

Il modello creato calcola le emissioni ad un livello di arco, in questo modo è anche possibile individuare, mediante l’interfaccia grafica del CUBE, le intersezioni o corridoi che contribuiscono maggiormente agli incrementi/decrementi, ovvero nel caso di variazioni globali non significative, individuare se a livello di dettaglio si siano verificati incrementi e decrementi significativi che nel contesto globale tuttavia non producono grandi variazioni di emissioni di CO₂.

I dati utilizzati come input per il *carbon emissions calculator*, ovviamente sono output vari della simulazione globale, come flussi veicolari, tipologie, velocità, ecc. che sono integrati nel calcolatore assieme ai coefficienti di emissione forniti dall’NAEI (National Atmospheric Emissions Inventory), tali coefficienti sono specificatamente determinati per fornire le emissioni di CO₂ in funzione della velocità d’arco, al variare della composizione veicolare e teoricamente hanno un dettaglio che si spinge alla singola classe e tipologia veicolare (es. Car <2.5 t, Petrol, 1400-2000 cc, Euro 4).

Nel dettaglio i dati di output in uscita dal modello e utilizzati come input nel modello di calcolo sono:

- *Lunghezza dell’arco* (km);
- *Velocità dell’arco* (km/h), che tiene conto di eventuali ritardi alle intersezioni, variando a seconda del periodo temporale di simulazione e che rappresenta la migliore approssimazione alla velocità media nell’arco;

- *Fussi veicolari* (veicoli/ora), per ciascun periodo di simulazione e suddivisi in dettaglio di Auto, Mezzi leggeri e pesanti e Autobus.

I dati desunti dal National Atmospheric Emissions Inventory e utilizzati nel calcolo sono stati:

- *Fattori di emissione veicolare*, che corrispondono alle emissioni per veicolo-chilometro, basati su tipo di veicolo e velocità;
- Proiezione della composizione veicolare nazionale, che consente di ottenere un dettaglio spinto al tipo di veicolo, tipo di alimentazione e cilindrata del motore, per gli anni dal 1996 al 2025;

Il database delle emissioni veicolari fornisce delle equazioni che permettono di calcolare le emissioni di carbonio (CO₂) per veicolo-chilometro che presentano la seguente forma matematica:

$$L = a + b * V + c * V^2 + d * V^3$$

Dove:

- *a, b, c e d* sono coefficienti (dipendenti dalla tipologia del veicolo),
- *V* è la velocità espresso in km/h
- *L* è il risultato ossia le emissioni di CO₂ prodotte.

Il TPM fornisce risultati in termini di flussi di traffico in un periodo di 12 ore (dalle 7am alle 7pm) relativamente a un giorno tipo lavorativo della settimana. Utilizzando l'equazione sopra descritta, le emissioni di carbonio possono essere stimate per tali periodi temporali e successivamente scalate in modo da derivare le emissioni per il periodo notturno (dalle 7pm alle 7am), così da ottenere l'intera giornata e successivamente derivando i valori per il finesettimana (sabato e domenica) e per i giorni festivi, sono proiettate su base settimanale, mensile e annuale.

Ovviamente per poter stimare le emissioni relative ai periodi non modellati valori di flusso, velocità e composizione veicolare sono necessari.

I fattori per scalare tali dati dal caso del giorno settimanale lavorativo tipo agli altri periodi, sono stati derivati dai dati rilevati nell'area modellata. In particolare Automatic Traffic Counts (ATC) ottenuti per varie tipologie di strade e siti di rilievo sono stati utilizzati per stimare i fattori di conversione per determinare i volumi di traffico a 12-ore e 24-ore di un giorno settimanale tipo, 12-ore (7am – 7pm) di un giorno non lavorativo e 24-ore per lo stesso.

Nonostante, come previsto, si sono osservate delle variazioni nei dati esaminati, sono stati estratti dei valori rappresentativi per i quattro casi:

- Il flusso di 24-ore di un giorno settimanale tipo sono equivalenti a 1,24 volte il valore di 12-ore (valore dato dalla somma dei flussi veicolari dei picchi del mattino e pomeriggio e dall'inter peak, già disponibili nel TPM);
- Il flusso di 24-ore di un giorno non lavorativo tipo sono pari a 0,77 volte il valore riferito a 24-ore di un giorno settimanale tipo;
- Similmente 12-ore di un giorno non lavorativo tipo sono pari a 0,77 volte il valore delle 24-ore.

Si sono anche analizzati i profili di traffico per i giorni non lavorativi, utilizzando simili set di dati da ATC, per poter individuare i periodi con flussi più elevati. Così si sono identificate le stesse fasce orarie individuate nel TPM, AM (7am – 10am), IP (10am – 4pm), e PM (4pm – 7pm), per le quali si sono individuate le seguenti proporzioni:

- AM 0,21 volte il flusso delle 12-ore;
- IP 0,54 volte;
- PM 0,26 volte.

Per i periodi non simulate e ricadenti nella fascia oraria 7am – 7pm, la velocità dei veicoli, utilizzata per il calcolo delle emissioni di carbonio, è

stata ottenuta dalle curve velocità-flusso associate ad i vari archi utilizzando i valori medi di flusso per tale periodo.

Per i valori relativi ai periodi notturni, sono stati utilizzati i valori di velocità a deflusso libero (così come specificato sempre nelle curve velocità-flusso).

Infine, attraverso i dati provenienti da siti ATC, dotati di loop detector capaci di classificare i flussi transitati, sono state derivate le percentuali della composizione veicolare rispettivamente in auto, LGV e HGV per i periodi notturni e i periodi riferiti a giorni non lavorativi.

Il calcolo mediante il modello sviluppato permette di ottenere le emissioni annuali (in tonnellate) per l'intera area studio, ma anche suddividendo il risultato per classe veicolare. Le stime sono state effettuate considerando 253 giorni lavorativi e 112 giorni non lavorativi inclusi i festivi.

Ovviamente i risultati ottenuti sono disponibili anche a livello di dettaglio del singolo arco in termini di emissioni totali (eCO_2) ed emissioni per chilometro (eCO_2/km).

Ovviamente l'ultimo parametro (eCO_2/km) permette di standardizzare le emissioni sull'intera rete tra i vari archi e di identificare eventuali hot-spot dove elevati valori di emissioni per km sono calcolate e stampati su mappe GIS in CUBE.

In Figura 17 è riportato lo schema del Carbon Calculator sviluppata nel TPM model.

CAPITOLO 5

IL MACROSIMULATORE CUBE E IL MODELLO TPM

5.1 *Il macrosimulatore CUBE*

Il macrosimulatore CUBE è una piattaforma di modellazione delle reti di trasporto, composto da due parti principali CUBE Base e le Librerie Funzionali.

CUBE Base, che rappresenta l'interfaccia utente, è composta da 3 sezioni:

- *Application Manager* : lo strumento per lo sviluppo del modello (flow-chart)
- *Scenario Manager*: lo strumento per l'applicazione del modello a molteplici Scenari
- *CUBE GIS*: lo strumento per la manipolazione e visualizzazione di tutti i dati in formato testuale, tabellare e grafico

Le Librerie Funzionali, che rappresentano l'insieme dei moduli integrativi che permettono di migliorare la modellazione, sono:

- *VOYAGER*
- *ANALYST*
- *AVENUE*
- *CARGO*
- *DYNASIM*

La scelta del modello CUBE è stata effettuata sia per motivi di tipo modellistico che per la disponibilità nel territorio di svariati dati di input necessari ad effettuare sulla base modellistica di riferimento i processi di calibrazione e validazione. In particolare i principali aspetti modellistici che il CUBE offre, rispetto ad altri modelli, sono:

- La modalità “diagramma a blocchi” offerta da Application Manager che rende semplice lo sviluppo e la lettura della struttura modellistica e il collegamento ai dati di scenario del modello, sia in input che in output. Infatti, il diagramma

a blocchi crea automaticamente il flusso modellistico e grazie all'interfaccia grafica l'utente può chiaramente comprendere le relazioni tra i diversi step del modello, così come documentare il modello.

- Tutte le funzionalità modellistiche sono incluse nella versione “Standard” di CUBE, senza la necessità di dover acquistare funzioni aggiuntive ogni qualvolta si decida di modificare il modello.
- CUBE è in grado di gestire reti di dimensione praticamente illimitata. Non ci sono limiti pratici nel numero di nodi (1 milione), archi (1 milione), zone (32.000), linee di trasporto pubblico (illimitate), tipologie tariffarie (fino a 2000 combinazioni), classi di utenti (illimitate).
- CUBE include un linguaggio di scripting/programmazione che permette allo sviluppatore di creare modelli totalmente “personalizzati” e sviluppati con qualunque tipologia di funzione matematica (per esempio per le funzioni di costo generalizzato, le funzioni di congestione, la percezione dei vari elementi di uno spostamento di trasporto pubblico). Il linguaggio di programmazione consente allo sviluppatore di includere nel processo modellistico metodologie sviluppate autonomamente, come ad esempio metodologie per l'analisi della domanda o per la ripartizione modale.
- È possibile includere nel flusso modellistico programmi esterni così da sfruttare le caratteristiche di CUBE a livello di interfaccia e gestione degli scenari.
- CUBE offre uno specifico strumento, chiamato Scenario Manager, che rende estremamente semplice lo sviluppo e la costruzione di scenari alternativi. Chi usa il modello può analizzare, editare e modificare i dati specifici di ogni scenario tramite un'interfaccia grafica molto intuitiva. E' possibile ad esempio creare rapidamente una struttura di scenari e sotto scenari organizzata per orizzonti temporali e varianti progettuali.
- Oltre alla possibilità di usare sistemi GIS standard per analizzare e visualizzare i risultati prodotti dal modello, CUBE propone un sistema di reportistica integrato. L'utente può definire delle librerie di report predefiniti, contenenti tabelle, diagrammi, torte, ecc., che permettono di effettuare analisi dei risultati di singoli scenari di modello, o comparazioni tra scenari distinti.

Il CUBE nel presente studio è alla base dello sviluppo del modello Transport Planning Model (TPM) che oltre a rappresentare la domanda di spostamento (matrici OD) e l'offerta di infrastrutture (reti viarie, sistemi di Trasporto Pubblico) può rappresentare, attraverso alcuni parametri, la reazione dei viaggiatori alle modifiche (che si desidera testare): indagini "revealed preference" e "stated preference" e differenti livelli di dettaglio appropriati per l'offerta (reti e sistema di zone), la domanda (motivi di spostamento, ...) e i periodi temporali (periodi di picco, di morbida ovvero l'intera giornata).

Nel caso specifico del TPM è stato sviluppato un modello a quattro stadi (generazione, distribuzione, scelta modale e assegnazione) utilizzando la piattaforma Cube TRIPS di Citilabs [70]. Si ritiene opportuno illustrare brevemente alcune caratteristiche dei moduli che hanno trovato impiego nella realizzazione del modello TPM: MVNET, MVMODL, MVHWAY, MVMOD, ME, GRAPHICS, MVPUB.

MVNET

Il programma MVNET è destinato alla costruzione del grafo di rete in un formato binario leggibile da TRIPS. Il dato d'ingresso è costituito dal file degli archi, in cui vengono associate le caratteristiche fisiche di ognuno di essi; coerentemente con le scelte effettuate si devono assegnare i valori numerici ai parametri relativi alle proprietà della rete. Il programma MVNET verifica la congruenza delle informazioni introdotte e indica, nel caso di errori, laddove intervenire.

MVMODL

Il programma MVMODL è uno dei più importanti di TRIPS perché racchiude moltissime funzionalità. L'applicazione in questo lavoro si è limitata a sfruttarne la potenzialità per creare un formato di matrice leggibile dal programma a partire da un file d'ingresso riportante i valori degli spostamenti tra le diverse zone, identificate dai codici di riferimento dei relativi centroidi.

MVHWAY

L'assegnazione della domanda di trasporto alla rete si effettua con l'ausilio del modulo di assegnazione denominato MVHWAY che consente di simulare l'interazione fra la domanda di trasporto e la rete stradale. Questo programma permette di impostare il modello di assegnazione che si vuole applicare: in particolare sono disponibili le opzioni "Tutto o niente", Burrell, ossia il modello Probit, e Dial, corrispondente al Logit. Si definisce anche la funzione di costo generalizzato, con l'immissione dei parametri relativi al tempo, alla distanza ed eventualmente anche ai pedaggi e ai tempi di svolta nelle intersezioni.

MVMOD

MVMOD è un modulo utilizzato per associare alla matrice originaria il relativo livello di confidenza sottoforma di una nuova matrice, detta appunto matrice delle confidenze, che viene unita a quella immessa nel programma in un unico file.

ME

ME è il modulo di stima delle matrici di TRIPS: grazie ad esso si possono aggiornare matrici preesistenti con l'ausilio dei volumi di traffico registrati dalle sezioni di conteggio. Il più importante dei dati di ingresso è la matrice originaria (prior matrix), che contiene oltre alla matrice da aggiornare anche la matrice delle confidenze ad essa associata, ed eventualmente una matrice dei costi con la relativa matrice delle confidenze. Altro dato di partenza sono i dati dei conteggi di traffico con l'indicazione, accanto ad ogni sezione, anche della relativa collocazione nel grafo di rete. Infine, è da collegare al modulo ME anche il file dei percorsi, creato da MVHWAY. Risultato dell'elaborazione è la matrice OD aggiornata che si ottiene mediante il metodo della massima verosimiglianza.

Graphics

Graphics è un modulo che permette di visualizzare il grafo di rete e, se collegato al modulo MVHWAY, può essere impostato in modo da visualizzare i risultati dell'assegnazione.

MVPUB e MVPUBJ

MVPUB e MVPUBJ sono due moduli sviluppati ad hoc per il modello TPM, che operano nel processo iterativo di domanda-offerta e che permettono di trasferire ad ogni iterazione le informazioni relative alla velocità sull'arco e al ritardo alle intersezioni dal modello della rete di trasporto stradale a quello della rete di trasporto pubblico, permettendo così di rendere più realistico il costo dello spostamento e quindi la quantificazione della domanda associata al mezzo pubblico operante nella stessa rete di trasporto stradale, nonché permettono di aiutare il modello nel processo di convergenza.

5.2 Descrizione del TPM

Il TPM è stato commissionato dalla provincia del Tyne and Wear, alla società Jacobs Consultancy, con l'obiettivo di sviluppare un sistema di modellazione moderno, completo e multi-modale capace di rappresentare realisticamente e di valutare accuratamente la maggior parte dei cambiamenti comportamentali e le dinamiche della domanda di trasporto al variare delle politiche di trasporto in modo da poter valutare i futuri scenari trasportistici e le differenti politiche da applicare nell'area metropolitana del Tyne and Wear (T&W) e parte della Regione del Nord Est.

Per tale motivo il TPM incorpora i seguenti elementi di modellazione e valutazione:

- Un matrice OD realistica;
- Un'adeguata segmentazione della domanda;
- Rete viaria di trasporto e rete di trasporto pubblico (TP) validate;
- Modello incrementale di domanda (Incremental demand choice model);
- Capacità di tener conto di previsioni di variazioni esterne di popolazione, occupazione e numero di auto private attraverso la stima della domanda latente futura.

Il TPM è basato sui principi e linee guida del WebTAG del DfT ed in particolare ha adottato la recente versione pubblicata 3.10 (Variable Demand Model-

ling), ai requisiti del Transport Innovation Fund (TIF) e alla versione 3.12 pubblicata relativa al Road User Charging (RUC).

Il TPM è un moderno modello a quattro stadi che modella generazione, distribuzione, scelta modale e assegnazione. Le reti di trasporto stradale e pubblico sono state sviluppate per modellare tre periodi (picco del mattino, periodo di morbida e picco del pomeriggio). Le origini e le destinazioni (matrici di base) sono state generate da dati di uso del territorio e demografici sia a livello locale che nazionale. I dati relativi agli spostamenti per lo scenario di base (2005) sono stati verificati e arricchiti attraverso delle indagini condotte su strada e da interviste condotte ai residenti, che hanno fornito informazioni relative agli spostamenti e al motivo dello spostamento, permettendo di migliorare il processo di stima delle matrici così da ottenere un'elevata corrispondenza tra i flussi modellati e quelli rilevati attraverso i rilievi manuali condotti annualmente nella provincia del T&W.

Il TPM è un modello di trasporto multimodale a larga scala che, per la sua complessità, ha richiesto lo sviluppo di vari sottomodelli. Ciascun sottomodello è un sistema costituito da input, processi e sotto modelli base del CUBE, e da strumenti per la calibrazione e validazione. I principali sottomodelli sono:

- *Base matrix*: Matrici di base (dati, procedure e modelli usati nello sviluppo e validazione della matrice di base)
- *Highway supply model*: Modello di offerta della rete di trasporto stradale (incluso il modello di parcheggio)
- *Public Transport supply model*: Modello di offerta della rete di trasporto pubblico
- *(Demand) Choice model*: Modello di scelta modale (incluso il Park & Ride)
- *Latent demand model*: modello di domanda latente

Di seguito in Figura 18 si rappresenta graficamente lo schema generale a blocchi del modello TPM:

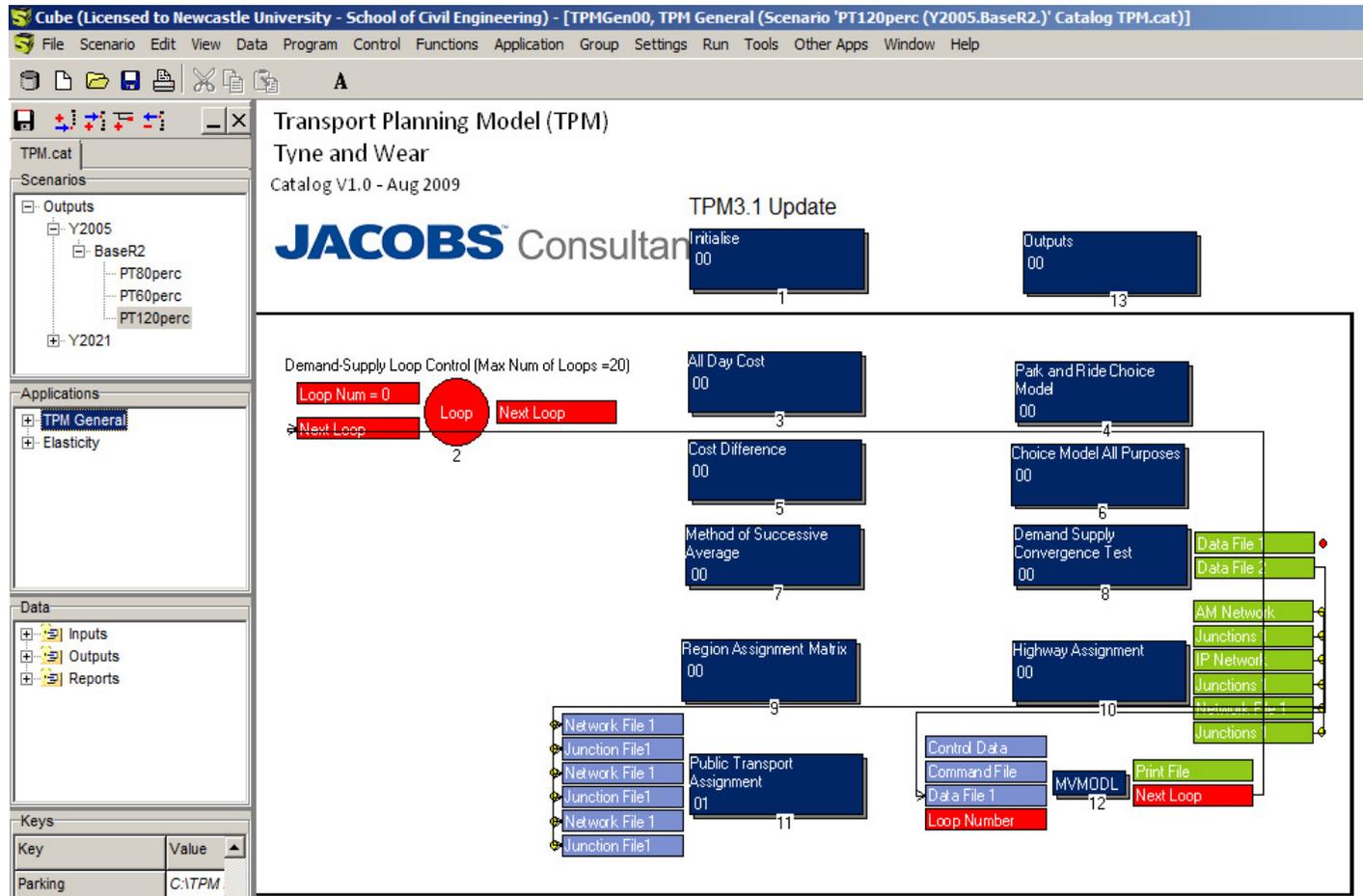


Figura 18 – Struttura a blocchi del modello TPM

5.2.1 Area studio modellata dal TPM

Il TPM geograficamente rappresenta gran parte del Nord Est inglese ed in particolare l'area metropolitana del Tyne & Wear (T&W) e buona parte della regione del North East. L'area coperta dal modello include i cinque distretti del T&W (Gateshead, Newcastle, North Tyneside, South Tyneside e Sunderland), le aree circostanti e, con sempre minore dettaglio, le aree limitrofe e il resto della Gran Bretagna. L'area studio è relativa inoltre all'area "Travel to Work" individuata dal censimento e l'area di influenza è relativa agli spostamenti nel Tyne & Wear per motivi di lavoro.

Il modello TPM è composto da 504 zone, 469 delle quali sono all'interno dell'area studio. Le zone dalla 1 alla 388 sono all'interno della Provincia del Tyne and Wear e rappresentano l'area principale del modello con il maggior dettaglio; le zone dalla 389 alla 469 coprono la restante parte dell'area *Travel to Work*, così come definita dai dati censuari, ed assieme all'area principale costituiscono l'area studio; le zone dalla 470 alla 504 rappresentano l'area esterna. Le sole eccezioni sono rappresentate dalle aree centrali di Newcastle, Gateshead e Sunderland dove le aree di output sono generalmente più larghe delle zone di traffico ideali e sono suddivise in due o più zone ciascuna.

In Figura 18 con la campitura verde sono rappresentate le zone all'interno dell'area del Tyne & Wear, mentre la campitura viola rappresenta le zone dell'area di margine (Buffer Area) nella restante parte dell'area (Area Studio) interessata da spostamenti per lavoro. Le aree rimanenti, campite in rosa, rappresentano l'area esterna ben visibile osservando la Figura 19.

Uno dei principali vantaggi del TPM, rispetto ad altri modelli, è che l'intero modello, incluso il modello di scelta modale, opera allo stesso livello di dettaglio (con 504 zone). Ciò rappresenta un significativo miglioramento in termini di accuratezza del modello, ottenendo un dettaglio maggiore e consistenza dei risultati. Ad esempio, solo recentemente per il modello di Londra, l'LTS Modelling system, si è deciso di passare dal sistema a due livelli di zonizzazione

all'implementazione di un maggiore dettaglio zonale per l'intera area modellata, come avviene per il Tyne and Wear.

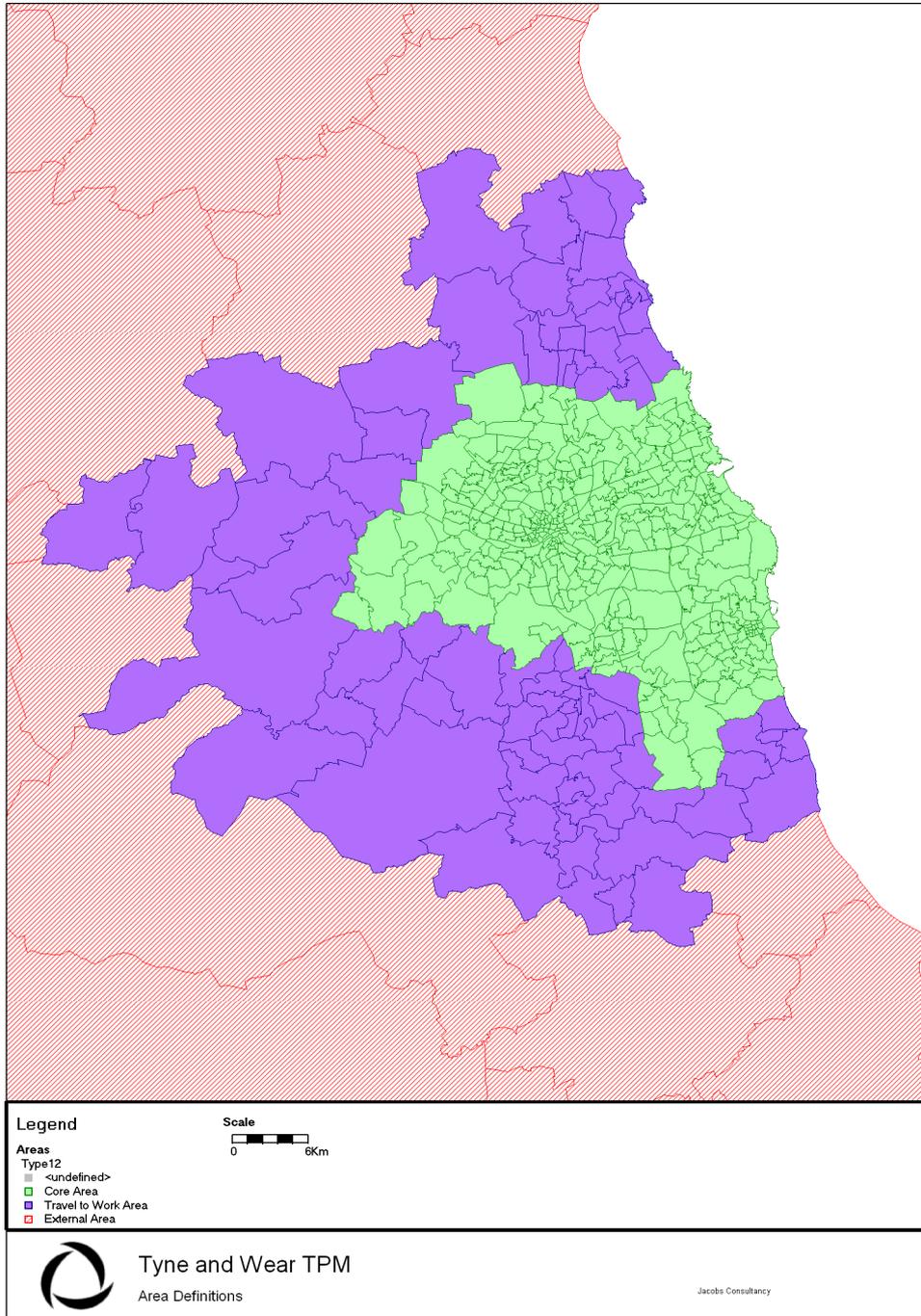


Figura 19 – Area studio del TPM e sistema zonale

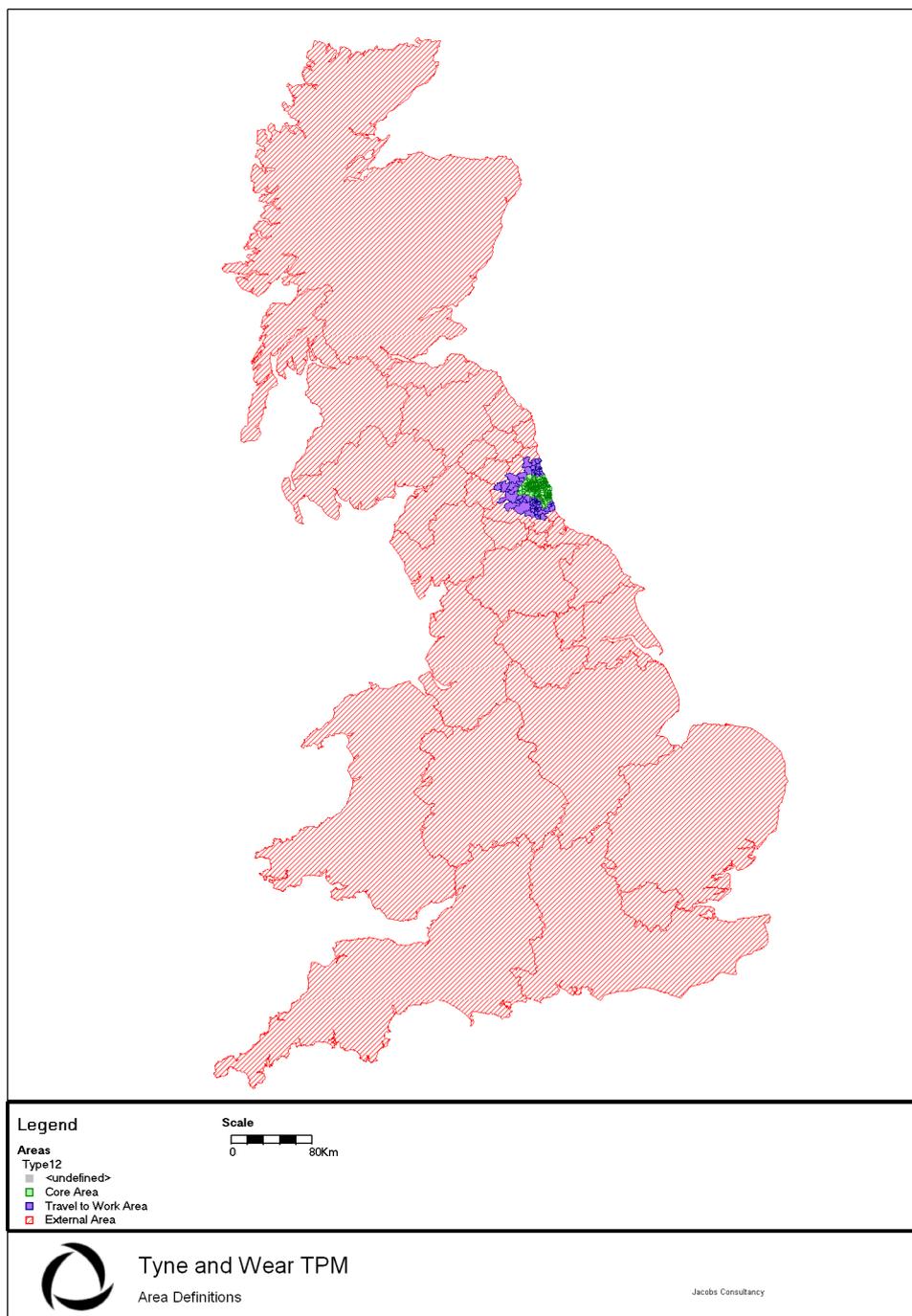


Figura 20 – Sistema zonale esterno del TPM

5.2.2 *Caratteristiche dei principali componenti del TPM*

Matrici degli spostamenti

Le matrici in TPM forniscono informazioni per l'anno di riferimento (2005) relativamente alle caratteristiche di spostamento associate alle differenti categorie di persone, motivi dello spostamento, modi di trasporto e differenti periodi della giornata.

Ciò ha determinato la generazione di un elevato numero di matrici di spostamento, che sono state ulteriormente suddivise in due categorie rispettivamente associate a spostamenti bidirezionali “spostamento da e verso casa” (“tours” – associate alle matrici di Produzione/Attrazione (P/A)) e spostamenti unidirezionali (matrici Origine-Destinazione (O-D)), infine la maggior parte delle matrici è espressa in spostamenti per persona, ma in alcuni casi sono stati espressi in spostamenti per veicolo.

Le matrici di base degli spostamenti forniscono, inoltre, il “pivot” per i modelli di previsione di tipo “incrementale”, come raccomandato dal WebTAG, e rappresentano componenti essenziali del modello TPM.

Segmentazione delle matrici di spostamento

Le matrici sono state nel dettaglio suddivise nelle seguenti categorie:

- 9 motivi di spostamento (incluso un pass per gli utenti “concessionary”);
- 4 livelli di disponibilità di auto propria;
- 3 Modi di trasporto;
- 4 periodi temporali;
- e, nel caso di motive di spostamento da casa, 2 Direzioni.

Tabella 9 – Segmentazione per motivi di spostamento

Codice	Descrizione
HBWK	Home based Work
HBED	Home based Education
HBSHN	Home based Shopping Non-Concessionary (age <60)
HBOTN	Home based Other Non-Concessionary (age <60)
HBSHC	Home based Shopping Concessionary ² (age 60+)
HBOTC	Home based Other Concessionary (age 60+)
HBEB	Home based Employers Business
NHBE	Non home based Employers Business
NHBO	Non home based Other

Tabella 10 – Disponibilità di auto propria

Codice	Descrizione
CA1	No Cars Available
CA2	2+ Adults and 1 Car
CA3	1 Adult and 1+ Cars
CA4	2+ Adults and 2+ Cars

Tabella 11 – Classificazione modale

Codice	Descrizione
HW	Car Driver and Car Passenger
PT	Bus, Rail and Metro
NM	Walk and Cycle (non-motorised)

² La tariffa per i “Concessionary” è disponibile nel T&W per coloro con più di 60 anni.

Tabella 12 – Periodi temporali modellati nel TPM

Codice	Descrizione	Definizione
MP	Weekday MP peak period	0700 to 0959
IP	Weekday Inter peak period	1000 to 1559
EP	Weekday EP peak period	1600 to 1859
OP	Weekday Early or Late	0000 to 0659 and 1900 to 2359

Tabella 13 – Classificazione delle direzioni

Codice	Descrizione
HOUT	Home based Outbound
HRTN	Home based Return

Tabella 14 – Veicoli pesanti

Codice	Descrizione
LGV	Light Goods Vehicles
HGV	Heavy (and Medium) Goods Vehicles

Processo sintetico per la generazione delle Matrici degli spostamenti

Le produzioni e attrazioni iniziali sono state derivate dalle relazioni contenute nel National Travel Survey (NTS). All'interno dell'area studio le informazioni locali su popolazione e numero di lavoratori sono state utilizzate per disaggregare le macro relazioni geografiche. L'indagine sugli spostamenti delle famiglie nel T&W è stata utilizzata per verificare che i dati nazionali fossero adeguatamente consistenti con i valori locali.

In Tabella 15 sono riepilogate le principali origini dei dati e il loro uso principale.

Tabella 15 – Origine dei dati utilizzati nello sviluppo del modello

Origine dei dati	Generazione della matrice	Modifica della matrice	Stima della matrice	Validazione del Supply Model
National Trip End Model (NTEM) trip ends	✓			
National Car Ownership Program (NATCOP2)	✓			
2001 Census population and household data	✓			
1991 TEMPRO Forecasts	✓			
Local Household Interview Data	✓			
Roadside Interview (RSI) Surveys, 2001 to 2005		✓		✓
PT Continuing Monitoring Intercept Survey (CMS)		✓		✓
Highway Manual Classified Counts (MCC), 2001 to 2005			✓	✓
Car Journey Time Surveys, ITIS				✓

Il modello della rete di trasporto

Il modello highway del TPM calcola il tempo di viaggio assegnando nei rami della rete il carico di veicoli, poiché l’assegnazione produce variazioni nel tempo di viaggio e quindi al costo di ogni singolo arco il processo di assegnazione procede iterativamente al fine di raggiungere una soluzione di equilibrio (Wardrop) in cui tempo di viaggio e flussi assegnati siano consistenti.

Il tempo di viaggio è calcolato attraverso le seguenti due componenti:

- Le curve di deflusso, usate per determinare il tempo di viaggio lungo i rami
- Ritardo alle intersezioni determinato dalle informazioni relative alla capacità dell’intersezione e ai volumi di svolta

Il dettaglio delle intersezioni varia all’interno dell’area studio, infatti, nell’area principale (*core area*, definita in 5.2.1) che rappresenta l’area ove testare le risposte alle varie politiche e scenari, le principali intersezioni (v. Figura 21) sono state modellate con maggiore dettaglio; in queste intersezioni le informazioni relative alla semaforizzazione sono state inserite ipotizzando tempo fisso del verde.

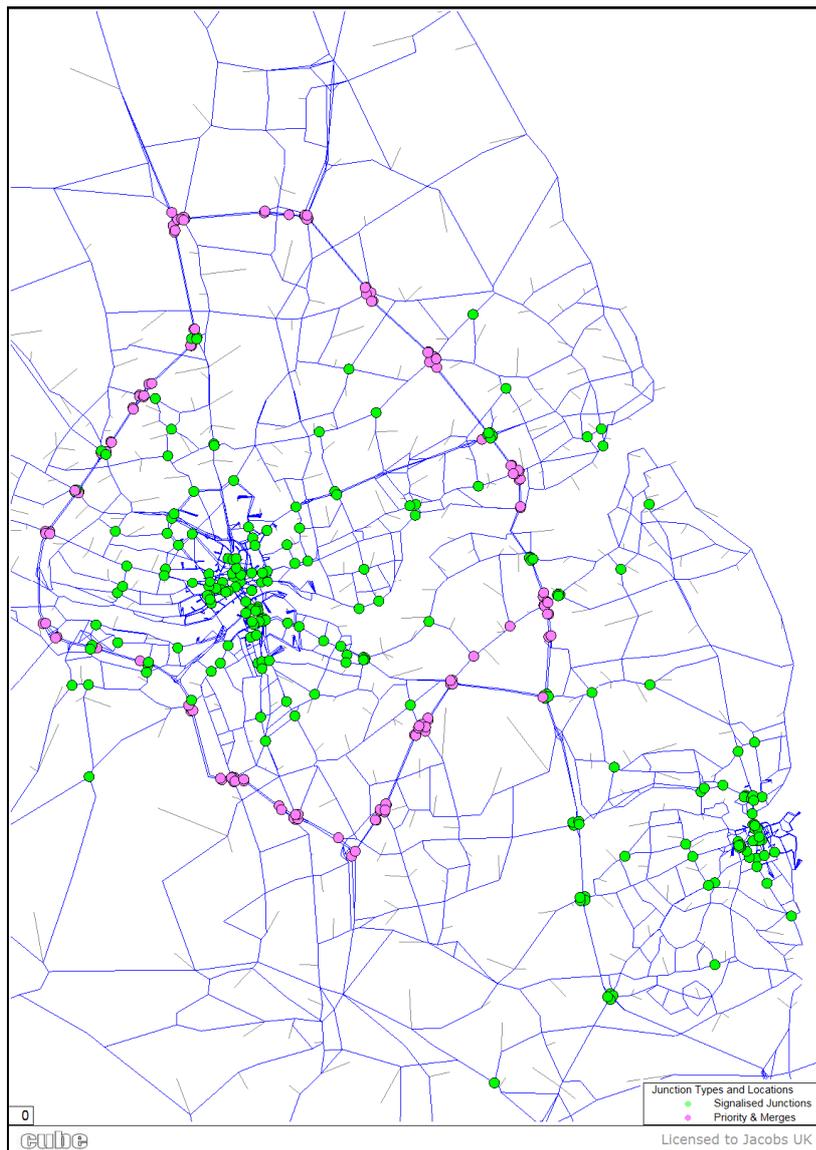


Figura 21 – Principali intersezioni modellate in dettaglio

Di seguito in Tabella 16 si riportano le principali informazioni relative al modello Highway del TPM, mentre in Tabella 17 è riportato il dettaglio delle differenti classi di utenza implementate nel modello.

Tabella 16 – Principali statistiche del TPM Highway Model

n° di zone	504
n° di nodi	4213
n° di rami	9113 (8902 Internal, 211 External)
n° di tipologie di rami	32
n° di intersezioni modellate	333 (136 Priority Junctions and 197 Signal Controlled junctions)
n° di corsie preferenziali	172 priority lanes (100 No car lanes, 72 Bus lanes)
n° di rami pedonali / parcheggio	1394
n° di classi di veicoli per l'assegnazione	5: Car In-work Short-term Parking, Car Non-work Short-term Parking, Car Non-work Long-term Parking, Light Goods Vehicles, Heavy Goods Vehicles

Tabella 17 – Classi di utenza nell'Highway Model

Parking	Vehicle	Coefficienti	Choice Model Segments	Classi di utenza
Short Term	Car	In-Work	Home Based Employers Business	In Work Short Term (IWST)
	Car		Non Home Based Employers Business	
	Car	Non-Work	Home Based Shopping	Non Work Short Term (NWST)
	Car		Home Based Other	
	Car		Non Home Based Other	
Long Term	Car		Home Based Work	Non Work Long Term (NWLTL)
	Car		Home Based Education	
n/a	LGV			LGV
n/a	HGV			HGV

Il modello di trasporto pubblico

Il modello di trasporto pubblico sviluppato nel TPM è stato costruito per modellare i seguenti modi di trasporto: autobus, Metro, traghetto, treno e pedonale, anche qui utilizzando un dettaglio che si va riducendo con l'allontanarsi dall'area metropolitana del Tyne & Wear.

La copertura geografica e la zonizzazione per questo modello sono gli stessi utilizzati nel modello della rete di trasporto (Highway model).

Di seguito in Tabella 18 si riportano le principali informazioni relative alla rete modellata.

Tabella 18 – Principali statistiche del modello di trasporto pubblico

n° di zone	504
n° di nodi	5: Rail, Metro, Bus, Coach, Ferry,
n° di linee (servizi)	816 (MP)
n° di fermate	2,109 (MP)

L'insieme dei servizi di Trasporto pubblico deriva dalla combinazione di autobus, metro, traghetto e servizi ferroviari come riassunto in Tabella 19.

Tabella 19 – Principali statistiche dei servizi di trasporto pubblico

Periodo	Modo	Numero di servizi	Estensione in chilometri
MP	Autobus locali	785	16,567
	Metro	8	1,147
	Treno [Locale]	12	950
	Treno [Lunga percorrenza]	9	4,816
	Traghetto	2	3
IP	Autobus locali	734	18,056
	Metro	4	866
	Treno [Locale]	23	917
	Treno [Lunga percorrenza]	15	2,458
	Traghetto	2	3

Periodo	Modo	Numero di servizi	Estensione in chilometri
EP	Autobus locali	616	15,822
	Metro	8	1,042
	Treno [Locale]	12	954
	Treno [Lunga percorrenza]	9	4,816
	Traghetto	2	3

Anche per il modello di assegnazione del Trasporto Pubblico sono state adottate delle matrici origine-destinazione suddivise in tre periodi temporali:

- Morning Peak (MP): 07:00 – 10:00 average hour;
- Inter-peak (IP): 10:00 – 16:00 average hour;
- Evening Peak (EP) 16:00 – 19:00 average hour.

Mentre la domanda di trasporto stradale è basata su differenti motivi di viaggio, quella del trasporto pubblico (TP) è basata sull'aggregazione di tali motivi, così i primi 9 segmenti di domanda sono accorpati in 3 differenti classi di utenza basate sul valore del tempo e riduzioni tariffarie per i concessionary.

Il modello di trasporto pubblico applica la scelta modale sulla base dei coefficienti di costo generalizzato, in particolare per gli spostamenti su TP si è fatto uso di due gruppi di coefficienti, basati sui casi in cui gli spostamenti sono lavoratori business ('in work') o non lavoratori business ('non-work').

Un'ulteriore suddivisione è effettuata in funzione che gli utenti siano concessionary (e.g. OAP pass gratuiti) o no, permettendo di applicare differenti coefficienti a utenti concessionari e non. Tuttavia, tale divisione è applicata solamente agli spostamenti per acquisti e altro (svago), in quanto la restante parte degli spostamenti non hanno una percentuale significativa di utenti concessionary. Le differenti classi di utenza sono illustrate in Tabella 20.

Tabella 20 – Aggregazione delle classi di utenza del modello di scelta modale

Trip	Utenti	Segmentazione del modello di scelta modale	Classi di utenza
Non Work	Concessionary	Home Based Shopping (concessionary) Home Based Other (concessionary)	Concessionary Non-Work (NWC)
	Non-Concessionary	Home Based Work Home Based Education Home Based Shopping (non-concessionary) Home Based Other (non-concessionary) Non Home Based Other	Non-Concessionary Non-Work (NWNC)
In Work		Home Based Employer's Business Non Home Based Employer's Business	Non-Concessionary In-Work (IWNC)

Nella costruzione della rete di trasporto pubblico su gomma sono stati modellati tutti i nodi delle linee autobus come fermate, ciò è stato dettato dall'ipotesi che nell'area urbana la distanza media tra le fermate è tra i 300 e i 500 metri e verificando su alcune linee campione si è calcolato che il numero complessivo di fermate modellato rispetto a quello reale comporta mediamente un errore $\pm 10\%$, ritenuto per la scala di modellazione utilizzata.

Le informazioni relative agli operatori di trasporto pubblico sono state ottenute da fonti comunali e dalla NEXUS.

Per la codifica delle linee è stato sviluppato un programma che ha permesso di associare a ciascuna linea del database le informazioni relative a nome, frequenza, tariffa adottata, ecc.

Tale dettagliata definizione dei modi ed operatori ha permesso di modellare inoltre eventuali doppie tariffazioni per trasbordi (es. da autobus a metro o da l'operatore Go Ahead ad Arriva) che invece non si applicano nel caso di stesso operatore al quale comunque viene associata una penalità per il tempo di trasbordo, come anche per il caso precedente.

La Tabella 21 riporta il modo ed operatore codificati nel modello di trasporto pubblico del TPM. Ciascun servizio autobus è rappresentato dalla combinazione di modo e operatore (e.g. Bus – Arriva).

Tabella 21 – Modo / Operatore

Modo	Descrizione
1	Arriva Bus
2	Stagecoach Bus
3	Go Ahead Bus
4	Altri Bus regolari
5	Bus Scuola / Lavoro
6	Pullman a lunga percorrenza
7	Metro
8	Treno [Locali]
9	Treno [Lunga percorrenza]
10	Traghetto

La struttura del modello di assegnazione del trasporto pubblico è rappresentata in Figura 22, che può essere riassunta in tre grandi processi:

- Costruzione della rete, che comprende la conversione del tempo di viaggio dalla rete stradale (highway) alla rete di trasporto pubblico, incremento del tempo di viaggio dovuto al ritardo alle intersezioni e la costruzione del file delle linee di trasporto pubblico;
- Assegnazione di ciascuna classe di utenza includendo i costi degli utenti non-concessionary;
- Manipolazione dei costi da restituire al modello di domanda.

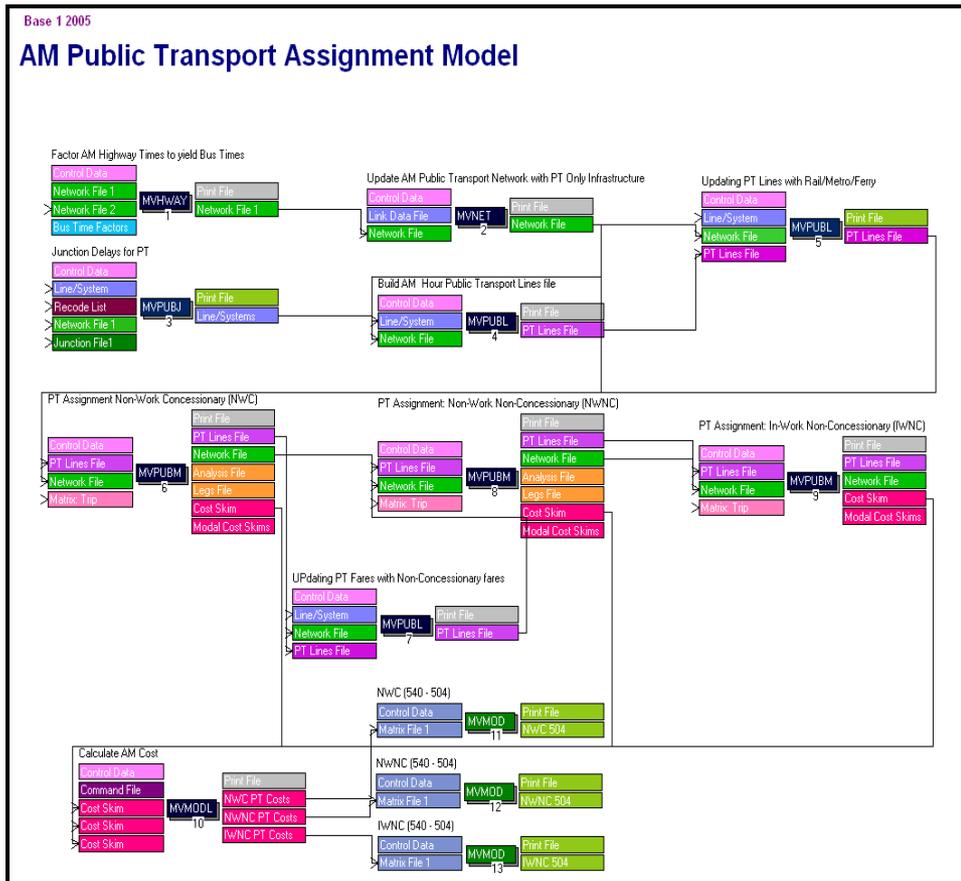


Figura 22 – Layout a blocchi del modello di assegnazione del trasporto pubblico

Il modello del Trasporto Pubblico è parte integrante del TPM e pertanto sviluppato utilizzando la piattaforma CUBE/TRIPS. I tre principali processi descritti precedentemente sono a sua volta suddivisibili in altri tredici sub modelli, rappresentati in Figura 22 ed elencati di seguito:

Box 1: MVHWAY – Utilizza il tempo della rete Highway per stimare la velocità degli autobus;

Box 2: MVNET – Aggiorna la rete corrente con reti fisse (treno e traghetto) e rete pedonale – il file viene fornito dall’operatore;

Box 3: MVPUBJ – Trasferisce il ritardo alle intersezioni della rete Highway alla rete di trasporto pubblico;

Box 4: MVPUBL – Costruisce il file dei servizi autobus nel file delle linee di TRIPS PT – il file dei servizi autobus viene fornito dall'operatore;

Box 5: MVPUBL – Aggiorna la rete autobus con le reti fisse (treno e traghetto) e rete pedonale – il file viene fornito dall'operatore;

Box 6: MVPUBM (1) – Assegna gli spostamenti alla rete e ai servizi utilizzando i parametri di costo generalizzato per la classe di spostamenti Concessionary non lavoratori;

Box 7: MVPUBL – Aggiorna il file di rete di trasporto pubblico con le tariffe per i non-concessionary – il file delle tariffe viene fornito dall'operatore;

Box 8: MVPUBM (2) – Assegna gli spostamenti alla rete e ai servizi utilizzando i parametri di costo generalizzato per la classe di spostamenti lavoratori non-Concessionary;

Box 9: MVPUBM (3) - Assegna gli spostamenti alla rete e ai servizi utilizzando i parametri di costo generalizzato per la classe di spostamenti non Concessionary non lavoratori;

Box 10: MVMODL – Stima il costo generalizzato per essere utilizzato nel modello di domanda;

Box 11: MVMODL – Modulo di manipolazione della matrice di costo, che si ripete per i box 12 e 13

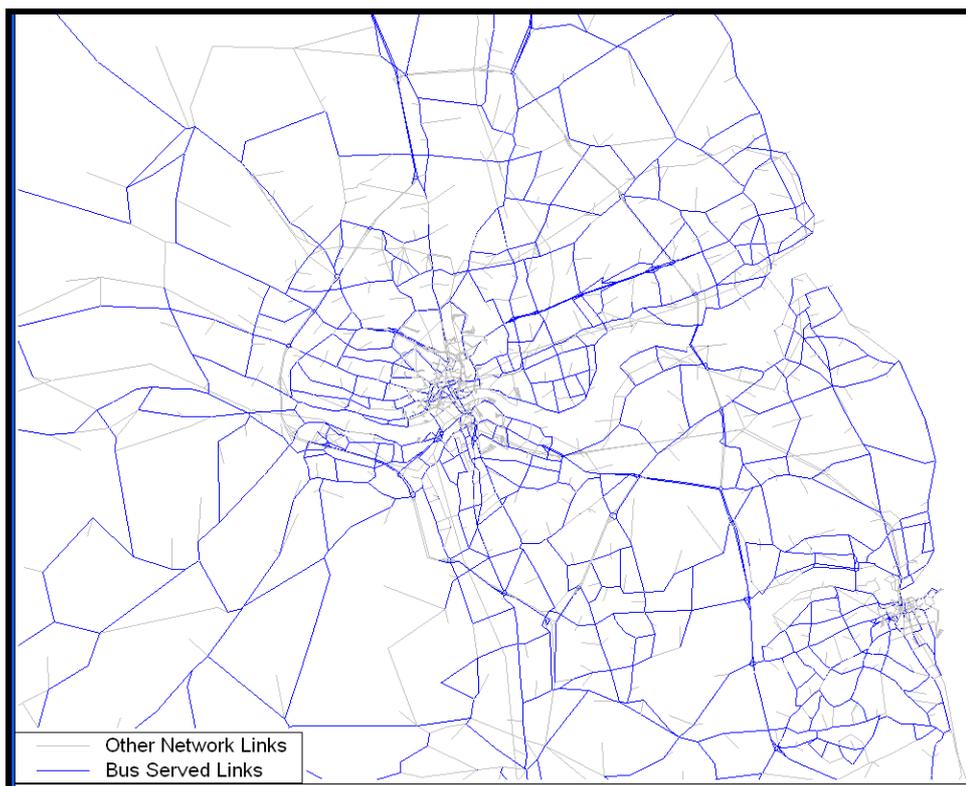


Figura 23 – Dettaglio della rete del servizio autobus

Di seguito in Figura 24 sono rappresentate la rete della metropolitana (in rosso) e il collegamento fluviale (Ferry, in verde), in blu è rappresentata la rete viaria e in grigio i collegamenti con le zone di origine e destinazione.

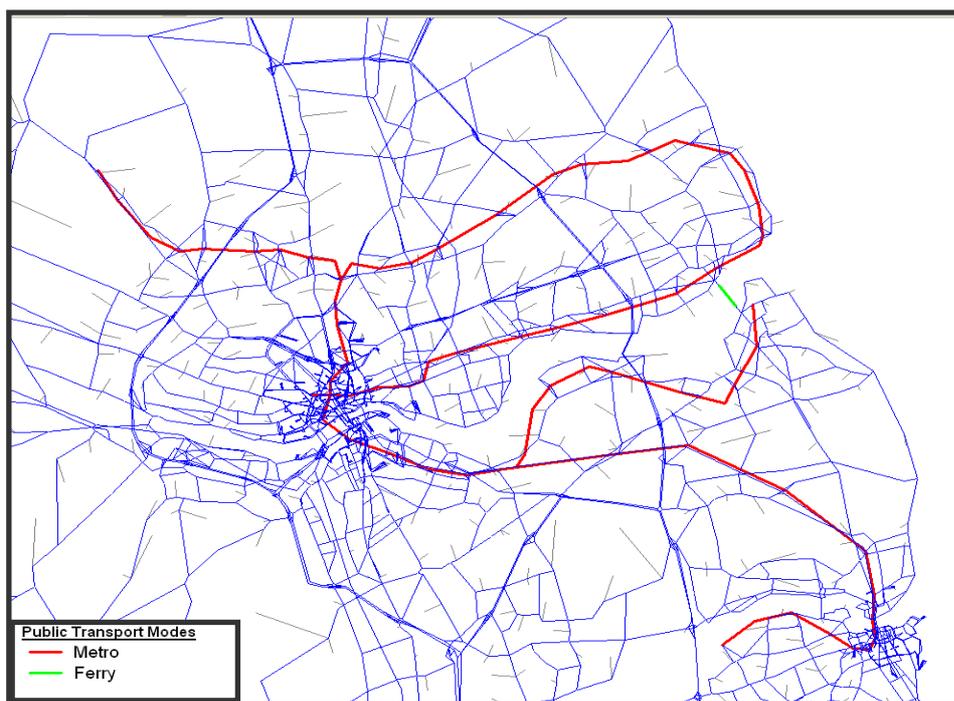


Figura 24 – Rappresentazione della reti della Metro e del collegamento fluviale

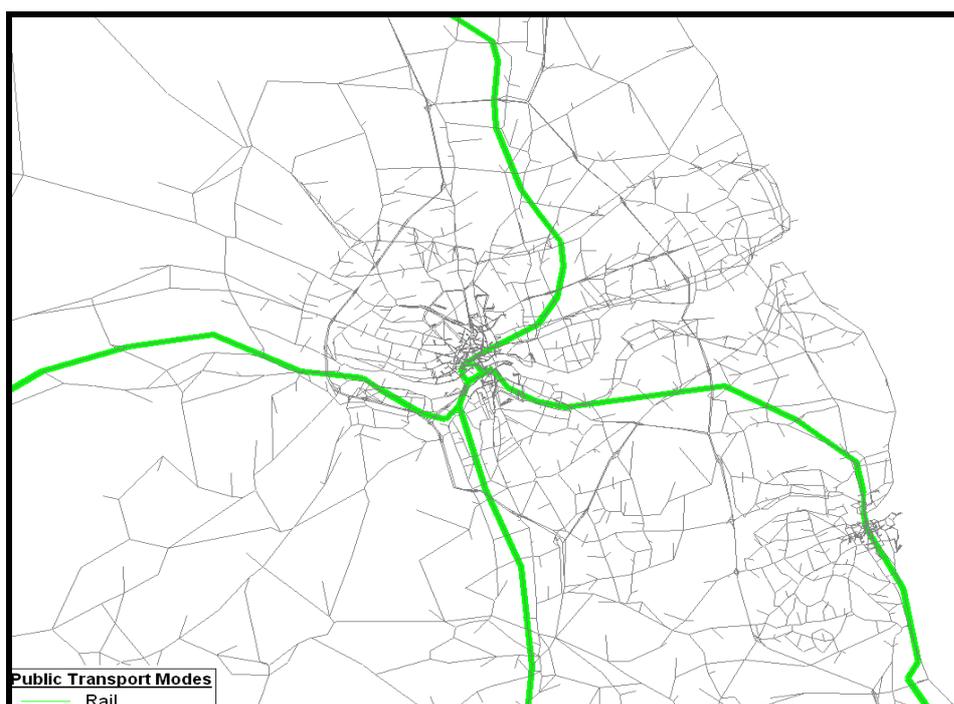


Figura 25 – Rete di trasporto ferroviario (provincia del Tyne & Wear)

5.3 Il ruolo del TPM nella ricerca

Come già introdotto nella sezione precedente, l'uso del il TPM è stato scelto perché essendo un prodotto sviluppato da Jacobs per il consorzio di Comuni del Tyne and Wear, finanziato da fondi pubblici, rappresenta uno strumento utilizzabile gratuitamente per fini di ricerca. Inoltre, la natura e base del TPM, essendo stato sviluppato nella piattaforma CUBE/TRIPS ha permesso di effettuare modifiche sia alla struttura esistente, sia di implementare nuovi moduli al fine di poter modellare e testare gli scenari che nel corso della ricerca sono stati individuati e suggeriti (v. sezione 7.1).

Il TPM, inoltre, essendo stato sviluppato su un'area vasta estesa oltre il confine geografico del Tyne and Wear, ma con un dettaglio nella zona centrale urbana, dove sono state effettuate le indagini dei casi studio, ha permesso di:

- poter verificare l'accuratezza del modello,
- individuare le carenze e quindi ipotizzare delle soluzioni sia a macro sia a micro scala, in particolare per il calcolo dei tempi di percorrenza e delle emissioni di biossido di carbonio,
- valutare le modifiche alla domanda, ma soprattutto all'assegnazione dei flussi al variare degli scenari simulati;
- determinare la ripartizione modale per i vari scenari, che sono stati testati prima su larga scala e poi implementati a scala locale utilizzando il modello di dettaglio per il calcolo delle emissioni.

Infine, la possibilità, durante la ricerca, di ricevere supporto dal gruppo Jacobs in termini di chiarimenti e specificazioni indispensabili per la corretta interpretazione dei parametri e dei dati originariamente adottati e soprattutto per ricevere utili pareri durante l'implementazione delle ipotesi di scenario.

5.4 Definizione dello scenario di base

5.4.1 Generalità

Lo scenario di base è stato riferito all'anno 2005, in quanto la maggior parte delle informazioni disponibili erano riferite a tale anno o come nel caso del censimento al 2001. Le principali fonti da cui sono state ottenute tali informazioni sono le seguenti:

- Censimento 2001
- Comuni e Provincia del Tyne and Wear
- NEXUS
- Rilievi manuali e automatici
- Indagini sulle famiglie

Per un dettaglio maggiore si rimanda alla tabella 9 mentre i principali parametri utilizzati per la modellazione sono presentati nel paragrafo seguente.

5.4.2 Parametri specifici di scenario

L'equazione del costo generalizzato utilizzata nel modello di assegnazione del trasporto pubblico è la seguente:

$$\text{Costo Generalizzato} = \left(\frac{\text{Fare}}{\text{VoT}} \right) + C_{IVT} \times IVT + C_{wait} \times WaitTim + C_{Wlk} \times WlkTim + IntPen$$

dove:

- Fare = valore monetario della tariffa;
- VoT = Valore del tempo (v. Tabella 22);
- IVT = In Vehicle Time;
- WaitTim = Tempo di attesa;
- WlkTim = Tempo a piedi;
- IntPen = Penalità di interscambio;
- C = Coefficienti

Il modello di assegnazione del trasporto pubblico è costituito da due distinte fasi: costruzione e aggiornamento dei percorsi.

Un aspetto importante è che nel TPM non è possibile al momento tenere conto della capacità dei veicoli operanti in ciascuna linea ovvero sono ignorati gli effetti di sovraffollamento, ma considerando attraverso l'analisi degli output è possibile identificare quelle linee sovraffollate, è possibile valutare le criticità e individuare per gli scenari futuri quali sono gli impatti sulla consistenza del parco veicolare di trasporto pubblico e quanti servizi o frequenze aggiuntive dovrebbero essere progettati, verificati ed implementati. La costruzione e aggiornamento dei percorsi è basata solamente sul costo generalizzato come definito all'inizio del paragrafo.

5.4.3 Parametri di costo generalizzato

I parametri del costo generalizzato sono rappresentati dai differenti componenti dell'equazione generale di costo (sezione 5.4.2). In questo paragrafo si descrivono in dettaglio le scelte dei valori di coefficienti e pesi utilizzati.

Valore del tempo

I valori del tempo sono stati utilizzati per convertire in costo generalizzato il tempo di viaggio complessivo attraverso la formula precedentemente illustrata.

I valori del tempo per il trasporto pubblico sono stati direttamente derivati dalla guida WebTAG Unità 3.5.6 del Department for Transport (DfT). tuttavia, essendo che la guida fornisce i valori per l'anno 2002, sono stati derivati quelli per lo scenario di base 2006 utilizzando i fattori di crescita forniti dalla guida (WebTAG 3.5.6 Tab. 3).

I valori sono riportati in Tabella 22 assieme alla classe di utenza per la quale sono stati utilizzati.

Tabella 22 – Valore del tempo per lo scenario di base

Classe di utenza	Descrizione TAG	Valore del Tempo 2002 (£ per ora)	Valore del Tempo 2006 (£ per ora)
Concessionary Non-lavoratori	Non-lavoratori – Altri	4.46	4.73
Non Concessionary Non-lavoratori	Non-lavoratori – Commuting	5.04	5.34
Non Concessionary lavoratori	lavoratori - Media	22.11	23.79

Fonte: TAG Unit 3.5.6, Tabella 3.

Nota: Il valore del tempo per ciascuna classe di utenza adottato per le varie fasce orarie è identico.

Implementazione delle tariffe del trasporto pubblico

Le tariffe sono state fornite e codificate in formato di “tabelle tariffa” all’interno del file delle linee del servizio di trasporto pubblico, con differenti tabelle a seconda del modo/operatore e periodo di simulazione.

Il principale scopo è stato quello di permettere di testare le tariffe differenti fra i vari operatori, così da influenzare la scelta del percorso durante l’assegnazione nella rete di trasporto pubblico.

Le tariffe sono applicate quindi al modello di assegnazione e trasferite al modello di scelta modale come parte di un costo generalizzato complessivo. La tariffa di un servizio quindi è derivata utilizzando una “tariffa di salita” in congiunzione con la tariffa chilometrica che verrà applicata alla distanza da percorrere per raggiungere la destinazione calcolata.

La “tariffa di salita” è assunta fissa per tutti i modi. La tariffa chilometrica è calcolata secondo il costo individuato dalla tabella giornaliera delle tariffe (Tabella 23) a cui sono associate le tariffe per ciascun modo e operatore di trasporto pubblico individuati. Ciò comporterà, per ogni cambio di modo o operatore lungo il percorso un nuovo costo di salita³ e una nuova tariffa chilometrica applicata.

³ Non vi è integrazione tariffaria/smart card nel Tyne & Wear

Una rappresentazione dell'andamento della tariffa basata sulla distanza, basata sull'autobus, così come è stato implementato nello scenario base del modello TPM, è riportata in Figura 26.

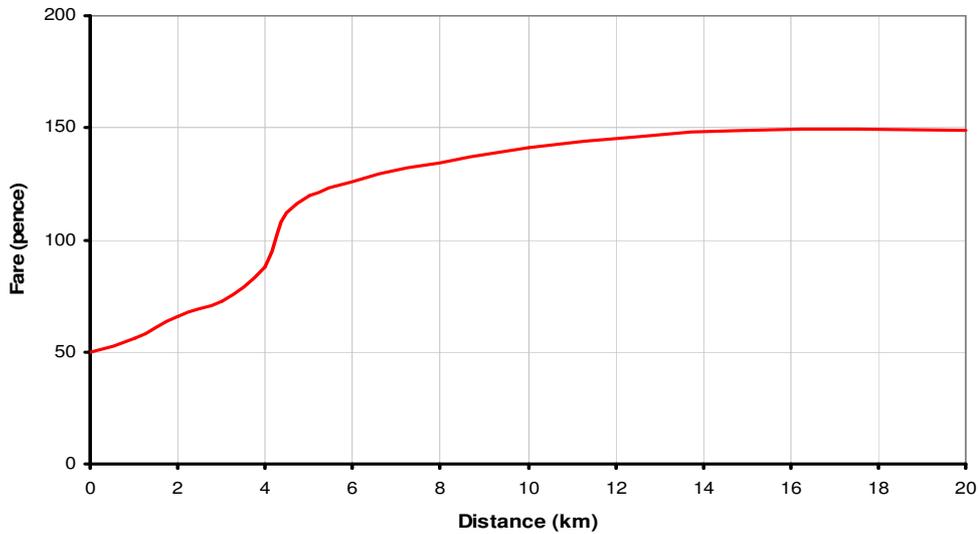


Figura 26 – Rappresentazione dell'andamento della tariffa basata sulla distanza (basata sull'autobus)

In Tabella 23 è mostrata la tabella completa delle tariffe per ogni modo e operatore di trasporto pubblico incluso il “costo” di salita e la tariffa associata alla distanza in chilometri. Le tariffe per le distanze intermedie sono ottenute mediante interpolazione.

Tabella 23 – Tabella giornaliera delle tariffe

(prezzo = pence)	Distanza in Km								
Modo e operatore Trasporto pubblico	Costo	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	10.0	15.0	20.0
Arriva	50	56	66	73	88	120	141	149	149
Stagecoach	42	58	65	75	90	111	139	145	145
Go Ahead	49	54	63	72	91	111	137	168	168
Other Buses	49	54	63	72	91	111	137	168	168
NEXUS	42	58	65	75	90	111	139	145	145
Express Coach	150	159	168	177	186	195	225	254	290
Local Rail	150	159	168	177	186	195	225	254	290

LD Rail	150	159	168	177	186	195	225	254	290
Metro	50	89	114	133	151	156	180	200	200
Ferry	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Anche gli utenti Concessionary sono stati rappresentati e vengono descritti nel paragrafo seguente.

Schema per utenti Concessionary

L'attuale politica dei Trasporti nel Tyne & Wear (T&W) permette ai passeggeri che hanno i requisiti di usufruire della tariffa concessionari che consente di viaggiare gratuitamente nella rete di trasporto pubblico del T&W e in teoria di tutta la Nazione, nei periodi di Inter-peak ed Evening-peak (mentre pagheranno la tariffa piena durante il Morning-peak). Tuttavia, nel 2005 e in precedenza, la politica era quella di far pagare ai passeggeri concessionary 50 centesimi durante i periodi di Inter-peak ed Evening-peak (tale tariffa è definita pre-free concessionary fare), mentre all'esterno del T&W si applicava la tariffa piena durante l'intera giornata.

Essendo lo scenario di base del TPM riferito al 2005, entrambe le politiche devono essere implementate nel modello.

Una procedura specifica pertanto è stata sviluppata per poter applicare tale tariffazione. La tariffa di £ 0,50 (convertita in VOT equivalenti per ciascuna classe di utenza concessionary) è stata aggiunta al costo generalizzato finale per ciascuno spostamento effettuato all'interno dell'area del T&W. La matrice ottenuta è stata aggiunta al costo generalizzato finale dell'anno di riferimento, solamente per i periodi IP e EP, influenzando solamente il modello di scelta e non l'assegnazione.

Invece per gli scenari futuri il modello standard del CUBE/TRIPS viene applicata all'assegnazione del trasporto pubblico con spostamenti gratuiti per gli utenti concessionari sempre soltanto per i periodi IP e EP.

In-Vehicle Time

Il coefficiente di “*In-Vehicle Time*” è usato solitamente per riflettere / spiegare le differenze negli attributi di qualità (comfort, qualità del percorso, della guida, etc.) tra i diversi modi. Questi attributi non sono rappresentati in nessun altro parametro del costo generalizzato e la loro influenza è rappresentata in genere da coefficienti (pesi) del tempo trascorso a bordo del veicolo.

I valori di tali coefficienti sono stati derivati durante la calibrazione del modello di trasporto pubblico. Un fattore di 1,20 è stato applicato agli autobus locali, mentre 0,90 alla metropolitana e tutti gli altri pari ad 1,00. Una rappresentazione di tutti gli altri fattori utilizzati è riportata in Tabella 24.

Tempo di attesa

Il tempo di attesa è stato stimato utilizzando la regola di distribuzione degli arrivi di tipo uniforme per frequenze minori o uguali a 20 minuti, quindi graficamente una retta con inclinazione 0,50; mentre per frequenze superiori ai 20 minuti e fino ad un’ora si è considerata una curva (v. Figura 27) che porta fino ad un tempo di attesa massimo di 15 minuti corrispondente ad un’ora di frequenza, per tener conto dei servizi meno frequenti (es. servizi terziari/tertiary routes o servizi regionali). Per frequenze superiori il modello assumerà un tempo di attesa di 15 minuti.

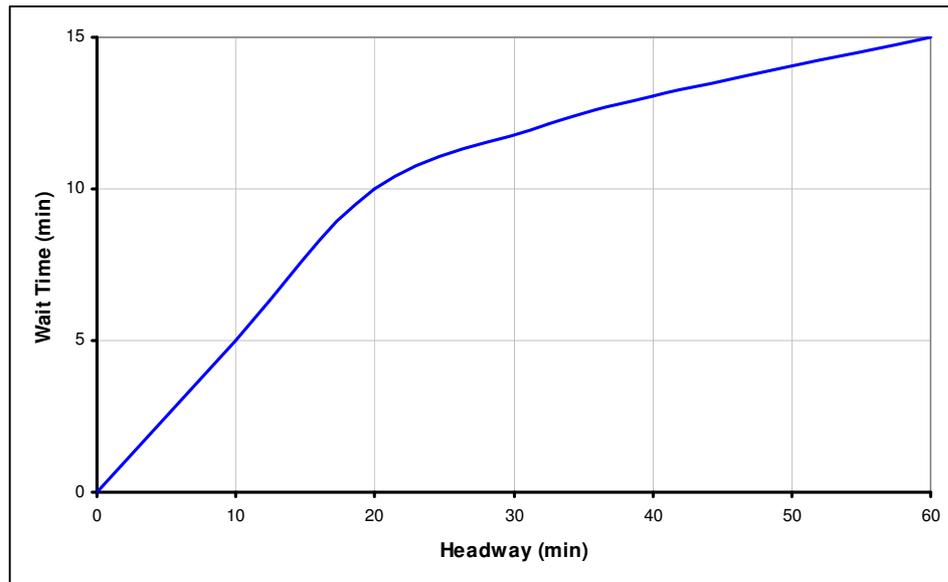


Figura 27 – Curva del tempo di attesa alla fermata

I coefficienti (pesi) del tempo di attesa differiscono per modo di TP e periodo. I valori sono stati settati con riferimento al Demand for Public Transport Report (TRL 593) e il WebTAG. I valori sono stati testate e modificati durante la calibrazione del modello di trasporto pubblico. Per il MP e l'EP è stato utilizzato un valore di 2.0 per gli autobus e traghetto e di 1.5 per treno e metro. Per l'IP si è utilizzato il valore 1.9 per gli autobus e traghetto e 1.2 per treno e metro.

Il fattore 1.5 rispecchia i migliori servizi offerti da treno e metro durante l'attesa (informazione all'utenza, sedili, ecc). I valori inferiori per il periodo di IP riflettono la maggiore accettazione del tempo di attesa, considerata la minore esigenza di arrivare in orario.

Walk Time

Il coefficiente di walk time utilizzato è pari a 2.5 per i Concessionary e 2.0 per i Non-Concessionary, per tutti gli archi.

Altre componenti del costo generalizzato

La penalità di interscambio dello scenario di base è stata settata con un valore standard di 10 minuti per tutti gli interscambi.

5.4.4 Parametri finali del modello

Tutti i parametri settati nel modello di Trasporto pubblico sono mostrati in Tabella 24.

Tabella 24 – Parametri generali del modello di Trasporto Pubblico

	Descrizione	Concessionary Non-lavoratori	Non Concessionary Non-lavoratori	Non Concessionary lavoratori
1	Peso per l’In-vehicle run time			
	Modi 1-6 (Bus)	1.2	1.2	1.2
	Modo 7 (Metro)	0.9	0.9	0.9
	Modi 8-9 (Rail)	1.0	1.0	1.0
	Modo 10 (Ferry)	1.0	1.0	1.0
2	Pesi per il tempo di attesa			
	Modi 1-6 (Bus)	2.0 (IP=1.9)	2.0 (IP=1.9)	2.0 (IP=1.9)
	Modo 7 (Metro)	1.5 (IP=1.2)	1.5 (IP=1.2)	1.5 (IP=1.2)
	Modi 8-9 (Rail)	1.5 (IP=1.2)	1.5 (IP=1.2)	1.5 (IP=1.2)
	Modo 10 (Ferry)	2.0 (IP=1.9)	2.0 (IP=1.9)	2.0 (IP=1.9)
3	Tempo di attesa minimo (tutti i modi)	0	0	0
4	Tempo di attesa massimo (tutti i modi)	15 mins	15 mins	15 mins
5	Boarding Penalty (All Modes)	0	0	0
6	Pesi per il tempo percorso a piedi (tutti i modi)	2.5	2.0	2.0

	Descrizione	Concessionary Non-lavoratori	Non Concessionary Non-lavoratori	Non Concessionary lavoratori
7	Penalità di trasferimento da modo a modo di trasporto Dal modo 1 ai modi 1-10 Dal modo 2 ai modi 1-10 Dal modo 3 ai modi 1-10 Dal modo 4 ai modi 1-10 Dal modo 5 ai modi 1-10 Dal modo 6 ai modi 1-10 Dal modo 7 ai modi 1-10 Dal modo 8 ai modi 1-10 Dal modo 9 ai modi 1-10 Dal modo 10 ai modi 1-10	10 mins	10 mins	10 mins
8	Fares Model: valore specifico del tempo (per tutti i modi di trasporto)	473p/hr	534p/hr	2,379p/hr

CAPITOLO 6

CASI STUDIO

6.1 *Descrizione servizi di trasporto su gomma analizzati*

I due servizi autobus oggetto di studio operano nella città di Newcastle upon Tyne, entrambi sono sovvenzionati dalla PTE Nexus.

Il primo (caso A) è l'unico servizio che collega la zona residenziale di Holywood Avenue e l'area suburbana di Jesmond con il centro città, con una frequenza di trenta minuti. Serve l'asse principale di High street (dove è in competizione diretta con una decina di servizi autobus concorrenti, di cui alcuni appartenenti alla stessa compagnia che gestisce la linea) ricca di negozi e attività lavorative e ricreative. Inoltre è l'unica linea che serve Osborne Road, asse che attraversa centralmente la zona di Jesmond caratterizzata da famiglie ad alto reddito, alta presenza di studenti, nonché attività commerciali, alberghi, bar e ristoranti.

Il servizio è effettuato da due autobus, con pianale rialzato a cui si accede attraverso due gradini, con una sola porta di accesso, e l'autista è l'unico personale a bordo e si occupa sia della vendita dei biglietti che del controllo degli stessi. La particolarità del servizio di trasporto è che corre in parallelo alla linea di metropolitana per più del 50% del suo percorso.

Il caso B è, invece, serve la *regeneration area* (area industriale del fiume riconvertita in area residenziale ad alta densità) di Quayside e collega la zona del centro e nodi d'interscambio (stazione centrale e stazioni della metropolitana) con la zona del fiume, molto popolare perché sede di club, bar e ristoranti. Il servizio di trasporto è il fiore all'occhiello della Nexus: dieci minuti di frequenza, grazie all'utilizzo di sei autobus contemporaneamente, tutti di ultima generazione con motori ibridi, pianale ribassato per una migliore accessibilità, due porte di accesso (utilizzate solo nelle ore di punta) e sistemi d'informazione all'utenza alle fermate. Inoltre tutti i biglietti validi per la metropolitana possono essere utilizzati sull'autobus senza ulteriore spesa.



Figura 28 – Localizzazione servizi autobus A e B

Una volta analizzato il servizio, nel primo caso, si è esplorata la possibilità d'incrementare il numero di passeggeri che utilizzano l'autobus sfruttando la vicinanza con la metropolitana, ricreando un'integrazione dei servizi bus/metro. Mentre nel secondo caso si è analizzato il servizio non per modificarne la linea ma per validare i risultati ottenuti con i tempi di salita e discesa passeggeri.

6.2 Raccolta e analisi dei dati

La raccolta dei dati è stata effettuata tramite la metodologia descritta al capitolo 2. Le due campagne d'indagini sono state effettuate nello stesso periodo dell'anno ed è stato raccolto un campione di 2900 dati per il servizio A e di 2500 per la linea B.

Le analisi hanno rilevato per la linea A che il 52% dei passeggeri è rappresentato da *concessionary*, specialmente quando si è lontani dall'ora di punta, mentre il 32% usano le *travelcard* e solo il 16% utilizza il biglietto comprato direttamente a bordo. Il numero totale di passeggeri per settimana è 2500, con una media di passeggeri a settimana di 460. Lunedì, martedì, giovedì e venerdì sono statisticamente simili al 95%, mentre mercoledì e sabato sono differenti con un totale di 360 e 320 passeggeri, rispettivamente, serviti giornalmente.

Per la linea B la maggior parte dei passeggeri è costituita da trave card (40%) seguito da un 30% sia per i concessionari che per i biglietti. Il numero totale di passeggeri per settimana è di circa 7500 passeggeri con una media di 1250 al giorno. Tutti i giorni della settimana sono statisticamente simili al 95%, mentre i sabati e le domeniche differiscono con una media di passeggeri che si attesta rispettivamente sui 750 e 650 passeggeri al giorno.

Di seguito vengono riportate analisi e risultati dei due servizi autobus.

Market attraction of the route A

The total number of times a bus stopped and the number of passengers travelling inbound that board at a given bus-stop per week was calculated for the entire bus route and is given in Figure 4. Considering the first boarding, it is evident there are two distinct groups of stops, the first from the terminus Hollywood Avenue along the High Street to the Grove and the second from Osborne Road Myrtle Grove to the final terminus. From a comparison of the number of passengers boarding the bus in each section with the distribution of passengers alighting it is clear that 50% of the passengers boarding the route A in the first section did not travel to the city centre but use it for (mainly) shopping at the out of town shops at stop (4), and at the High street, stops (5-8) of the remaining passengers, including those boarding along the High street – only 10% of the total patronage – use the bus for access to the city centre with only 9% of the total patronage alighting in the section. In all 6-8% of passengers boarded in the first and alighted in the second section.

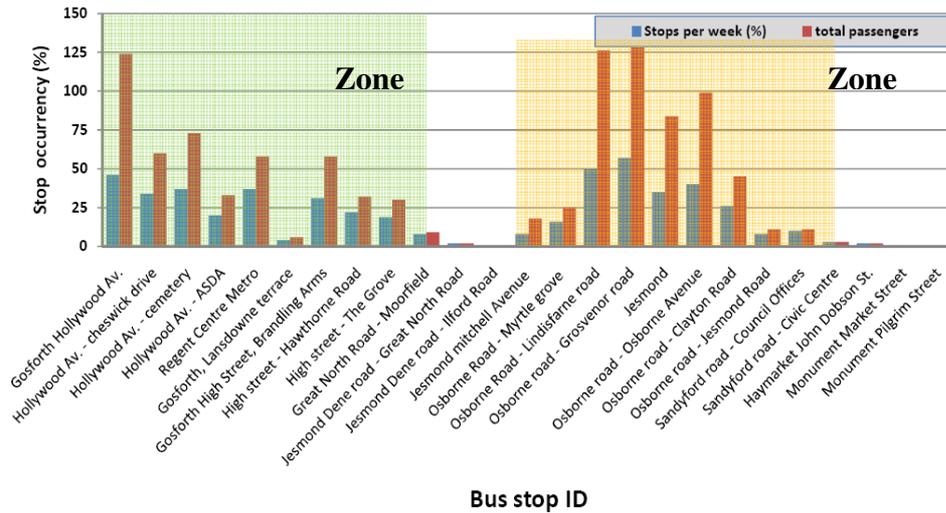


Figura 29 – Inbound market attraction for the route A

It is clear from this analysis that the route A is being used to serve two localised catchments rather than as a through bus to the city centre. In addition, with reference to Figura 29, it can be seen that the metro operates in parallel for 50% of the route “the line haul” section.

It is for this reason that a public transport interchange service is proposed splitting the service into two. The first (route A1 – red line in Figura 30) at the start of the route interchange with the metro and into the High Street. The second (route A2 – yellow line in Figura 30) stage of the route penetrating further into residential streets as a separate more localised service into Newcastle not operating in competition with metro.

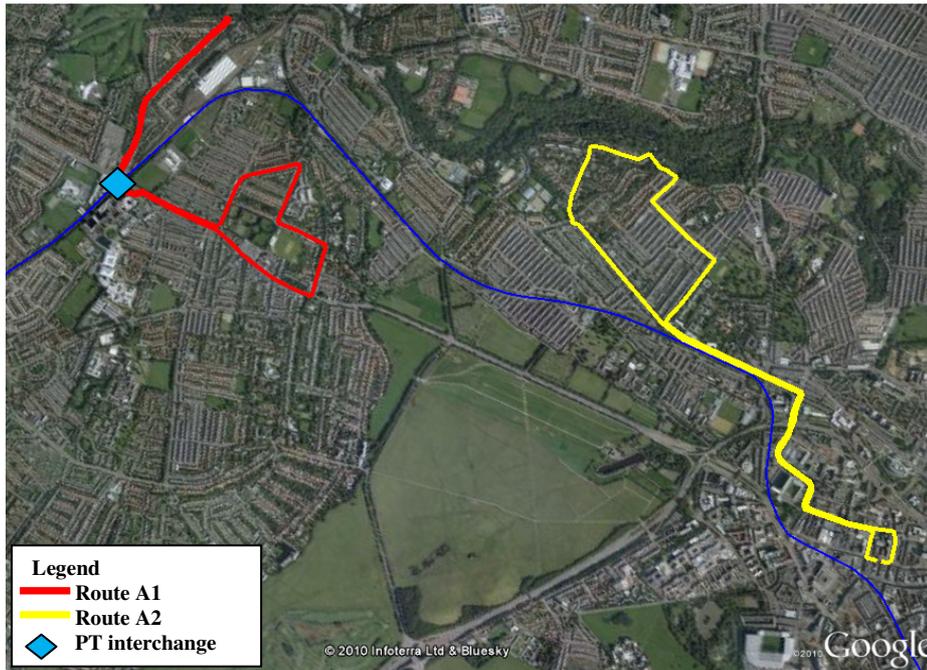


Figura 30 - Market attraction of the route A

Reliability

Figura 31 shows the reliability distribution of the differences between the scheduled and actual arrival times of buses at each stop for route A and route B. Route A and B are on time 26% and 20% of the time respectively. However, it is interesting to note that the range of the differences in the services are similar despite the fact that route A headway is 30 minutes compared with route B which is only 10 minutes. When scheduled time is less than the necessary running time bus drivers tend to drive faster and arrive earlier at the bus stop, affecting the reliability of service.

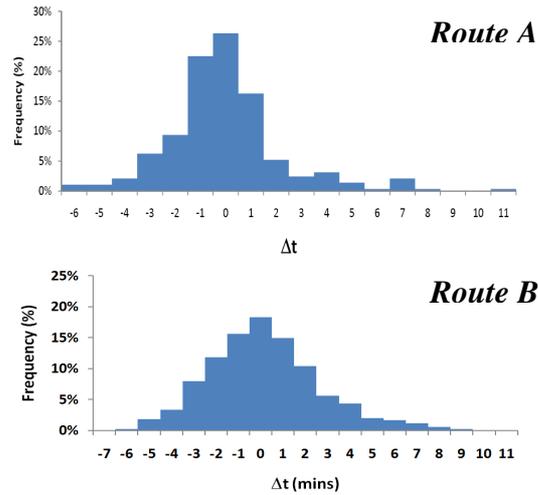


Figura 31 – Reliability index in case A and B

Route B service operates inside the city centre and is strongly affected by traffic condition despite the fact that some of the route has a reserved bus lane. Route A operates substantially of district distributors that are less heavy congested.

Dwell time at the bus stop

The main data analysis aimed to explore the differences in the alighting and boarding time due to the different categories (ticket, travel card and concessionary) of passengers.

Figura 32 presents the alighting and boarding time distributions, measured for different number of passenger boarding. A line graph rather than a binned distribution is plotted for clarity. In both cases of alighting and boarding the distribution for the first passenger was found at the 95% level of statistical confidence to be different from the boarding time of subsequent passengers. For alighting whilst the cases between 2 and 5 passenger are statistically similar they are statistically different from the cases associated with 6 or more passenger alighting. Similar behaviour appear for the distribution of boarding times (figure on the left), but over 4 passengers the number in the sample is not enough to give statistical significance.

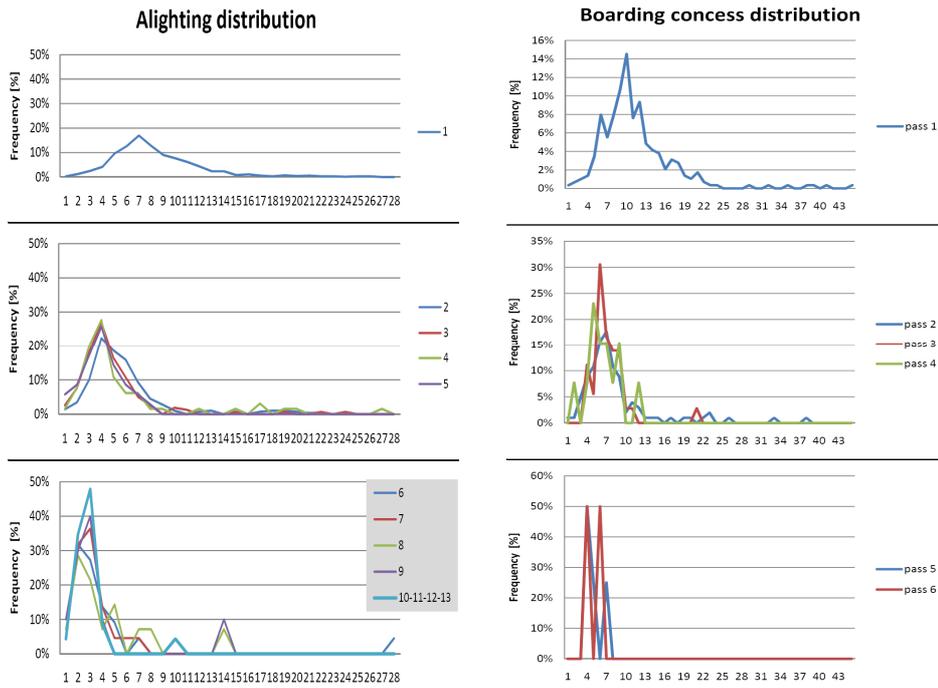


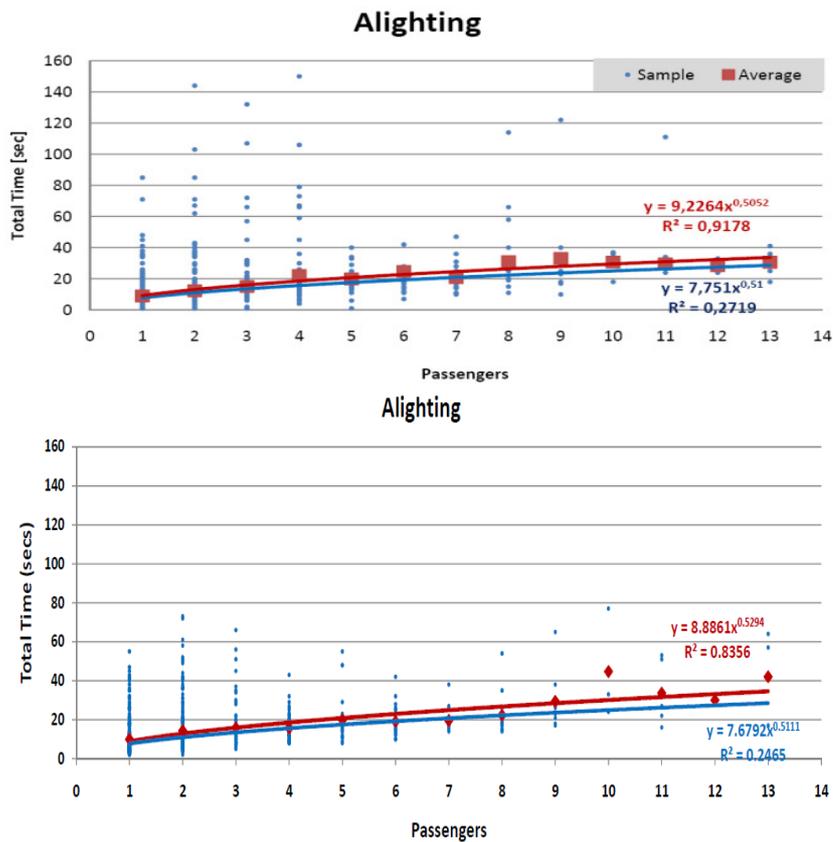
Figure 32 – Distribution for boarding and alighting passenger (shown as line graphs for clarity)

The dataset was disaggregated selecting the boarding cases according to each ticket type and the specific boarding time associated to 1, 2 or more passengers were calculated. As expected, being subsidised service, events with more than 4 passengers of the same category were few; only for alighting times it was possible to base the analysis on cases related to events with 10 or more passengers. Figure 9 illustrates the results of the regression analysis conducted for both the raw data set and the values averaged for each number of alighting/boarding cases. For both alighting and boarding time the curve that best fit the regression was a “power” law. Table 1 presents a summary of the slopes and powers for each analysis.

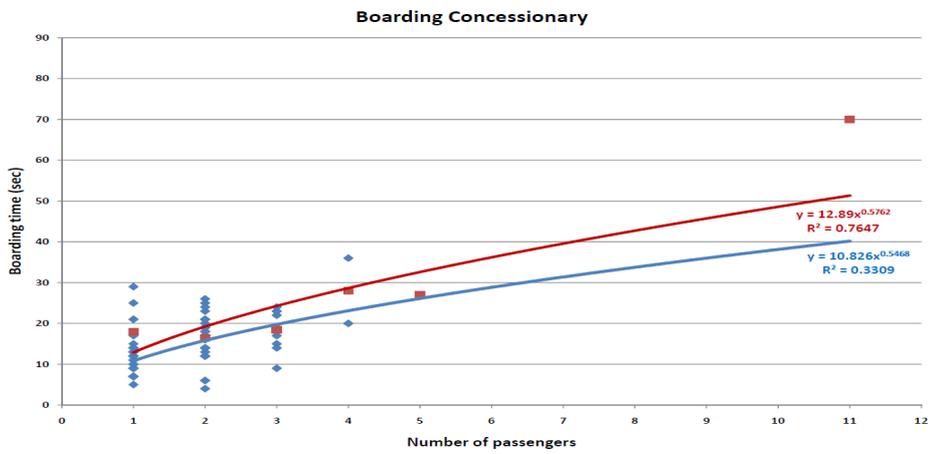
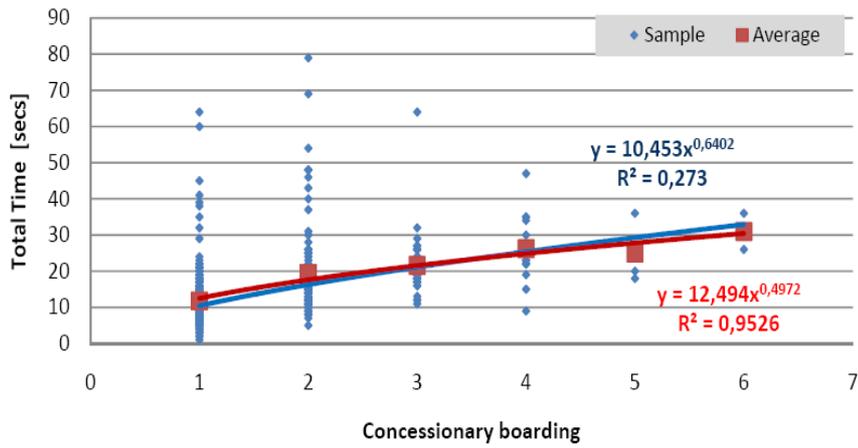
It is clear that there is large variation in the data which has a similar spread in the two routes. The outliers can be identified with specific events such as passengers requesting information from the driver, ad hoc occasions when the driver deliberately waits to adjust to the scheduled times. It is evident that when the power law is fitted to the values averaged over the data, following the removal of the

explained outliers outside $\pm 95\%$ (red line) rather than the raw data (blue line) the regression coefficient improve substantially (typically from $0,10 \div 0,20$ to $0,90$). the routes A and B were found to have statistically significantly similar relationship for boarding with travel card whilst boarding with ticket purchase is longer for route B (typically about 35% more for 4 passengers) compared to route A. This reflects the fact that route A is mostly regular passengers, including the occasional ones, and the route B tourists.

The boarding times for concessionary fares and alighting were statistically significantly similar for route A and B. Figura 33 shows for route A how the alighting and boarding times using travel card statistically significantly similar. Concessionary fares are statistically significantly different with longer boarding times, which are even longer with ticket purchase. Route B results follow similar results.



Boarding concessionary



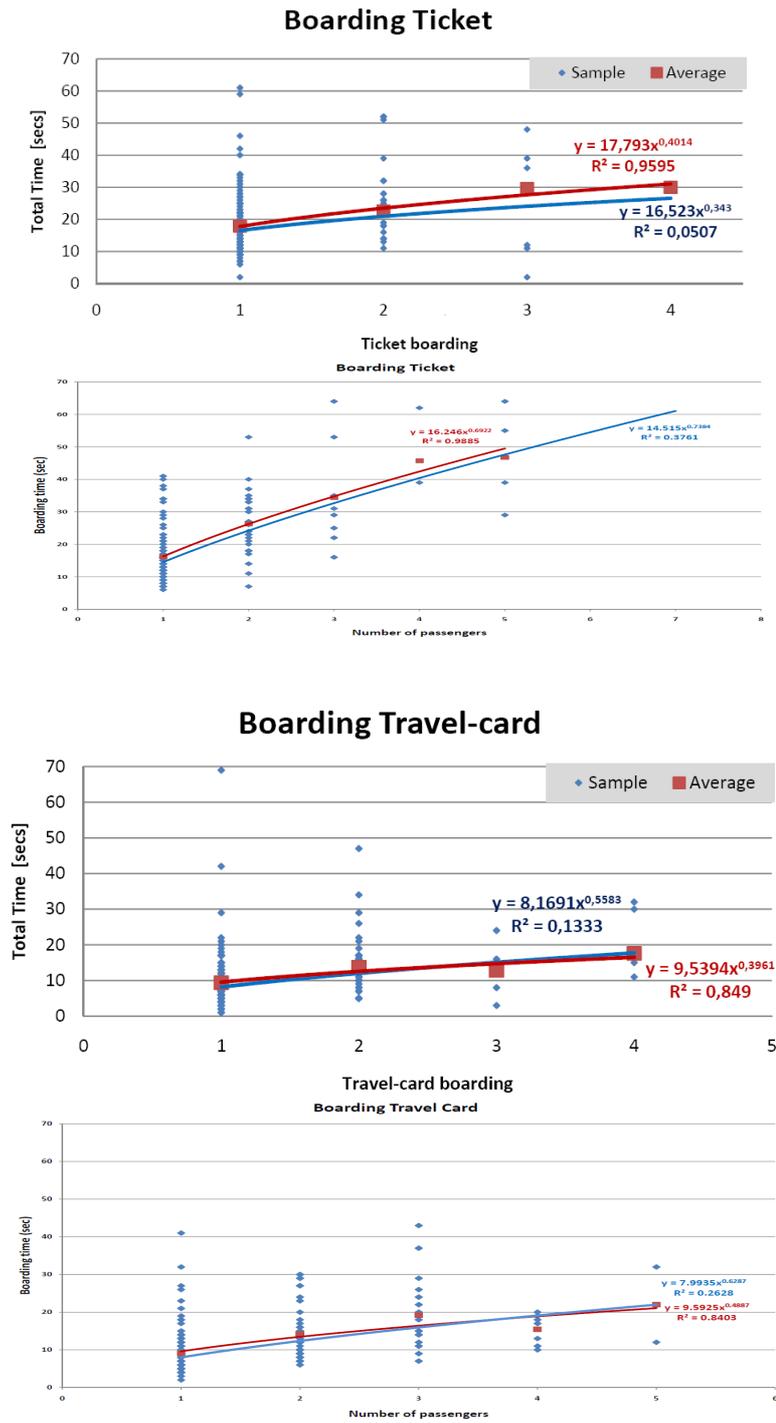


Figura 33 – Alighting and Boarding regressions for route A (left hand side) and route B

Tabella 25 – Summary of the slopes and powers for boarding and alighting time equations

		power function ($y=ax^\beta$)						x = n° of passenger					
		Route A						Route B					
		based on average			based on all the data			based on average			based on all the data		
Passenger		a	β	R^2	a	β	R^2	a	β	R^2	a	β	R^2
Alighting		9.2264	0.5052	0.92	7.751	0.5100	0.27	8.8861	0.5294	0.84	7.6792	0.5111	0.25
Boarding	Concessionary	12.494	0.4972	0.95	10.453	0.6402	0.25	12.89	0.5762	0.76	10.826	0.5468	0.33
	Ticket	17.793	0.4014	0.96	16.523	0.3430	0.05	16.246	0.6922	0.99	14.515	0.7384	0.38
	Travel-card	9.539	0.3961	0.85	8.169	0.5583	0.13	9.5925	0.4887	0.84	7.9935	0.6287	0.26

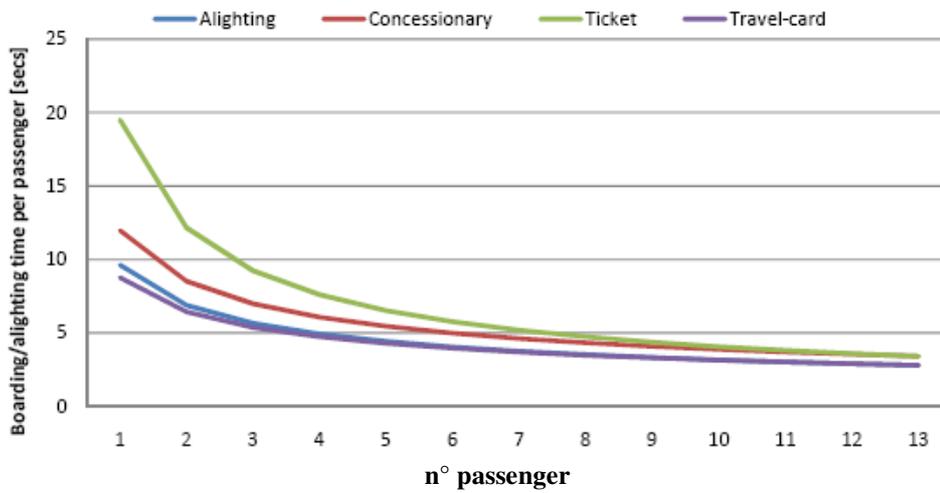


Figura 34– Variation of boarding and alighting time per passenger

6.3 Relazioni e algoritmi

This relationship are used to calculate the journey time for the operation of the proposed integrated alternative Service to route A, described above. The variability in the service from day to day is reproduced using the distribution of reliability and the boarding profiles. With knowledge of the bus vehicle type (age, engine size, fuel type, etc.) the carbon emission for the operation of the bus services from day to day according to a specified service frequency is calculated. In addition the Metro vehicle characteristics passenger loadings, service frequencies through the day are available from the Passenger Transport Executive (PTE), NEXUS. The model is set up to enable the feeder service (A1) to be scheduled to meet specific metro trains to allow public transport interchange to occur and fulfil the current user needs to access local shopping in the High street. The model is used to systematically adjust the frequency of the A1 service, vehicle type (mini-bus, coach, double Decker), passenger loadings and reliability to create (hypothetically) an integrated service that will gradually increase in popularity as it better meets local needs for shopping and becomes an attractive service for commuters into Newcastle City Centre by integration with the metro, with consequential savings in single occupancy car emissions. The additional independent service A2 will be modelled in the same way. Finally the carbon emissions for the current base-case scenario will be estimated and compared with the different scenarios created using the model. In this way the optimal service combination of A1 and A2 and passenger loadings, vehicle types to achieve substantial benefit over the current situation will be defined.

6.4 *Utilizzo dei parametri nel modello*

This paper has described a DSS for bus operators making decisions regarding future sustainable transport. An in-depth study of two subsidised routes has enabled a model of carbon emissions of bus service operation as independent bus services as well as public transport integration with the metro.

The reliability of a bus service is strongly related to good design metrics. Considering parameters that affects journey time, such as occupancy and dwell time at the bus stop, two surveys took place to analyse subsidised services. The survey results showed that market attraction enable the format of the integrated service to be specified.

Results show that when scheduled time is less than the necessary running time bus drivers tend to drive faster and arrive earlier at the bus stop, affecting the reliability of service.

Furthermore, analysis show similarity between boarding and alighting passengers using a travel card. The concessionary travellers required longer time for boarding/alighting and passengers who purchase tickets on the bus, require extra time to buy tickets and wait for change. This suggests that the introduction of smart card ticketing could reduce dwell time at bus stop and speed up boarding, not only for subsidised services but even for more crowded commercial service.

Then, the paper outlines how the data gathered will be used to predict the drive cycle of the bus service along the scheduled route (and potential future scenarios) and thus to assess the carbon emission per passenger kilometre in the broader context of a decision support system. The carbon emission estimator has been developed and will be used to explore more sustainable integrated services for the future.

CAPITOLO 7

APPLICAZIONE DEI MODELLI, VALIDAZIONE E SENSITIVITÀ

7.1 *Validazione*

7.1.1 Validazione del modello highway

Introduzione

Il criterio per validare il modello highway per lo scenario base è stato effettuato attraverso i dati di indagini storiche e di quelle effettuate durante la ricerca, e seguendo le indicazioni del DMRB 12.2.1, che riflette le precedenti indicazioni del Traffic Appraisal Manual (TAM).

Il criterio del DMRB utilizza essenzialmente il criterio statistico del GEH che è stato e viene utilizzato in molti studi modellistici⁴.

Il GEH è creato per fornire un modo consistente per rappresentare le differenze tra i valori modellati ed “osservati”⁵ che tengono conto degli effetti di scala. Ciò significa che elevate percentuali di differenza per flussi ridotti potrebbero non rappresentare uno scostamento significativo, mentre ciò avviene per volumi di traffico elevati. In modo simile, una grossa differenza in termini assoluti per rami percorsi da flussi bassi può essere significativa, mentre lo stesso valore non esserlo per i flussi più elevati (per i quali rappresenta solamente un piccola percentuale)

La proprietà del GEH di adattarsi alla scala è molto utile e ha permesso la costruzione del criterio diretto del DMRB 12.2.1.

Da quanto detto, la validazione del modello highway si pone l’obiettivo di soddisfare i criteri del DMRB.

⁴ Tuttavia, come sia stato creato il coefficiente statistico GEH sembra essere non ben definito e non è sconosciuto se ha una base teorica o pratica. È probabile che non tenga conto della variabilità delle osservazioni, che è richiesta per confronti certi.

⁵ Con la parola “*osservati*” tra virgole si intende enfatizzare il problema della variabilità ed errore (misure, rilievi, ecc) dei dati in possesso ed usati nel modello.

Come descritto nel capitolo 5, il TPM usa un modello di stima delle matrici convenzionale per lo sviluppo dello scenario di base, al quale, per modificare le matrici Produzione/Attrazione, si è accoppiato l'uso di altri dati quali le Roadside Interview (RSI).

Il criterio di validazione DMRB

Per la validazione del modello di assegnazione highway, sono state seguite le indicazioni del DfT WebTAG Guidance, riferite al DMRB 12.2.1, e i criteri base sono riportati in Tabella 26 Figura 27.

Come è possibile osservare ci sono essenzialmente tre tipi di confronti:

- Differenze tra flussi veicolari osservati e modellati;
- Il calcolo del coefficiente statistico GEH;
- Differenze tra i tempi di viaggio osservati e modellati

Tabella 26 – Validazione dell'assegnazione – linee guida DMRB di accettabilità

Criteria and Measures	Acceptability Guideline
<u>Assigned Hourly flows * compared with observed flows</u>	
1. Individual flows within 15% for flows 700 - 2,700 vph)
2. Individual flows within 100 vph for flows < 700 vph) > 85% of cases
3. Individual flows within 400 vph for flows > 2,700 vph)
4. Total screenline flows (normally > 5 links) to be within 5%	All (or nearly all) screenlines
5. GEH statistic:	
i) individual flows : GEH < 5	> 85% of cases
ii) screenline (+) totals: GEH < 4	All (or nearly all) screenlines
Notes	
+ Screenlines containing high flow routes such as Motorways should be presented both including and excluding such routes	
* links or turning movements (but see Paragraph 4.4.37).	
<u>Modelled journey times compared with observed times</u>	
6. Times within 15% (or 1 minute, if higher)	> 85% of routes

In merito a tali linee guida tuttavia potrebbero essere sollevati alcuni dubbi nell'ambito dei dati da utilizzare nella loro applicazione, infatti non è specificato

su quale base i singoli casi per il confronto dovrebbero essere scelti (ad esempio: dovrebbero essere scelti tutti i flussi noti? Oppure solo quelli più recenti e più affidabili?).

Inoltre, se delle differenze significative, tra valori modellati e misurati, vengono individuate, quali azioni intraprendere? Infatti alcune di queste differenze potrebbero essere dovute ad una differente qualità o variabilità dei dati.

Nel caso specifico del TPM, essendo questo un modello a quattro stadi molto complesso, si è scelto di non adottare il metodo abbastanza diffuso, e accettabile per i modelli di piccole dimensioni, che comunque è anche visto negativamente dal DMRB, dell'uso dei flussi noti nella stima delle matrici, in quanto questo tende a migliorare la generazione di matrici che corrispondono ai flussi misurati, ma che nel complesso si possono discostare fortemente dalla reale generazione e attrazione di spostamenti nei singoli centroidi e che può comportare una riduzione della flessibilità e sensitività del modello in termini di risposta alle differenti politiche e scenari.

Pertanto l'approccio generale nello sviluppo del TPM è stato focalizzato nel creare una matrice degli spostamenti basata su dati nazionali e locali. In particolare per valutare gli impatti demografici e geografici di politiche e azioni quali le ZTL (Road User Charging) è fondamentale poter valutare le conseguenze sulla generazione degli spostamenti, inclusa la scelta della destinazione, del modo e della frequenza.

Il confronto tra i dati osservati e quelli modellati ha tenuto conto delle variazioni giornaliere della domanda e del comportamento/effetto di reindirizzamento degli spostamenti. Pertanto sono stati ragionevolmente limitate le aggregazioni di informazioni per limitare gli effetti della variabilità, ad esempio utilizzare la media dei dati di ATC (automatic traffic counts) e tempi di viaggio, e raggruppare i flussi all'interno di linee di aggregazione (screenlines) per tenere conto delle variazioni giornaliere dei dati rilevati, tale approccio è anche in linea con il DMRB, che consente per un più basso livello di dettaglio di utilizzare i singoli valori di flusso anziché aggregarli in screenline.

Generalmente è possibile affermare che l'uso del confronto per screenline è maggiormente legato alla validazione delle matrici, mentre il confronto con i flussi dei singoli rami è più rilevante nella verifica della codifica della rete, e in particolare per le singole intersezioni.

Il report della validazione pertanto è strutturato a diversi livelli per fornire differenti informazioni ai diversi livelli di aggregazione e per spiegare gli impatti a livello locale.

Relativamente alla costruzione delle screenline il DMRB suggerisce che queste dovrebbero essere costruite con almeno 5 o più sezioni di rilievo e nel caso del TPM tale indicazione si è potuta soddisfare al 100% nell'alto livello di dettaglio del modello, mentre con il diminuire del dettaglio verso l'esterno dell'area tale condizione non è stato possibile rispettare al 100% per la scarsa disponibilità di dati di traffico disponibili. Da ciò ne consegue che la validazione del modello non può essere considerata con un grado omogeneo di accuratezza, tuttavia la parte centrale del modello, a cui il presente studio è maggiormente focalizzato, ha garantito il raggiungimento degli standard DMRB (v. Tabella 26).

Infine occorre ricordare che il principale periodo temporale è rappresentato dall'ora di punta del mattino, sul quale è stata posta maggiore enfasi e attenzione ed eventuali azioni migliorative degli altri due periodi (che comportavano la modifica dei fattori di calibrazione) a discapito dell'ora di punta del mattino non sono state implementate.

Validation Data

Per le operazioni di validazione del modello base sono stati utilizzati varie fonti relative a differenti siti di rilievo (Count Sites), naturalmente una parte delle informazioni sono state utilizzate per lo sviluppo delle matrici e il resto per il processo e le operazioni di validazione dei risultati del modello di assegnazione.

I valori dei flussi di traffico sono ottenuti mediante Rilievi manuali (*manually classified traffic counts* – MCC) o come rilievi automatici (*automatic traffic counts* – ATC).

La posizione delle 25 screenlines è mostrata in Figura 35 (mediante linee rosse). Come detto precedentemente le raccomandazioni del DMRB prevedono almeno 5 archi nella singola screenline, tuttavia in alcuni siti non è stato possibile soddisfare tale raccomandazione e invece di interrompere le screenline (creando vuoti) si è deciso di lasciarle comunque. In ogni caso per i flussi più elevati si è rispettata tale condizione al 100% (v. Tabella 27).

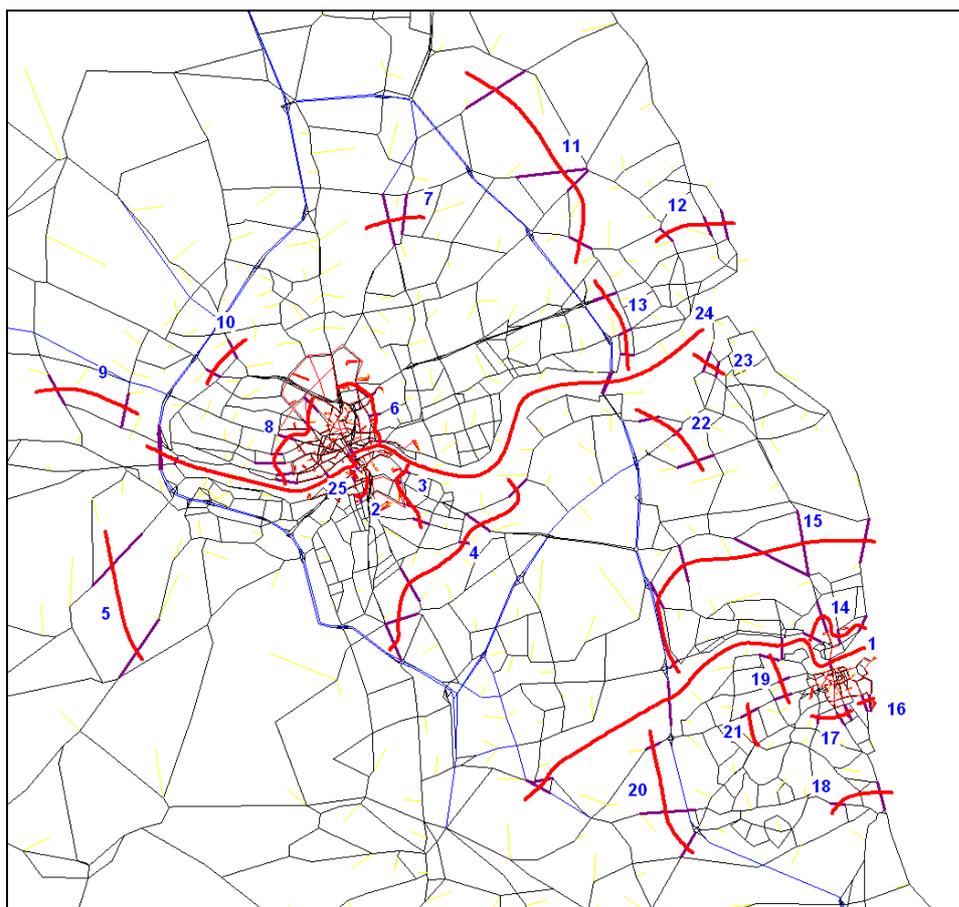


Figura 35 – Screenlines di validazione del modello e siti/sezioni di rilievo.

Il sommario dei dati della validazione dei singoli siti mostrati in Figura 35, è stata riportata nelle Tabella 27 e Tabella 28. I principali risultati possono essere riassunti nei seguenti punti:

- Nel periodo di punta del mattino (AM peak), la maggior parte dei siti presenta valori che si avvicinano ai rilievi con oltre il 50% per i siti con GEH inferiore o uguale a 2, circa il 76% con GEH inferiore o uguale a 4 e 81% per quelli inferiori o uguali a 5, per quelli con GEH superiore a 5 si veda a seguire la Tabella 28;
- Durante il periodo inter peak (IP), la validazione è migliore di oltre 10 punti percentuali (92%) per GEH inferiore o uguale a 5, rispetto al periodo AM;
- Per il periodo di punta del pomeriggio (PM peak) la condizione è intermedia tra i due precedenti (87% dei siti con $GEH < 5$), con quasi il 100% per GEH inferiore a 10.

Come evidenziato precedentemente, si prevede che l'analisi dei dati relativi ai singoli siti di rilievo/confronto possa evidenziare variazioni localizzate dei flussi di traffico dove strade parallele offrono delle valide alternative di percorso.

I risultati mostrati nella Tabella 27 e Tabella 28 sono basati su un elevato numero di sezioni di rilievo, eventualmente combinate in screenline. In particolare sono state utilizzate 377 sezioni complessive suddivise in base al tipo di flusso: Flusso basso, medio e elevato a seconda che il flusso sia rispettivamente < 700 veicoli, compreso tra 700 e 2.700 e > 2.700 .

Le due tabelle riassumono i risultati confrontati con i criteri DMRB, suddividendoli per fasce orarie e per tipologia veicolare (tutti i veicoli e solo auto). Il colore rosso o nero delle percentuali indica se sono stati quasi soddisfatti o pienamente soddisfatti i criteri.

Come è possibile osservare dalla sezione tutti i veicoli di Tabella 27 la validazione meno vicina al valore di 85% è quella del picco del mattino con un valore del 75%, ma solamente per gli archi con flussi medi, mentre se si considerano tutti gli archi tale valore è poco al di sotto dell'85%. I risultati degli altri periodi temporali presentano un simile comportamento, anche se i valori percentuali degli archi che verificano sono rispettivamente di 83% e 82% per l'inter peak e il picco del pomeriggio, e nel complesso soddisfano i criteri DMRB con il 90% e l'86%. In tutti gli altri casi e per la sezione solo auto le percentuali risultanti sono superiori, anche di vari punti percentuali, rispetto all'85% di riferimento. L'unica

eccezione per il caso solo auto è rappresentata dal periodo di punta del mattino per i flussi medi in cui il valore pur essendo migliore del caso “tutti i veicoli” è inferiore all’85%.

Tabella 27 – Sommario della validazione dei flussi d’arco rispetto ai criteri DMRB

Tipo di arco	Criterio DMRB	Numero di archi	% all’interno dei criteri DMRB	Accettabilità del DMRB
TUTTI I VEICOLI (PCU)				
Picco del mattino				
Flusso basso (<700)	Meno di 100 vph	253	86%	85%
Flusso medio (700 - 2700)	Entro il 15%	114	75%	85%
Flusso elevato (>2700)	Meno di 400 vph	10	90%	85%
Totale		377	83%	85%
Inter Peak				
Flusso basso (<700)	Meno di 100 vph	267	93%	85%
Flusso medio (700 - 2700)	Entro il 15%	107	83%	85%
Flusso elevato (>2700)	Meno di 400 vph	3	100%	85%
Totale		377	90%	85%
Picco del mattino				
Flusso basso (<700)	Meno di 100 vph	239	88%	85%
Flusso medio (700 - 2700)	Entro il 15%	129	82%	85%
Flusso elevato (>2700)	Meno di 400 vph	9	100%	85%
Totale		377	86%	85%
SOLO AUTO				
Picco del mattino				
Flusso basso (<700)	Meno di 100 vph	286	88%	85%
Flusso medio (700 - 2700)	Entro il 15%	88	78%	85%
Flusso elevato (>2700)	Meno di 400 vph	3	100%	85%
Totale		377	86%	85%
Inter Peak				
Flusso basso (<700)	Meno di 100 vph	299	97%	85%
Flusso medio (700 - 2700)	Entro il 15%	78	92%	85%
Flusso elevato (>2700)	Meno di 400 vph	0	n/a	85%
Totale		377	96%	85%

Picco del mattino				
Flusso basso (<700)	Meno di 100 vph	265	90%	85%
Flusso medio (700 - 2700)	Entro il 15%	108	89%	85%
Flusso elevato (>2700)	Meno di 400 vph	4	100%	85%
Totale		377	90%	85%

Tabella 28 – Sommario dei siti di conteggio dei flussi in funzione del GEH

Periodo temporale	Categoria DMRB Target 85% minore di 5						
	<5	<7	<10	<12	<15	<20	>20
TUTTI I VEICOLI (PCU)							
Picco del mattino	81%	92%	97%	99%	99%	100%	0%
Inter peak	92%	96%	99%	100%	100%	100%	0%
Picco del pomeriggio	87%	93%	98%	98%	99%	100%	0%
SOLO AUTO							
Picco del mattino	86%	94%	97%	98%	99%	100%	0%
Inter peak	95%	99%	100%	100%	100%	100%	0%
Picco del pomeriggio	90%	95%	98%	98%	100%	100%	0%

Dal sommario di Tabella 28, è evidente che le validazioni per i differenti periodi temporali soddisfano quasi completamente i criteri del DMRB con un solo periodo temporale (AM) e per tutti i veicoli con il valore di 81%.

Di seguito in Figura 36 è riportata la distribuzione dei valori di GEH per i vari siti in funzione dei differenti periodi temporali. Si fa notare che i criteri di DMRB agiscono sui valori estremi sulla destra del grafico, che evidenzia sulla sinistra come il 76% risultano con GEH minore di 4 si

On one hand, it is evident that the time period validations do not fully meet the DMRB targets of 85% within a GEH of 5 or the DMRB Flow criteria, as shown in the Tables. Analysis of the distribution of GEH values (see also **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) by site shows the general pattern by time period. Note that the DMRB criteria are concerned with the right-hand

tail of the distribution but the Figure also shows the left-hand tail which indicates that 64% have a GEH of less than 4. For example, if a GEH of 7 is adopted, then the GEH criterion of 85% of sites is satisfied. The small proportion of sites that have been identified as poor by GEH standards – for example 4% of sites (in the AM) have GEH above 10 – are shown in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** and **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**. These have been investigated on an individual basis (briefly discussed in Section **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** below). On review it was considered that these rogue sites were related to very low flows, or the least important locations, or were sites where the count data was considered most variable.

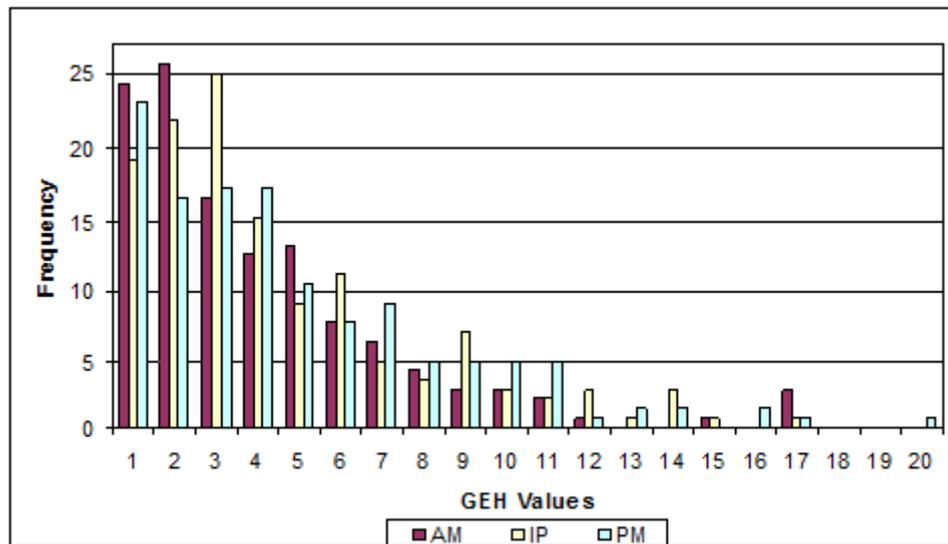


Figura 36 – Distribuzione di frequenza dei valori di GEH dei siti di rilievo

Highlights of some of the detailed investigations that were carried out on a number of individual sites are summarised in the next section.

Screenline Validation

We now consider the validation at the screenline level, rather than the individual sites. As discussed, this has the general effect of concentrating on the matrix rather than individual routeing variation. The analysis of GEH statistics and percentage differences is shown in.

Whereas at site level between 5% and 10% of sites had a GEH of over 10, all screenlines have a GEH below 10 and, especially in the morning peak, nearly all screenlines have a GEH of below 5. With regards to % differences, all modelled screenline flows are within 50% of surveyed flows, and well over half are within 15%. The % difference results are greatly improved when only sites with four or more links are used in the analysis, particularly in the AM Peak. Note that this is more stringent than the DMRB criterion which requires screenlines with more than five links to be used.

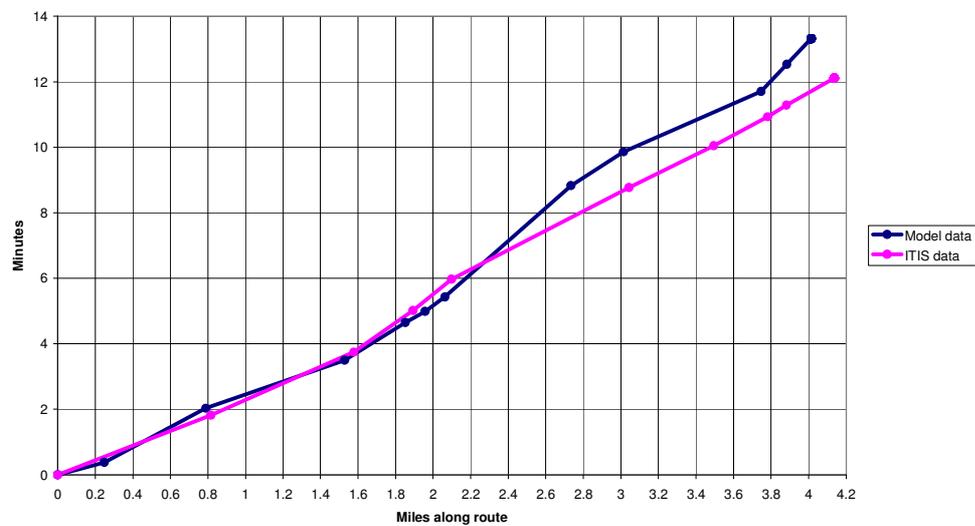
Tabella 29 – Screenline Summary

Periodo	Categoria					
Valore del GEH (cumulato %) DMRB Target tutti circa < 4%	<4	<5	<7	<10	<12	<15
TUTTI I VEICOLI						
All Screenlines						
AM Peak	92%	97%	100%	100%	100%	100%
Interpeak	98%	98%	100%	100%	100%	100%
PM Peak	97%	98%	100%	100%	100%	100%
SOLO AUTO						
All Screenlines						
AM Peak	98%	98%	100%	100%	100%	100%
Interpeak	98%	98%	98%	100%	100%	100%
PM Peak	98%	98%	100%	100%	100%	100%
Differenza percentuale (cum %) DMRB Target tutti circa < 5%	<5%	<10%	<15%	<25%	<50%	>50%
TUTTI I VEICOLI						
All Screenlines						
AM Peak	87%	97%	98%	100%	100%	0%
Interpeak	92%	98%	100%	100%	100%	0%
PM Peak	93%	98%	100%	100%	100%	0%
SOLO AUTO						
All Screenlines						
AM Peak	92%	97%	98%	100%	100%	0%
Interpeak	98%	98%	98%	100%	100%	0%

PM Peak	95%	98%	100%	100%	100%	0%
---------	-----	-----	------	------	------	----

The screenline results are an improvement compared to the count site validation indicating that any poor validation results at a count site level are likely to be the result of either routing issues or unrepresentative variable surveyed data.

Of the eight surveyed ITIS routes (four routes each in two directions) the DMRB criterion is not fully met in 5 cases. The outbound direction performs significantly better than the inbound direction. One of the issues with looking only at end-end journey times is that a single junction can unduly influence the journey times. Therefore, as suggested in DMRB, plot the journey time comparisons graphically (il resto dei grafici è in appendice 1). The first two Figures show the A191 which has a very good comparison with ITIS speeds.



A191 Inbound Journey Time Comparison - Route 1

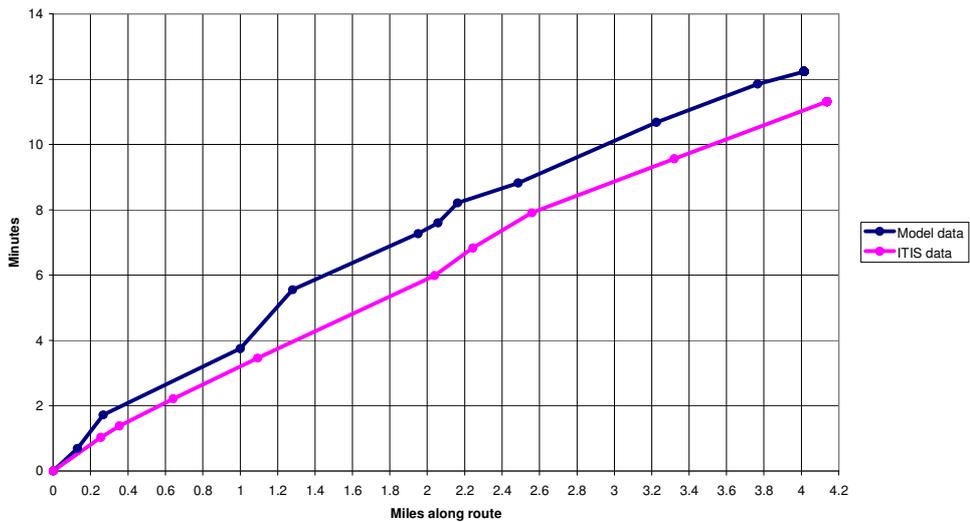


Figure - A191 Outbound Journey Time Comparison – Route 1

7.1.2 Validazione del modello di trasporto pubblico

Following initial assignment of the PT O-D matrices to the network model and review of the outputs, a range of actions were carried out to improve the model calibration, which included the following:

- Adjustment to Walk Access links to / from Metro stations;
- Deletion of superfluous walk links;
- Checks and adjustment of PT service GC parameters (e.g. In-Vehicle time coefficient);
- Adjustment to walk speed on selected Bus / Walk links.

In practice the model calibration and validation work was undertaken in iterative stages in the course of the TPM project and the final results are reported here together with a record of the changes in model parameters. Any changes to the model parameters resulting from the model calibration were reported in the pre-

vious sections of this Chapter. However, the model validation results require a separate discussion, which is documented in the following Chapter.

Introduction

This chapter documents the validation of the PT supply model for the Tyne & Wear region. Validation of the PT Supply model was carried out for metro only.

Validation was not done for bus flows as no reliable independent survey data was available. The CMS bus data was not considered appropriate for the PT supply model validation because it had been used directly in the matrix modification process.

WebTAG Validation Targets

Guidance in WebTAG (unit 3.11.2) states that validation of the PT assignment model should involve comparing modelled and “observed” (surveyed) flows at an aggregate level (i.e. screenlines or cordons) and boarding / alighting at individual links in urban centres. The guidance states that for aggregate validation modelled flows should, in total, be within 15% of the surveyed count values. On individual links modelled flows should be within 25% of the counts, except where individual flows are particularly low (less than 150).

The PT model validation was carried out according to the above WebTAG guidance. As with the highway assignment model validation, the GEH as well as percentage difference statistics have been used to evaluate the performance of the model against counts. Although there is no specific guidance on the use of the GEH statistic for PT model validation, it was considered a useful and familiar method of the level of validation.

Validation Data

For the purpose of the PT supply model validation, the CMS ‘count’ data (2005) supplied by NEXUS was employed. This comprised “Ons” and “Offs” (Boardings and Alightings) at each metro station which was compared against modelled Boarding and Alighting.

An important caveat is that the metro ‘count’ data used for the validation of the TPM PT model is not truly (“observed”) survey data but is, in fact, modelled data. The ‘count’ data was derived from an assignment of the CMS derived matrices undertaken by Nexus. So it was not independent and inevitably introduced modelling inconsistencies of its own.

Model Validation

Validation of Metro Station flows

Metro stations were divided into three different sections based on the service frequency and the geographic location, with the sections being:

- Low Frequency North Section (shown in yellow, below);
- High Frequency Section (shown in blue, below);
- Low Frequency South Section (shown in red);

illustrates the metro sections above whilst lists the stations in each section.

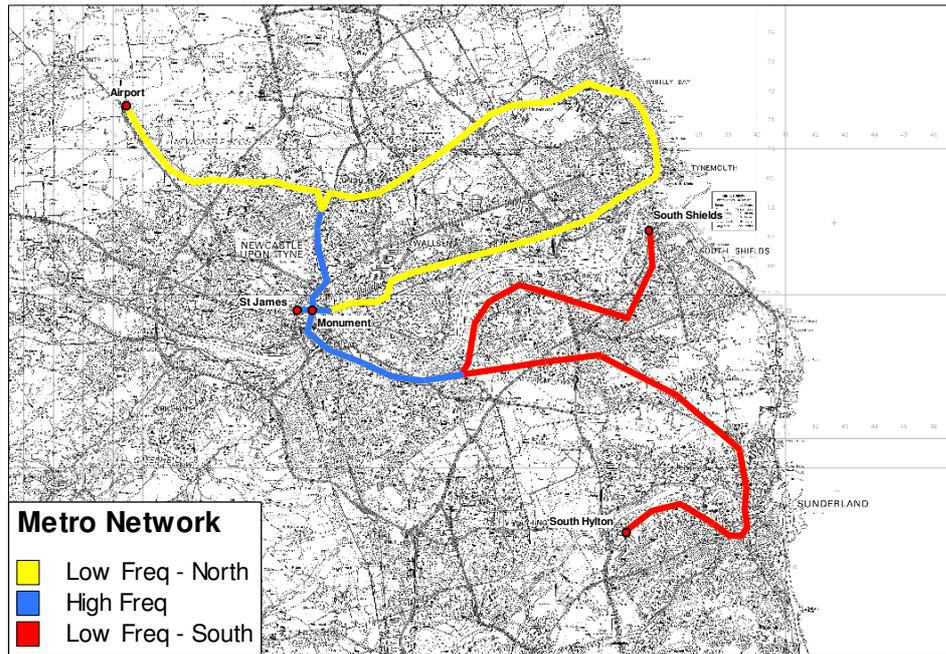


Figura 37 – Tyne & Wear Metro Sections

Tabella 30 – Tyne & Wear Metro station (Validation Section)

Sezione	Stazione	
Bassa Frequenza Nord	• Regent Centre	• Whitley Bay
	• Wansbeck Rd	• Cullercoats
	• Fawdon	• Tynemouth
	• Kingston Park	• North Shields
	• Bankfoot	• Meadow Well
	• Callerton Parkway	• Percy Main
	• Airport	• Howden
	• Longbenton	• Hadrian Road
	• Four Lane Ends	• Wallsend
	• Benton	• Walkergate
	• Palmersville	• Chillingham Road
	• Shiremoor	• Byker
	• West Monkseaton	• Manors
	• Monkseaton	
	Alta Frequenza	• Heworth

	<ul style="list-style-type: none"> • Felling • Stadium • Gateshead • Central • Haymarket 	<ul style="list-style-type: none"> • West Jesmond • Ilford Road • Sth. Gosforth • St James • Monument
Bassa Frequenza Sud	<ul style="list-style-type: none"> • South Hylton • Pallion • Millfield • University • Park Lane Intc • Sunderland • St Peters • Stadium of Light • Seaburn • East Boldon 	<ul style="list-style-type: none"> • Brockley Whins • Fellgate • South Shields • Chichester • Tyne Dock • Bede • Jarrow • Hebburn • Pelaw

Validation Statistics

Even though Metro validation was carried out for boarding and alighting equally, more attention was paid to validating the metro boardings. The reason is that the data for boarding is more robust, given the emphasis on trip productions during the base matrix development.

Considering this issue, it is expected that we will have better validation for boardings than alightings. Overall, of course, the total number of boardings and alightings must be the same, but the distribution is different.

Section Summary Analysis

presents the validation results for the three time periods modelled plus an estimated All-Day (12hr) validation. The table shows percentage differences and GEH statistics for each time period and metro section.

Details of validation results by individual metro stations are presented in Appendix A.

Tabella 31 – Metro Section Validation (Average Hour)

Stazione Metro	Differenza percentuale (Obs-Mod/Obs)				GEH			
	MP	IP	EP	12Hr	MP	IP	EP	12Hr
Passeggeri saliti								
Bassa Frequenza Nord	-2.4%	-0.4%	-2.5%	-1.6%	1.3	0.2	1.3	2.7
Alta Frequenza	2.1%	2.5%	-1.8%	0.9%	1.1	1.3	1.2	1.8
Bassa Frequenza Sud	11.6%	-9.5%	9.4%	1.3%	5.0	3.7	3.5	1.8
Totale	2.8%	-1.3%	-0.1%	0.2%	2.4	1.0	0.1	0.5
Passeggeri discesi								
Bassa Frequenza Nord	-12.7%	4.2%	2.3%	-0.9%	6.5	1.9	1.2	1.4
Alta Frequenza	16.0%	2.4%	4.1%	6.9%	9.6	1.3	2.3	13.4
Bassa Frequenza Sud	-7.8%	-15.6%	-10.3%	-12.3%	2.8	6.2	4.8	17.4
Totale	2.8%	-1.3%	-0.1%	0.2%	2.4	1.0	0.1	0.5

Nota: 12hr = (MP*3+IP*6+EP*3)

Over the whole network, the performance of the PT assignment model is very good. As can be seen at the 12hr level, the model validates very well with a percentage difference of 0.5% (GEH= 1.5), as it also does for the individual time periods with percentage differences of 2.8% (GEH= 2.4) for MP, 1.3% (GEH= 1.0) for IP and 0.1% (GEH= 0.1) for EP.

Section validation at All-Day level is good as well, particularly for boardings where the highest percentage difference is on the Low Frequency North [LFN] section (1.6%). For alightings the highest percentage difference is on the LFS section (12.3%).

In general, boardings validate better than the alightings, as expected. However it is important to notice that for both validation groups (boardings and alightings) all the percentage differences are well within the target value of 15% with the ex-

ception of High Frequency [HF] – MP and LFS-IP (both for alightings), where the percentage difference is very close to 15%.

Table 1 presents details for boardings and alightings across all three time periods. The tables use the metro sections discussed before and for each section show “observed” and modelled flows, percentage differences and GEH statistics.

Table 1 Details of Metro Section Validation

Metro Section	“Observed” (Pax/hr)	Modelled (Pax/hr)	Absolute Difference	% Difference	GEH
MP BOARDINGS					
Low Frequency North	2,974	2,903	-71	-2.4%	1.3
High Frequency	2,623	2,679	56	2.1%	1.1
Low Frequency South	1,946	2,173	227	11.6%	5.0
Total	7,544	7,755	212	2.8%	2.4
MP ALIGHTINGS					
Low Frequency North	2,452	2,140	-312	-12.7%	6.5
High Frequency	3,866	4,485	619	16.0%	9.6
Low Frequency South	1,225	1,130	-96	-7.8%	2.8
Total	7,544	7,755	212	2.8%	2.4
IP BOARDINGS					
Low Frequency North	2,046	2,038	-8	-0.4%	0.2
High Frequency	2,757	2,825	68	2.5%	1.3
Low Frequency South	1,463	1,324	-139	-9.5%	3.7
Total	6,266	6,187	-79	-1.3%	1.0
IP ALIGHTINGS					
Low Frequency North	1,952	2,035	83	4.2%	1.9
High Frequency	2,843	2,911	68	2.4%	1.3
Low Frequency South	1,470	1,241	-229	-15.6%	6.2
Total	6,266	6,187	-79	-1.3%	1.0

Metro Section	“Observed” (Pax/hr)	Modelled (Pax/hr)	Absolute Difference	% Diffe- rence	GEH
EP BOARDINGS					
Low Frequency North	2,552	2,487	-65	-2.5%	1.3
High Frequency	4,292	4,213	-79	-1.8%	1.2
Low Frequency South	1,427	1,560	133	9.4%	3.5
Total	8,270	8,259	-10	-0.1%	0.1
EP ALIGHTINGS					
Low Frequency North	2,870	2,936	66	2.3%	1.2
High Frequency	3,320	3,456	136	4.1%	2.3
Low Frequency South	2,081	1,867	-213	-10.3%	4.8
Total	8,270	8,259	-10	-0.1%	0.1
12hr BOARDINGS					
Low Frequency North	28,851	28,397	-453	-1.6%	2.7
High Frequency	37,285	37,625	341	0.9%	1.8
Low Frequency South	18,898	19,143	245	1.3%	1.8
Total	85,033	85,165	132	0.2%	0.5
12hr ALIGHTINGS					
Low Frequency North	27,681	27,441	-240	-0.9%	1.4
High Frequency	38,614	41,289	2,674	6.9%	13.4
Low Frequency South	18,738	16,435	-2,303	-12.3%	17.4
Total	85,033	85,165	132	0.2%	0.5

As can be seen in Figure and Table 1, the MP period validation results for each metro section are good, with all percentage differences below 16.0% (one at 16.0% is for HF alighting) and nearly all GEH scores are below 5. Overall for this time period, the model seems to over-assign 2.8% compared to “observed” demand.

IP validation also has close matches between modelled and “observed” data. All sections exhibit a low percentage difference, with the exception of the LFS,

where the percentage difference is 15.6%. Overall for this time period, modelled data is 1.3% below “observed” demand.

EP validation results are in line with the results of the MP and IP periods. Percentage differences are within 10% and GEH values below 5. The highest difference is LFS with similar differences for boardings and alightings. Overall for this time period, the model is underestimating the observed data, though by only 0.9%.

LFS stations seem to validate relatively worse than the other metro sections across time periods; this is mainly driven by poor matches at stations with key mode interchanges (Bus/Rail), such as Jarrow, Chichester, South Shields, Sunderland and Park Lane (see Appendix A). This is likely to be because the demand for these stations depends directly on other feeder modes: as such, more variability of surveyed demand is expected and hence poorer validation.

7.2 *Analisi di sensitività*

Di seguito sono riportati i risultati dell'analisi di sensitività effettuata variando le strutture tariffarie con rispettivamente 120%, 100% base case, 80% e 60% del costo del ticket.

Tali scenari sono stati identificati rispettivamente con le lettere A, B, C e D.

Inoltre ulteriori risultati sono riferiti alla simulazione dello scenario in cui è stato settato un sistema di tariffazione a zone esteso a tutta l'area del Tyne and Wear in modo da consentire la rappresentazione e modellazione di un sistema in cui sia possibile effettuare l'interscambio modale pagando una sola tariffa integrata tra i differenti servizi di trasporto quali metro, bus, treno locale.

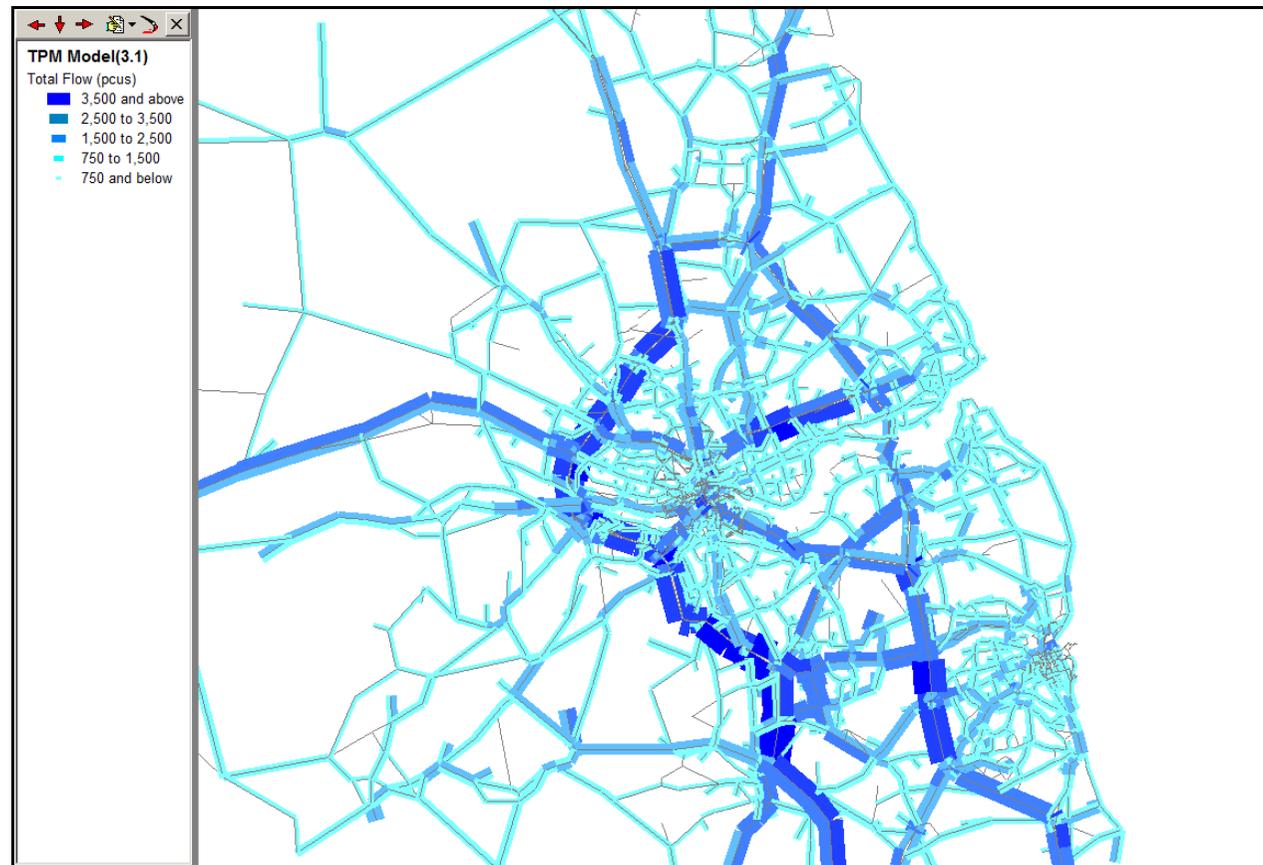


Figura 38 -

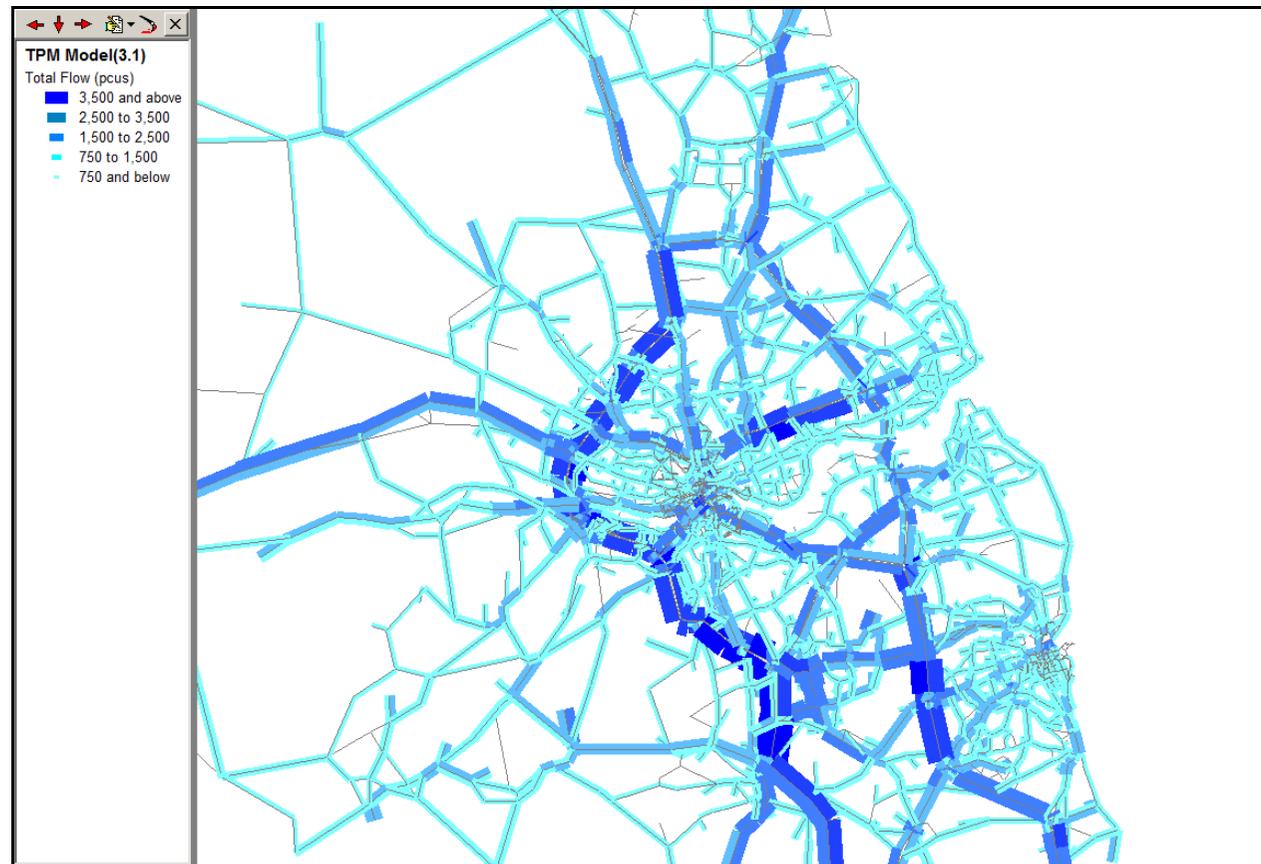


Figura 39 -

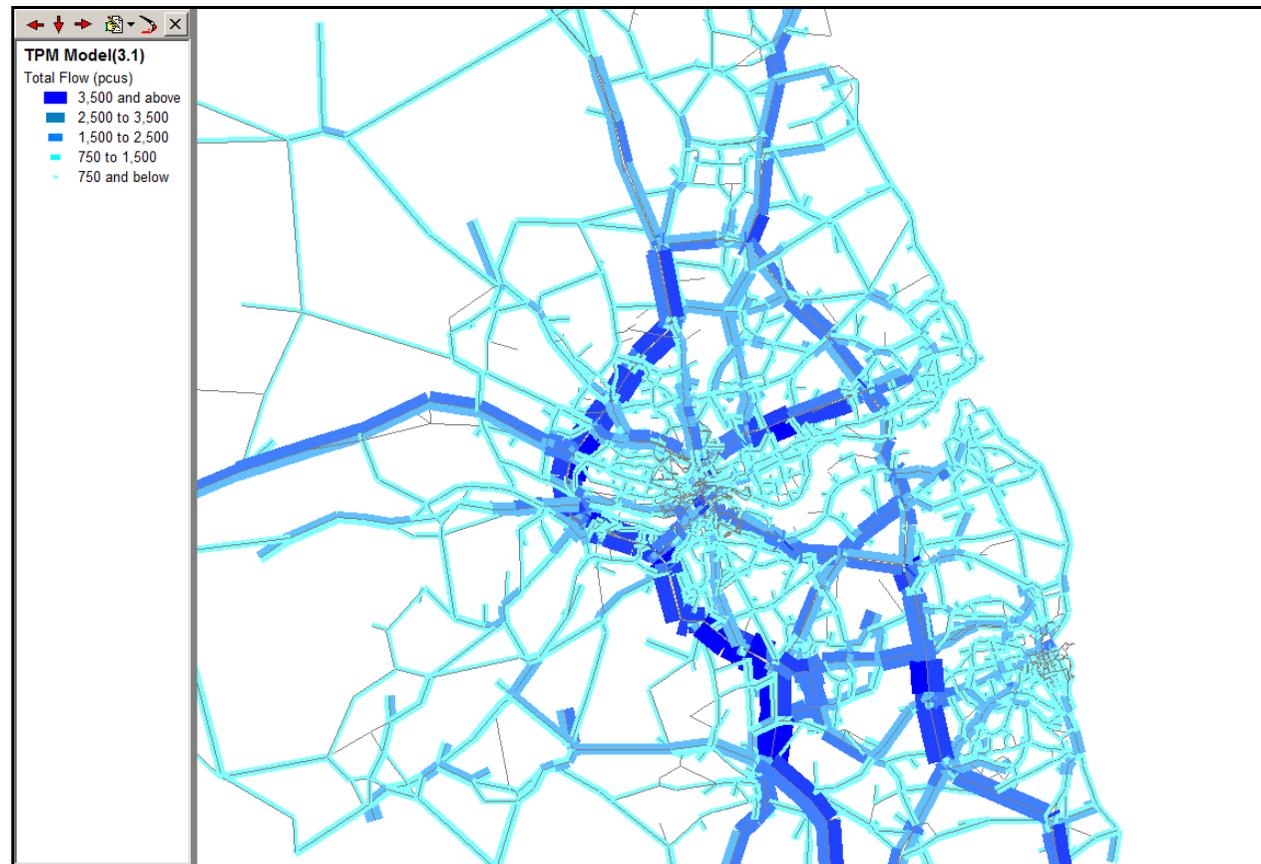


Figura 40 -

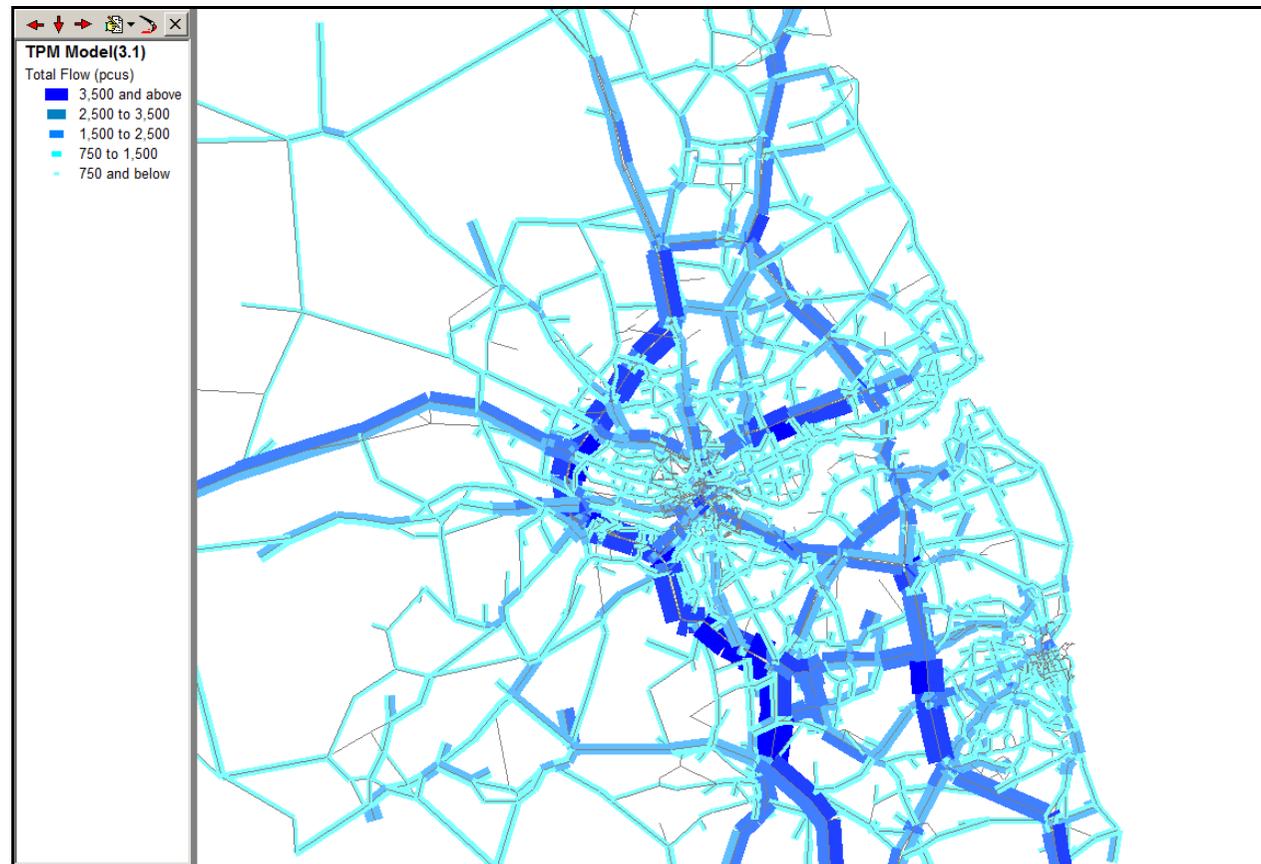


Figura 41 -



Figura 42 -



Figura 43 -

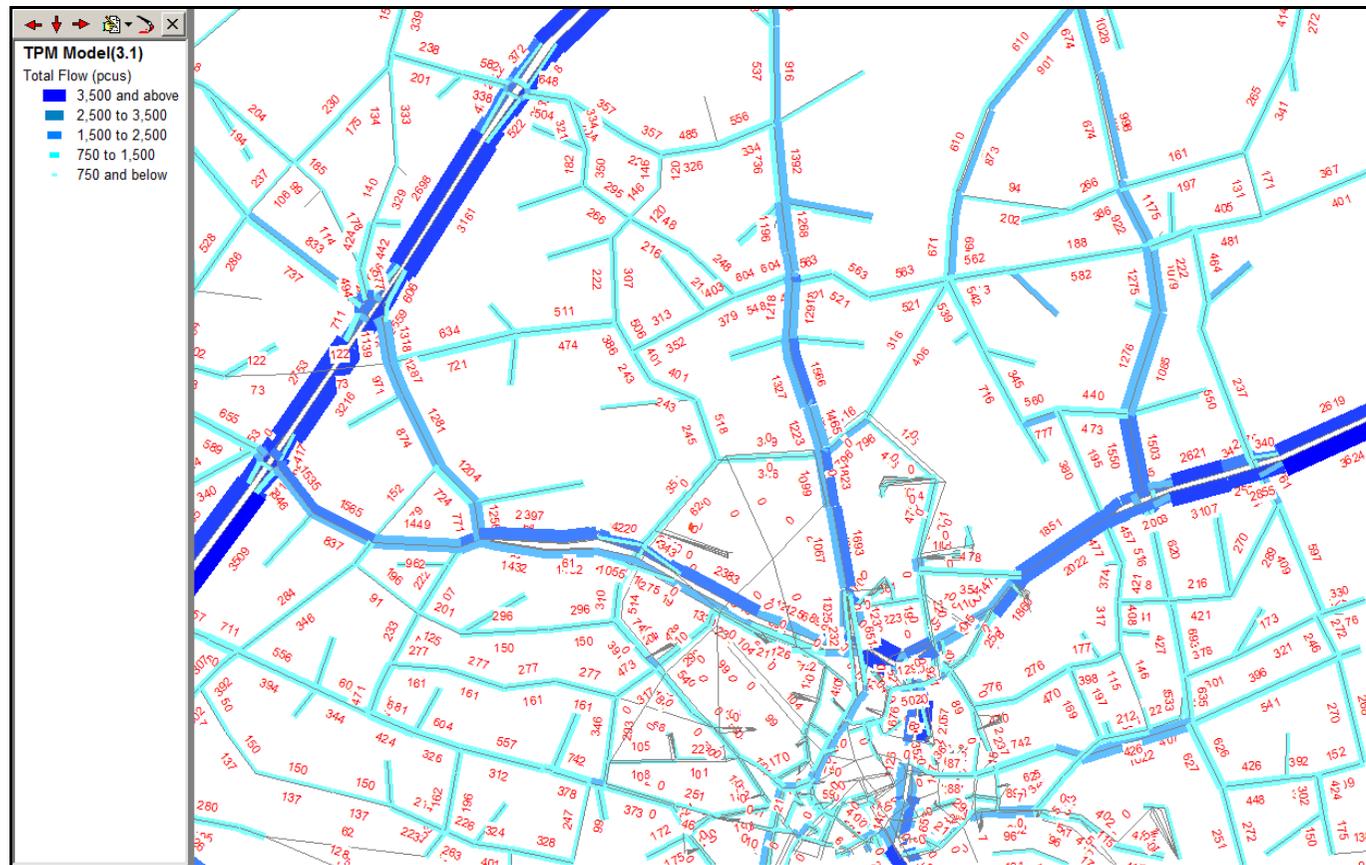


Figura 44 -

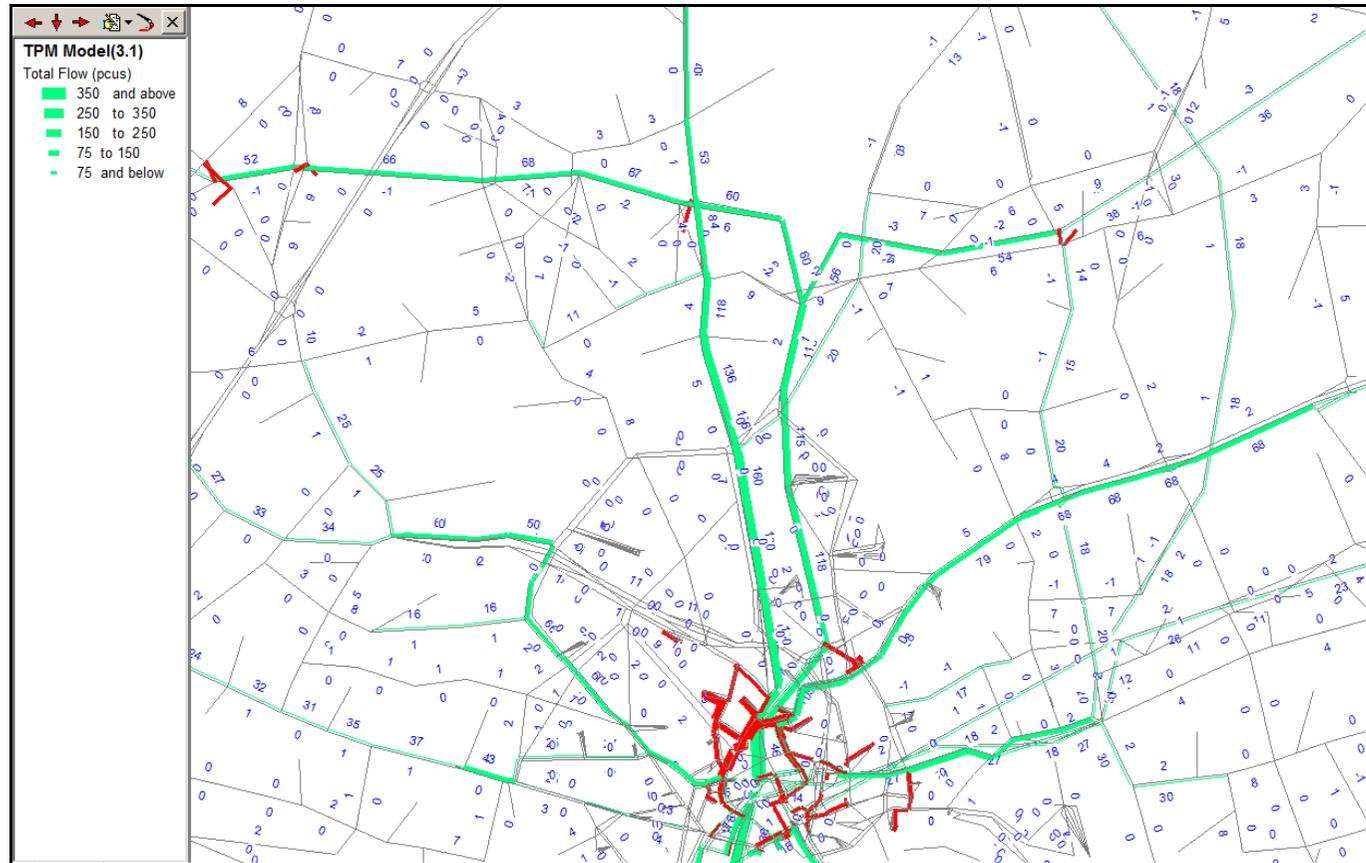


Figura 45 -

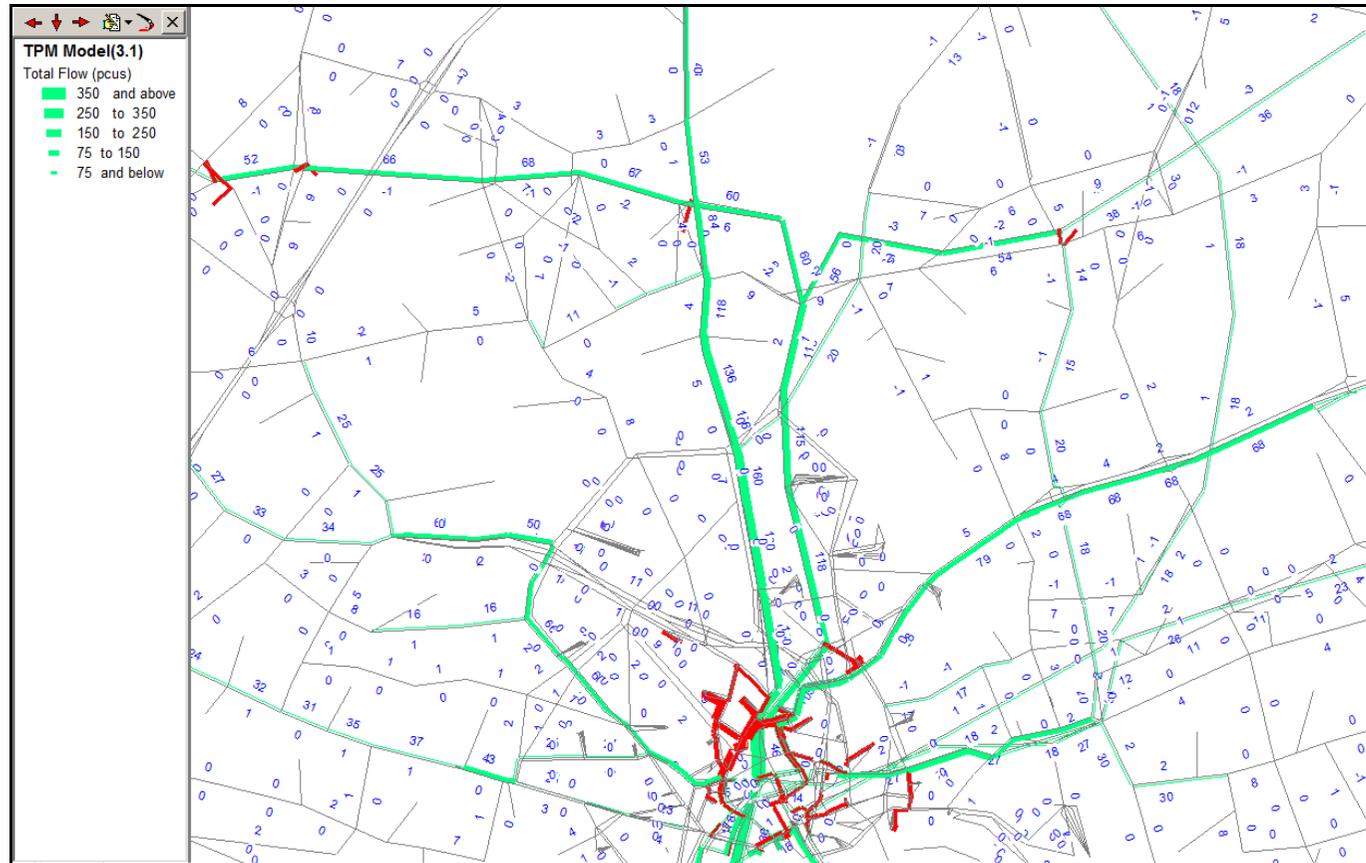


Figura 46 -

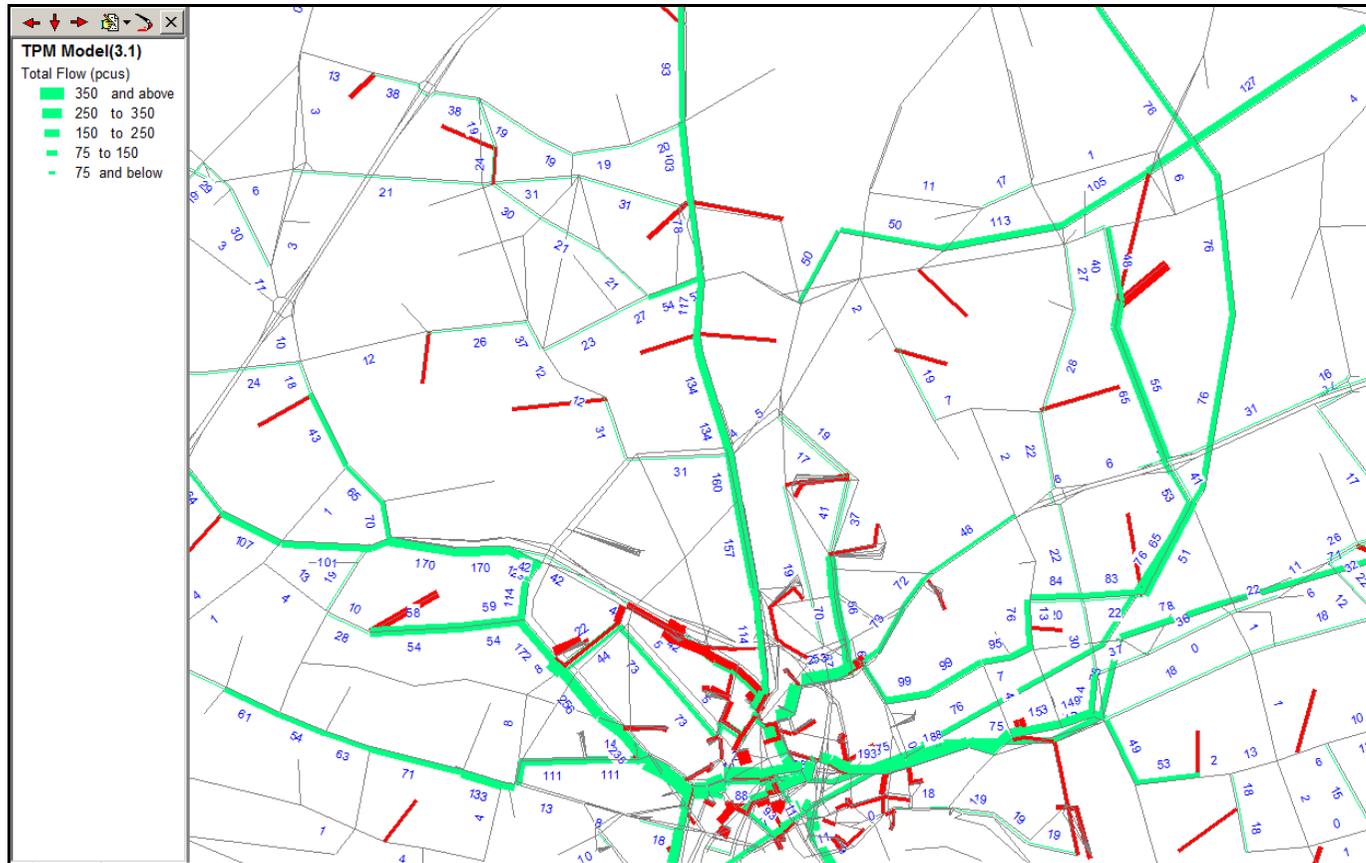


Figura 47 -

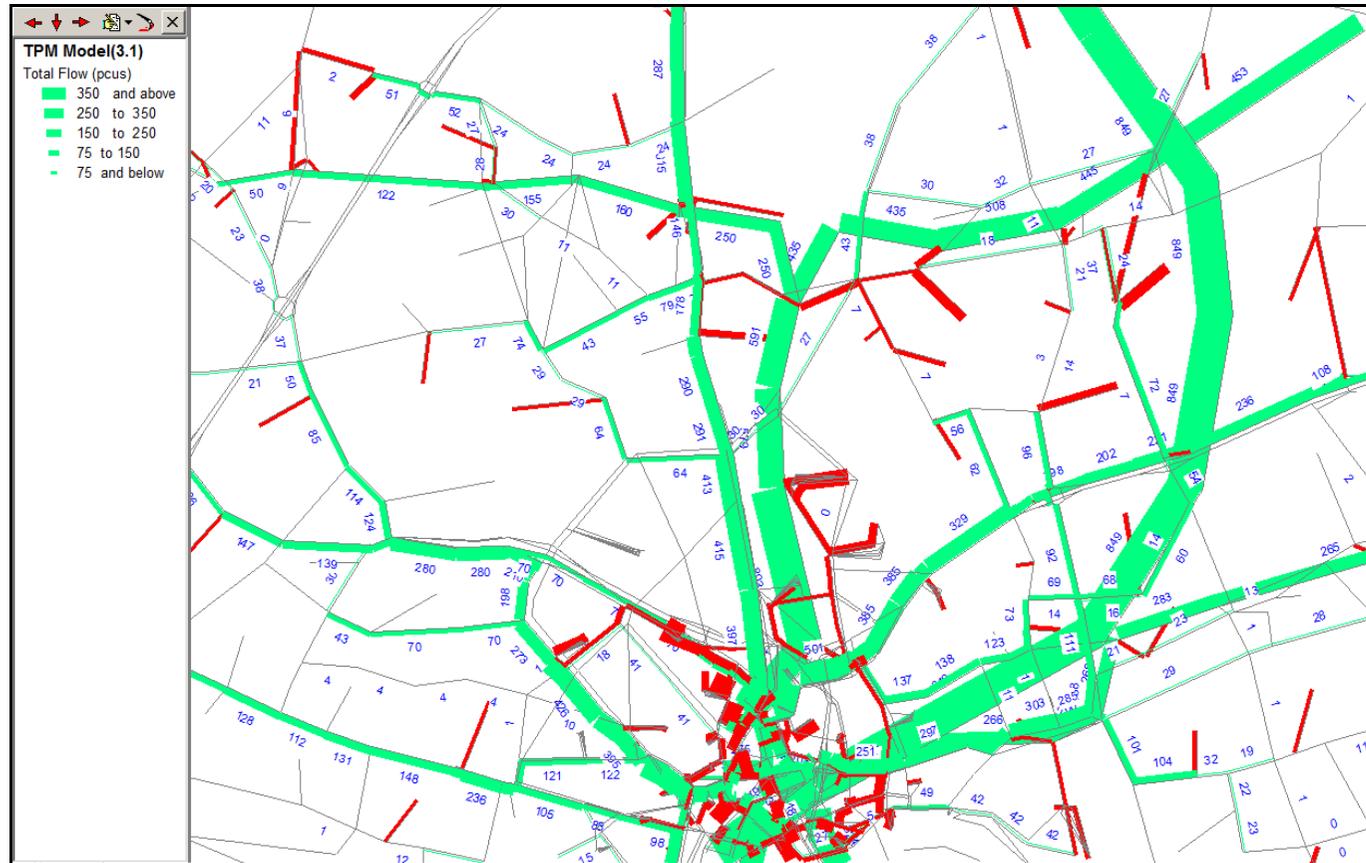


Figura 48 -

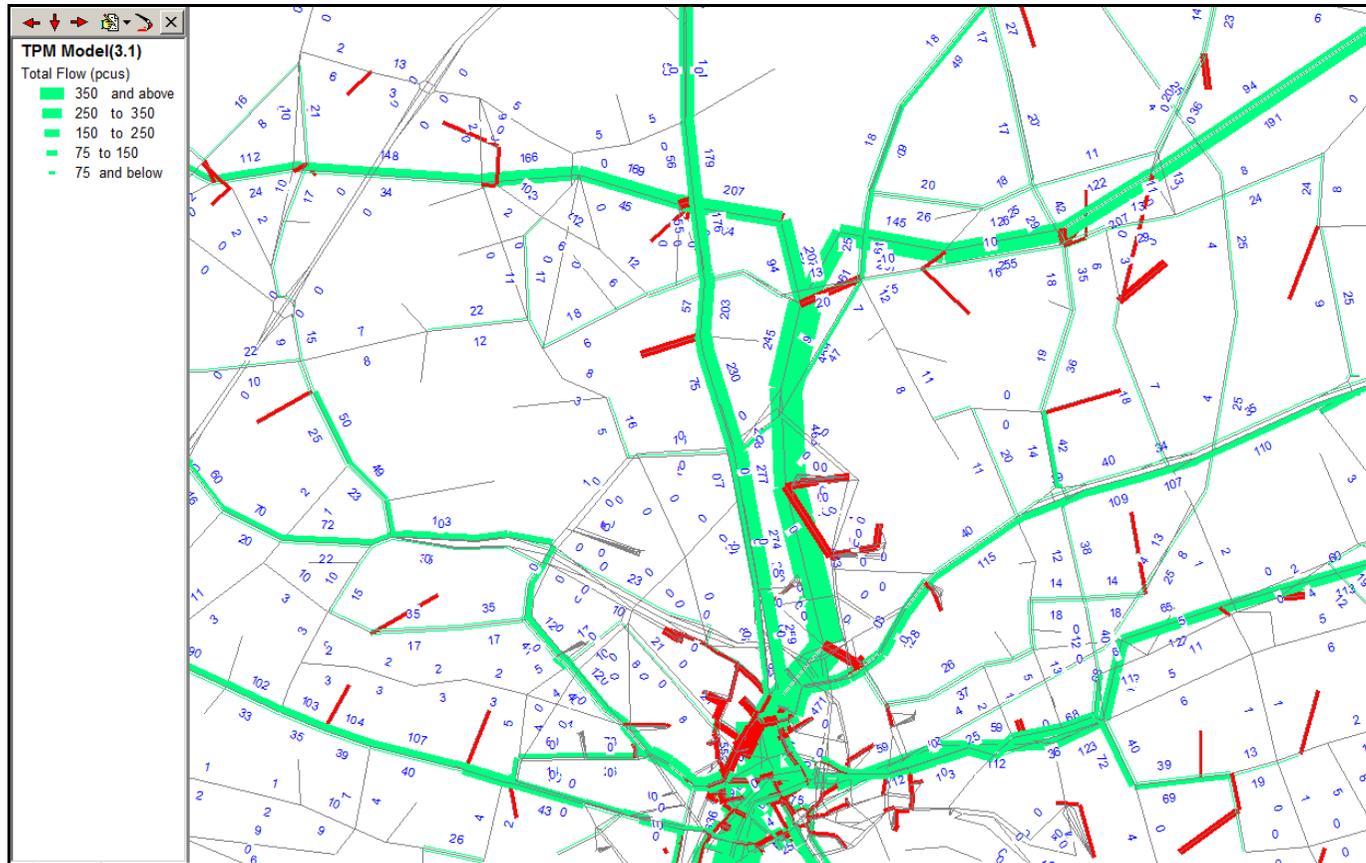


Figura 49 -

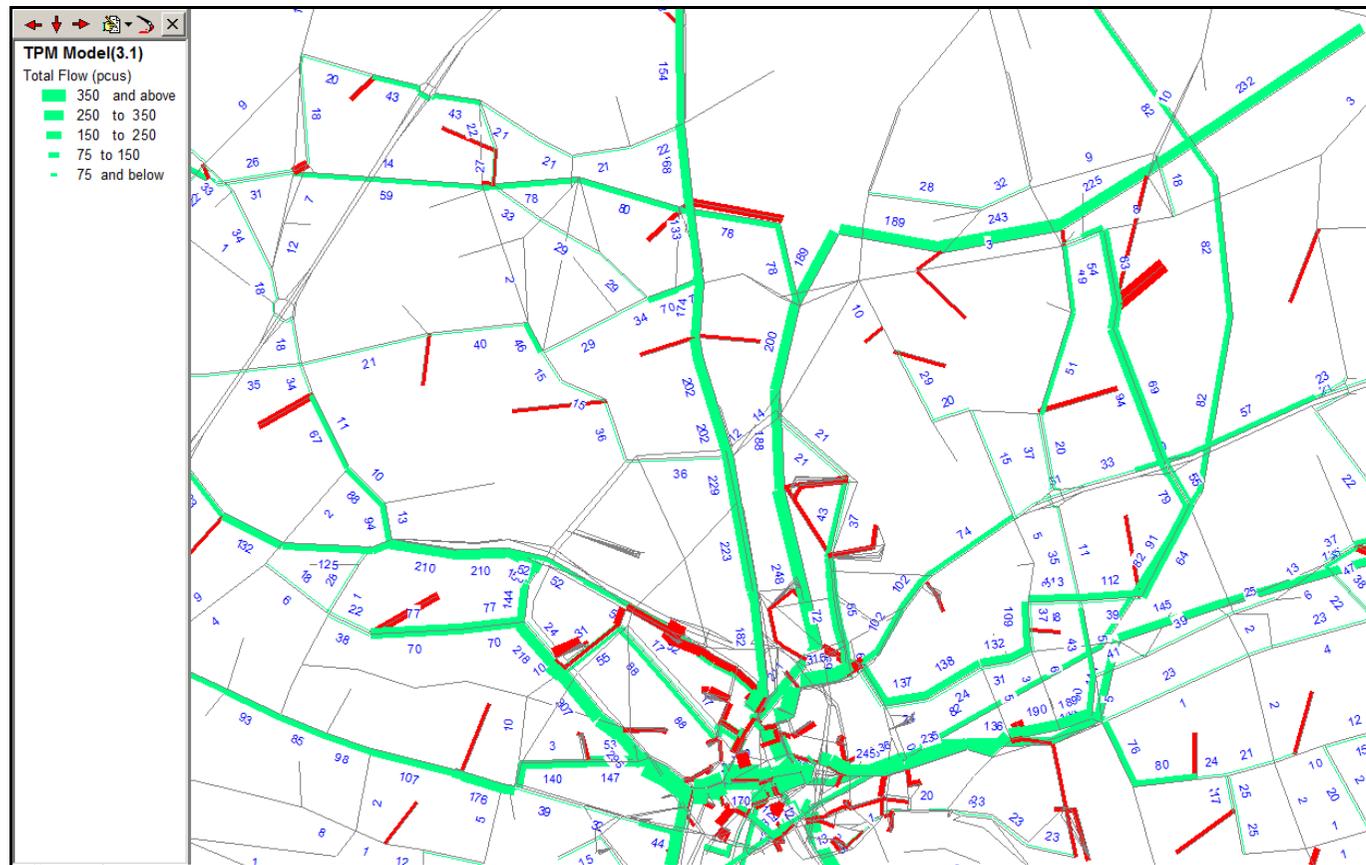


Figura 50 -

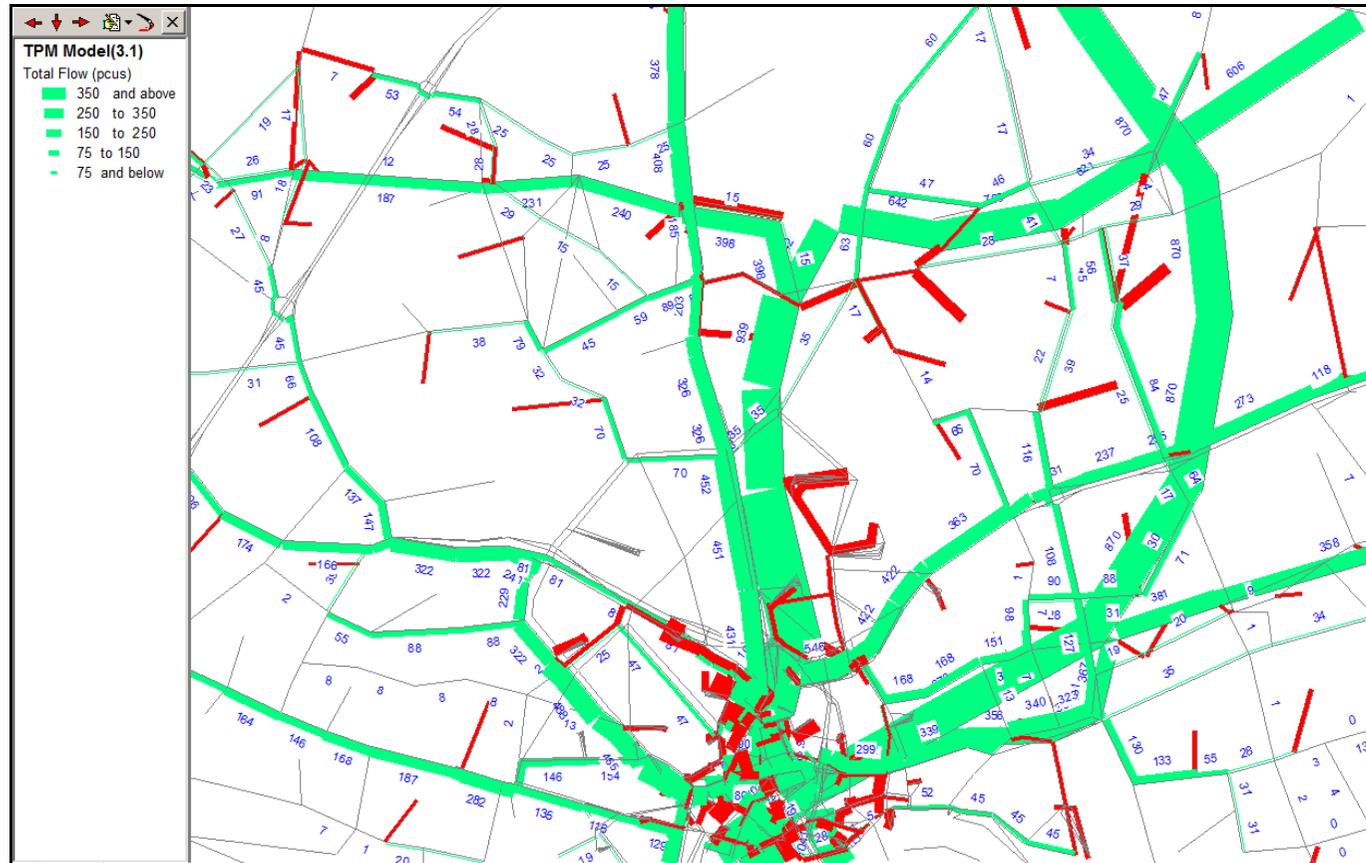


Figura 51 -

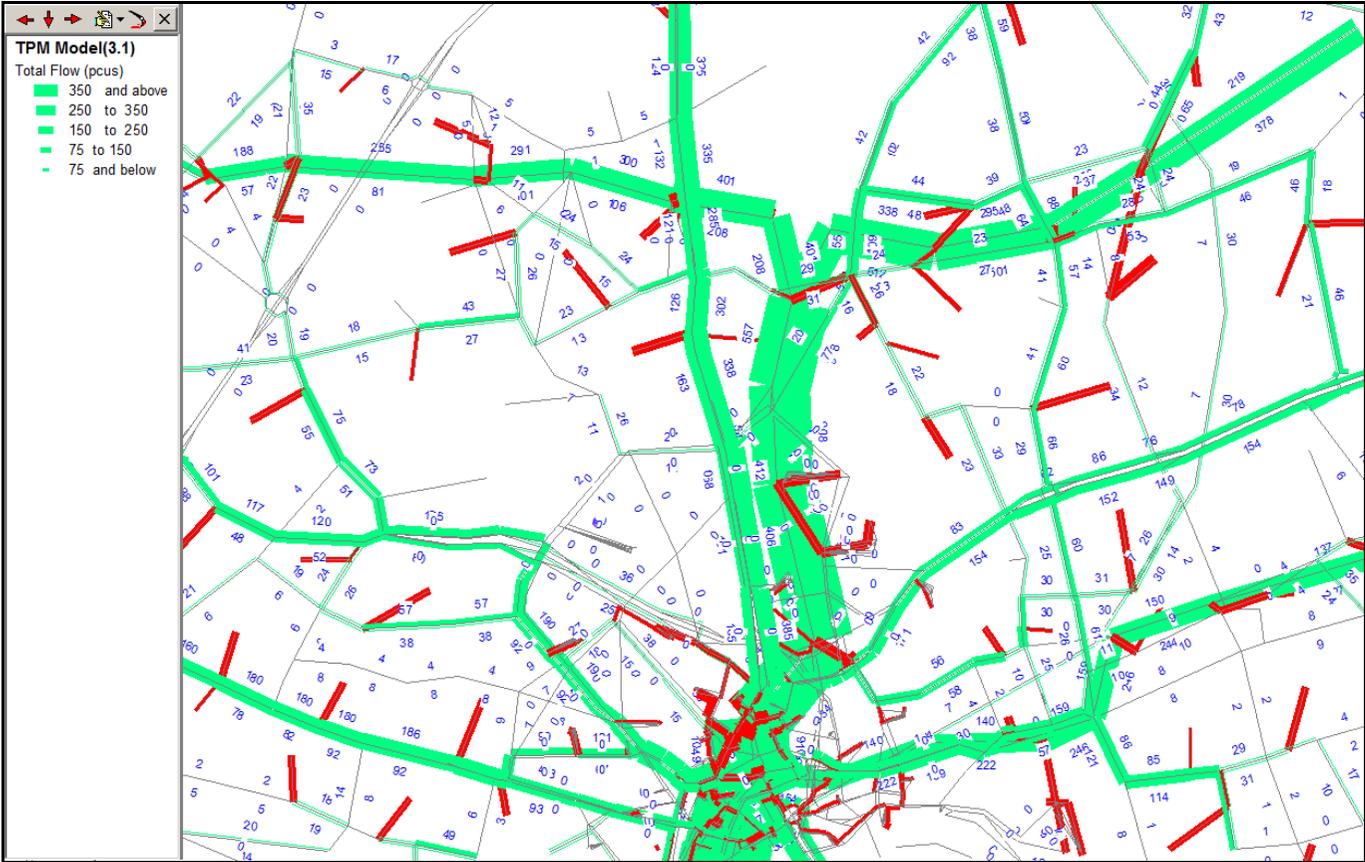


Figura 52 -

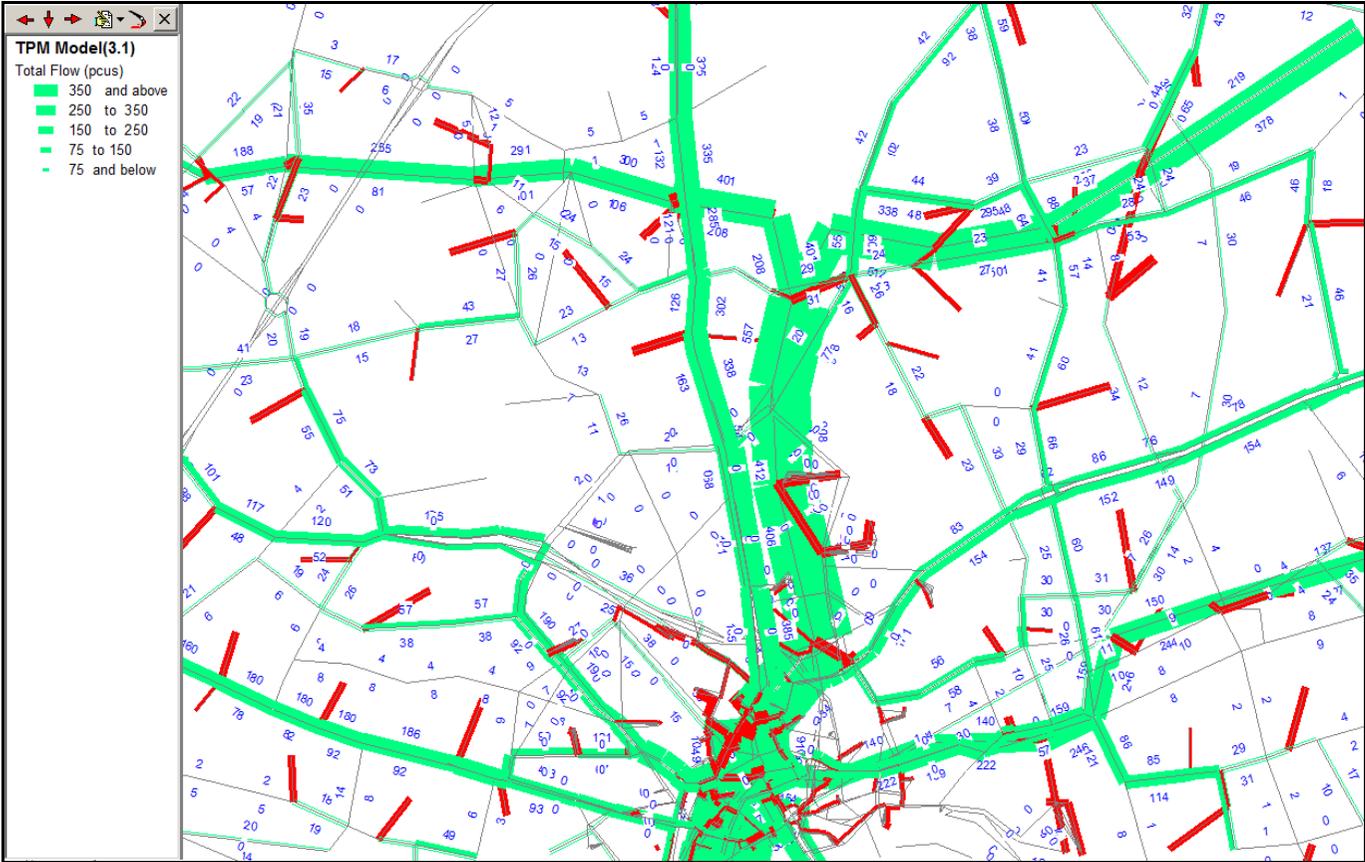


Figura 53 -

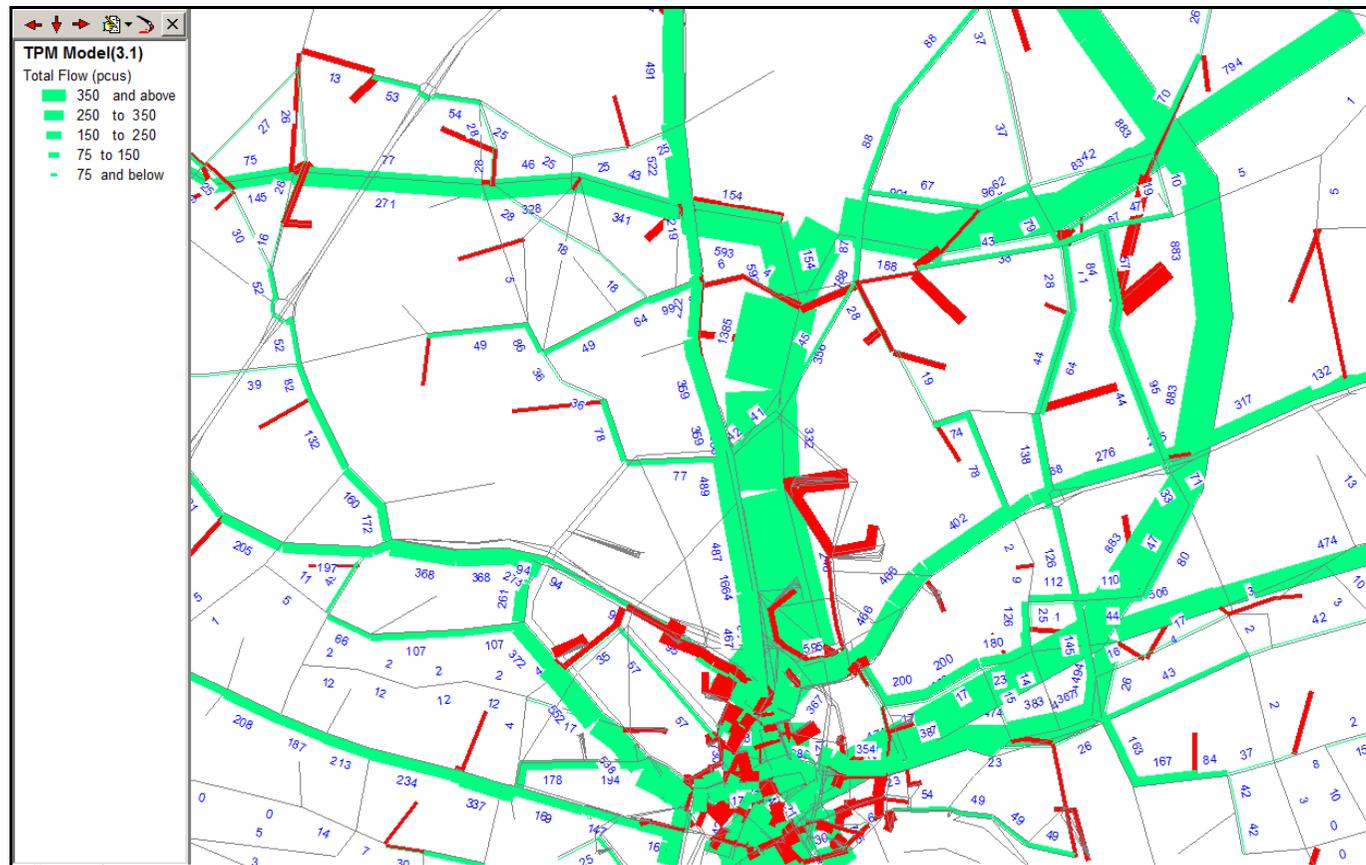


Figura 54 -

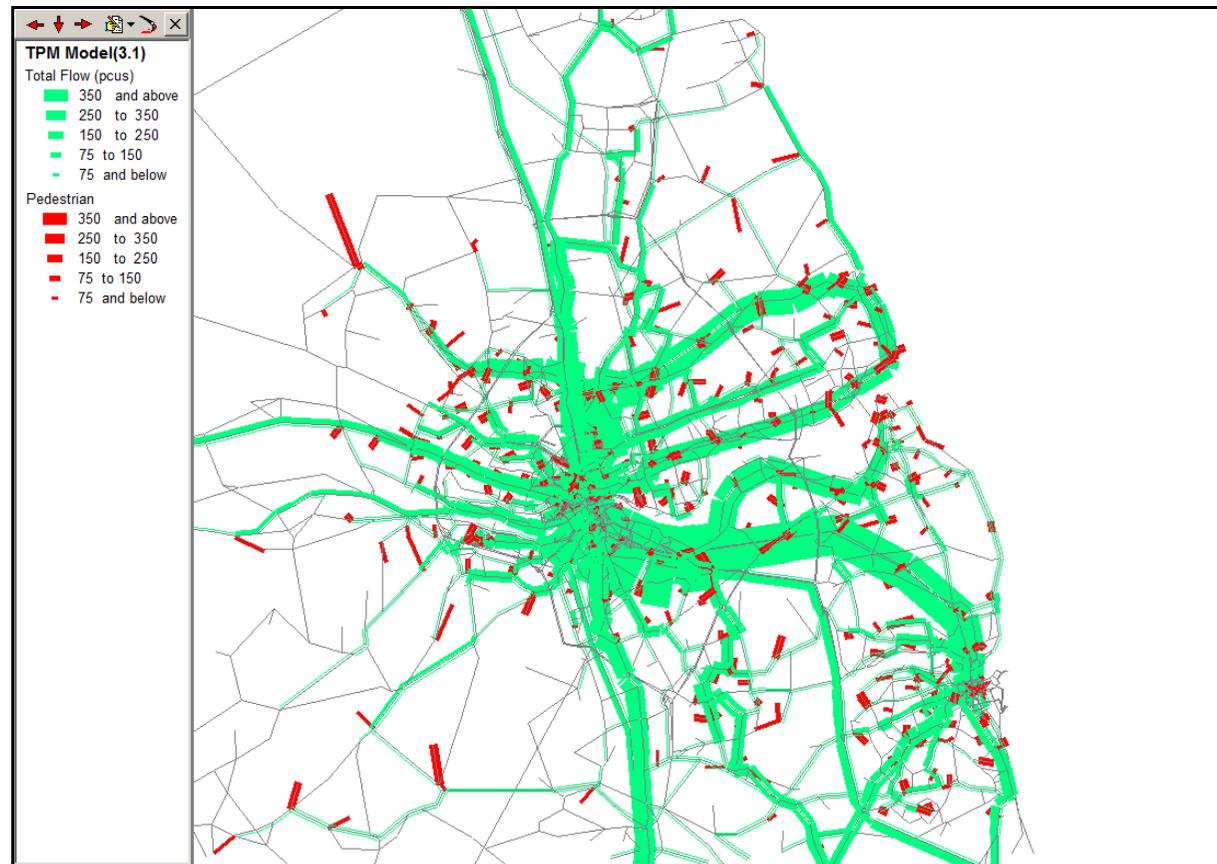


Figura 55 -

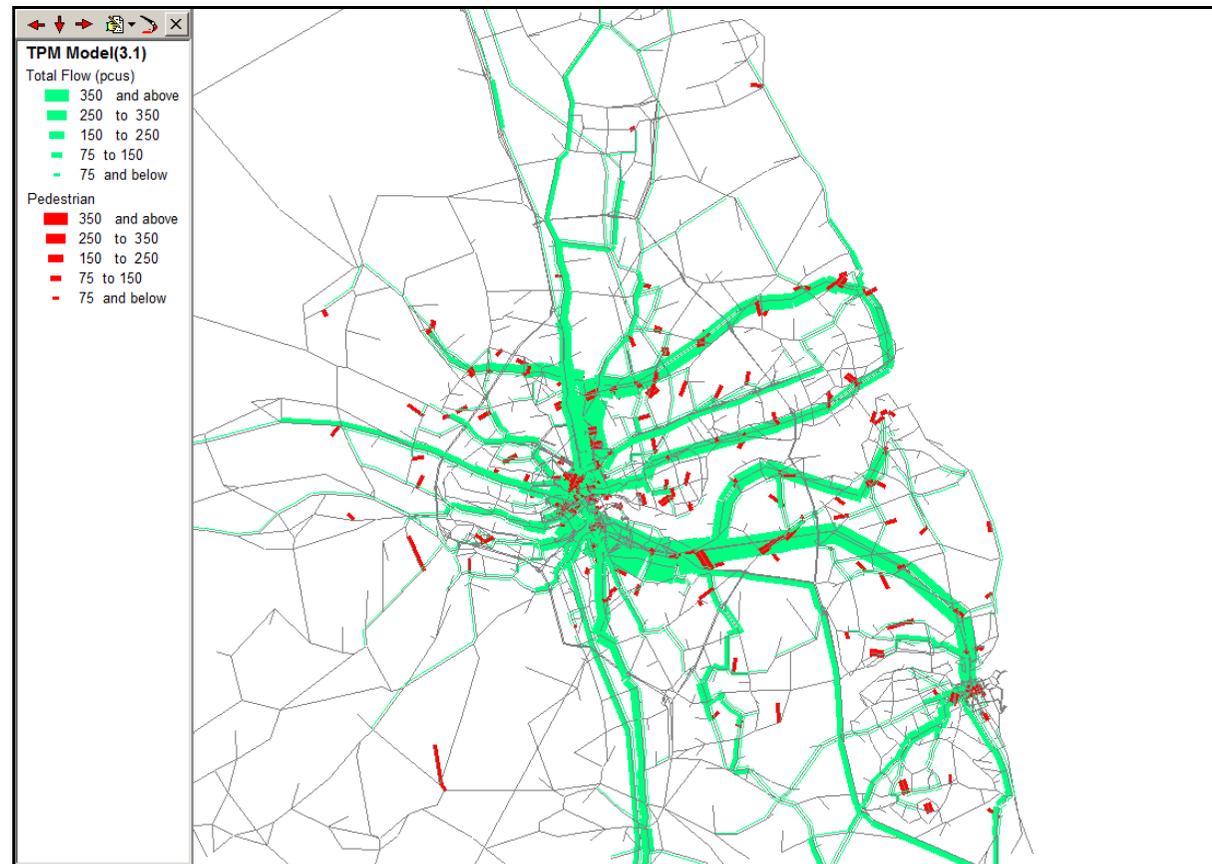


Figura 56 -



Figura 57 -

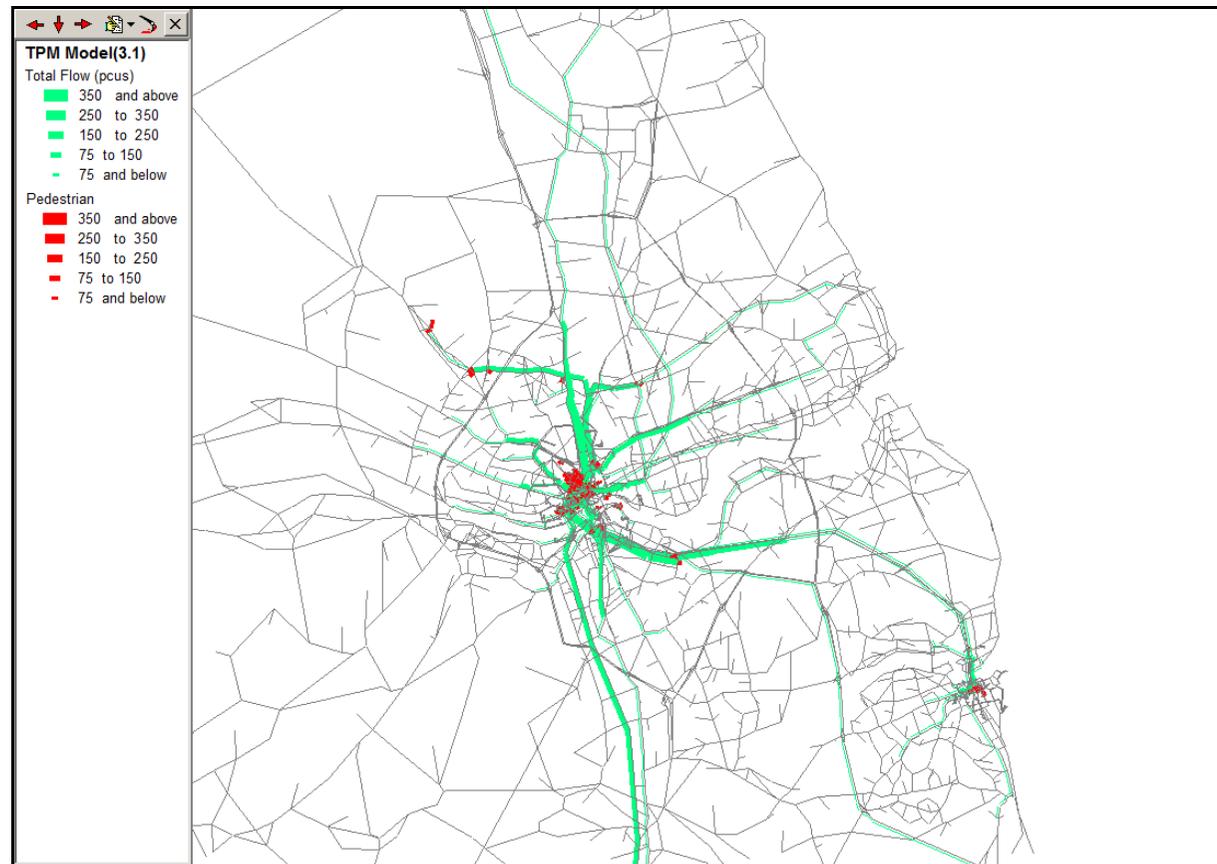


Figura 58 -

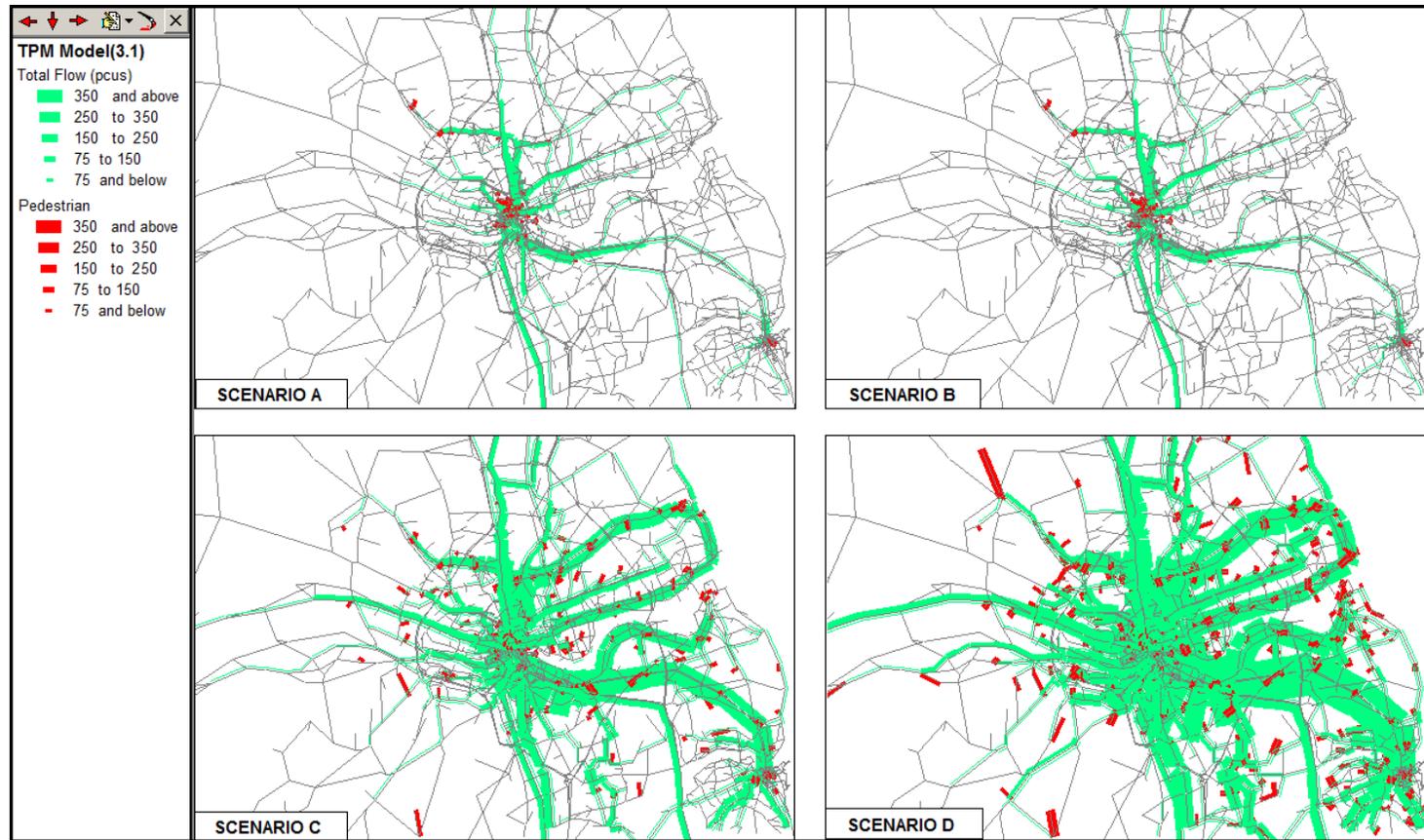


Figura 59 -

CAPITOLO 8

CONCLUSIONI

I criteri economici non possono essere più considerati come l'unico parametro per la pianificazione e per la gestione delle reti di trasporto pubblico. È necessario l'introduzione di un parametro che tenga conto del contributo inquinante dei servizi, per essere in grado di scegliere quello meno impattante e al minor costo. Per far ciò devono essere considerati una quantità di parametri e dati che sono di difficile gestione per gli operatori.

In questa ricerca si è sviluppato un sistema di supporto alle decisioni in cui viene considerato come parametro discriminante le emissioni di CO₂ per passeggero, in maniera tale che i manager degli operatori autobus siano capaci di scegliere un futuro più sostenibile per il sistema di trasporto da loro gestito.

Per la modellazione dei flussi e dei servizi di trasporto su gomma, è stato utilizzato il CUBE/TPM e sono state scelte come casi studio le linee sovvenzionate dalla PTE, che sono quelle più inquinanti perché possiedono un basso livello di occupazione e vi operano gli autobus più vetusti e inquinanti.

Tramite delle campagne si raccolta dei dati, che sono stati aggiunti al database del DSS, si è riscontrata una scarsa affidabilità dei servizi di linea che si verifica quando il tempo previsto è inferiore al tempo reale di percorrenza della tratta. Inoltre, considerando la particolare struttura tariffaria vigente nel Regno Unito si sono trovati i tempi di salita e discesa a seconda delle caratteristiche dei passeggeri. In particolare si è notato che i tempi per la salita e discesa dei passeggeri relativi ai passeggeri che usano le travelcards sono simili e l'utilizzo di questa tipologia di biglietto minimizza i tempi di salita/discesa, quindi si ha una riduzione del dwell time che implica una migliore aderenza dei tempi percorrenza alle tabelle ufficiali. Per tale motivo, sarebbe auspicabile l'introduzione delle smart

card non solo nelle linee sussidiate ma anche in quelle commerciali, dove il numero di persone che utilizzano il trasporto pubblico è molto maggiore.

Inoltre, a causa di differenti condizioni fisiche, i concessionary impiegano più tempo a salire sull'autobus mentre i passeggeri che impiegano più tempo in assoluto sono coloro che comprano i biglietti direttamente dall'autista.

Infine, il sistema ha valutato l'opportunità d'integrare la linea autobus con il servizio di metropolitana, che in precedenza era in competizione diretta con lo stesso servizio. Si è trovato che dividendo il servizio autobus in due servizi con tratte di minori lunghezza ma maggiormente penetranti nelle zone residenziali, è possibile incrementare il numero di passeggeri che utilizza il servizio diminuendo le emissioni inquinanti del servizio stesso fino al 40%, ed incrementando la frequenza grazie all'utilizzo della metropolitana.

Uno degli sviluppi futuri della ricerca sarà l'applicazione del sistema alle altre linee sussidiate, in modo da ridurre al minimo le emissioni inquinanti e la ridondanza del sistema a favore dell'integrazione tra il sistema autobus e metropolitana.

Inoltre la stessa metodologia potrebbe essere applicata al contesto siciliano, eseguendo piccole modifiche in quanto la struttura tariffaria, il comportamento dell'utenza e la tipologia di autobus utilizzata sono differenti.

BIBLIOGRAFIA

PUBBLICAZIONI

- [1] Beattie C.I., J.W.S. Longhurst and N.K. Woodfield (2001) Air quality management: evolution of policy and practice in the UK as exemplified by the experience of English local government. *Atmospheric Environment* 35:1479-1490
- [2] Arentze, T.A. and H.J.P. Timmermans (2000) *A spatial decision support system for retail plan generation and impact assessment*, Transportation Research. Part C: Emerging Technologies. vol. 8. no. 1-6. 361-380
- [3] Matzoros, Athanasios (2002) *Decision Support Systems for Public Transport Management: The Athens Public, Transport Authority Project*, Transportation Planning and Technology, pg. 215 — 237
- [4] Boitani A. e Cambini C. (2003), “*Le gare per i servizi di trasporto locale in Europa e in Italia: molto rumore per nulla?*”, Workshop HERMES – Moncalieri
- [5] Boitani A. and C. Cambini (2006) *To bid or not to bid, this is the question: the Italian experience in competitive tendering for local public service*. *European Transport* 9/33: 41-53
- [6] Cohen G. and K. M. Crawford (1978) *A Problem in Estimating Bus Stop Times*. *Journal of the Royal Statistical Society, Series C (Applied Statistics)*, 27/2:139-148
- [7] Dueker, K., T.J. Kimpel, J.G. Strathman and S. Callas (2004) *Determinants of Bus Dwell Time*. *Journal of Public Transportation* 7/1: 21-40
- [8] Morris M., S. Ison and M. Enoch (2005) *The role of Uk local authorities in promoting the bus*. *Journal of Public Transportation*, 8/5: 25-40
- [9] Ryan K. (1979) *Validating a bus operations simulation model*. Paper presented at the Winter Simulation Conference
- [10] White P. (2006) *Competition in public transport in Great Britain*. *European Transport* 9/33: 63:82
- [11] Goodwin P. (1999) *Transformation of transport policy in Great Britain* Transportation Research Part A 33/655-669
- [12] Giordano R. (2007), “*Studio per la pianificazione del riassetto organizzativo e funzionale del trasporto pubblico locale della regione siciliana: Il quadro di contesto e la normativa di settore in materia di Trasporto Pubblico*. Lo stato dell’arte e gli sviluppi futuri”, C.S.S.T.
- [13] Amirante R. (2007), “*Studio per la pianificazione del riassetto organizzativo e funzionale del trasporto pubblico locale della regione siciliana: Analisi della domanda e dell’offerta*”, C.S.S.T.

- [14] Fouracre, P. R., Sohail, M. and Cavill, S.(2006) *A Participatory Approach to Urban Transport Planning in Developing Countries*, Transportation Planning and Technology,29:4,313 — 330
- [15] Clowes D. J. Bus stop information – *Experience in the deregulated environment*, W S Atkins Consultants Ltd, UK
- [16] Dimitrios A. Tsamboulas D.A. and G. K. Mikroudis (2006) *TRANS-POL: A mediator between transportation models and decision makers' policies* Decision Support Systems 42, pg. 879– 897
- [17] Matzoros, Athanasios (2002) *Decision Support Systems for Public Transport Management: The Athens Public Transport Authority Project*', Transportation Planning and Technology, pg. 215 — 237
- [18] Ferreira L. and Charles P. and Tether C. (2007) *Evaluating Flexible Transport Solutions* ,Transportation Planning and Technology, pg.249 — 269
- [19] Hentschel D. and Wiegand K. (1987) *Operational planning in local public transport using interactive graphic systems*, Transportation Planning and Technology,11:4,299 — 309
- [20] Hickman R. and Hall P.(2008) *Moving the City East: Explorations into Contextual Public Transport orientated Development*,Planning Practice and Research,23:3,323 — 339
- [21] Pedersen P. (1981) *Planning the structure of public transport networks in low density areas*, Transport Reviews,1:1,25 — 43
- [22] Benwell M. and Brög W. (1983) *Attitude research and public participation in transport planning: a critical discussion of some key problems*, Transport Reviews,3:1,51 — 76
- [23] Brake, J.F. and Nelson, J.D. (2007) *A case study of flexible solutions to transport demand in a deregulated environment*, Journal of Transport Geography
- [24] Brake, J.F., Nelson, J.D., Murphy, S.M and Wright, S.D. (2005) *A ten year vision for Demand Responsive Transport services in the UK.*, Contract Report.Transport Operations Research Group, University of Newcastle upon Tyne

- [25] Brake, J F, Nelson, J D and Wright, S D (2004) *Demand responsive transport: towards the emergence of a new market segment* Journal of Transport Geography
- [26] Mageean, J.F., Nelson, J.D. and Wright, S.D. (2003) *Demand Responsive Transport: Responding to the Urban Bus Challenge*. Paper for AET Conference, Strasbourg
- [27] Mageean, J.F., Nelson, J.D., Thorpe, N. and Sayers, T.M. (2001) *Public Consultation and Local Transport Plans: A Case Study of Tyne and Wear*. Proc. AET Conference, Cambridge
- [28] Mageean, J.F. and Nelson, J.D. (2001) *Some observations on the organisation of demand responsive transport services* *Transporti Europei*, 7(17), 49-57.
- [29] Hull A. (2005) *Integrated transport planning in the UK: From concept to reality*, *Journal of Transport Geography* 13 (2005) 318–328
- [30] May, A. D.(1991) *Integrated transport strategies: a new approach to urban transport policy formulation in the U.K.*, *Transport Reviews*,11:3,223 — 247
- [31] De Meo, P. e G. Quattrone, D. Ursino (2008) *A decision support system for designing new services tailored to citizen profiles in a complex and distributed e-government scenario*, *Data & Knowledge Engineering* 67, 161–184
- [32] Wardman M. (2001) *A review of British evidence on time and service quality valuations*, *Transportation Research Part E* 37, 107-128
- [33] Tricker R (2007) *Assessing cumulative environmental effects from major public transport projects*, *Transport Policy* 14 (2007) 293–305
- [34] Currie G., I. Wallis (2008) *Effective ways to grow urban bus markets – a synthesis of evidence*, *Journal of Transport Geography* 16 (2008) 419–429
- [35] Loader C., J. Stanley (2009) *Growing bus patronage and addressing transport disadvantage: The Melbourne experience*, *TransportPolicy* 16, 106–114
- [36] Currie G., Rose J. (2008) *Growing patronage – Challenges and what has been found to work*, *Research in Transportation Economics* 22, 5–11

- [37] Preston J. (2001) *Integrating transport with socio-economic activity ± a research agenda for the new millennium*, Journal of Transport Geography 9 (2001) 13±24
- [38] Van Wee B. (2002) *Land use and transport: research and policy challenges*, Journal of Transport Geography 10 (2002)259–271
- [39] Sergio Jara-Díaz S., A. Tirachini, C. Cortés (2008) *Modeling public transport corridors with aggregate and disaggregate demand*, Journal of Transport Geography 16 (2008) 430–435
- [40] Ongkittikul S., H. Geerlings (2006) *Opportunities for innovation in public transport: Effects of regulatory reforms on innovative capabilities*, Transport Policy 13, 283–293
- [41] Optimal economic interventions in scheduled public transportq
- [42] Jansson K., H. Lang, D. Mattsson (2008) *Optimal economic interventions in scheduled public transport*, Research in Transportation Economics 23 30–40
- [43] Stradlin S., M. Carreno, T. Rye, A. Noble (2007) *Passenger perceptions and the ideal urban bus journey experience*, Transport Policy 14 (2007) 283–292
- [44] Holmgren J., J. Jansson, A. Ljungberg (2008) *Public transport in towns – Inevitably on the decline?*, Research in Transportation Economics 23 (2008) 65–74
- [45] Wardman M. (2004) *Public transport values of time*, Transport Policy 11 (2004) 363–377
- [46] Walker J. (2008) *Purpose-driven public transport: creating a clear conversation about public transport goals*, Journal of Transport Geography 16 (2008) 436–442
- [47] Janet Stanley J., K. Lucas (2008) *Social exclusion: What can public transport offer?* Research in Transportation Economics 22 (2008) 36–40
- [48] Geneletti D., S. Bagli., P. Napolitano, A. Pistocchi (2007) *Special Issue on Data and Scale Issues for SEA, E. João (Guest Editor) Spatial decision support for strategic environmental assessment of land use plans. A case study in southern Italy*, Environmental Impact Assessment Review 27 (2007) 408–423

- [49] Paulley N., R. Balcombe, R. Mackett, H. Titheridge, J. Preston, M. Wardman J., Shires, P. White (2006) *The demand for public transport: The effects of fares, quality of service, income and car ownership* Transport Policy 13 (2006) 295–306
- [50] Chien S., Y. Ding, e C. Wei (2002) *Dynamic Bus Arrival Time Prediction with Artificial Neural Networks* J. Transp. Engrg. Vol 128, Issue 5, pp. 429-438
- [51] EMTA(2008) Study on electronic ticketing in public transport
- [52] Cox W., Love J., Newton N., (1997), *Competition in Public Transport: International State of the Art*, 5th International Conference on Competition and Ownership in Passenger Transport, Leeds
- [53] LIN W.H., ZENG J. (1999) *An experimental study of real-time bus arrival time prediction with GPS data*, Transportation Research, 1666, pp. 101–109
- [54] CATHEY F.W., DAILEY D.J (2003) *A prescription for transit arrival/departure prediction using automatic vehicle location data*, Transp. Res. C, Emerg. Technol., 11,pp. 241–264
- [55] LIU H., ZUYLEN H.J.V., LINT H.V., CHEN Y., ZHANG K. (2005) *Prediction of urban travel times with intersection delays*. Proc. Eighth Int. IEEE Conf. on Intelligent Transportation Systems, pp. 1062–1067
- [56] White P.R. (1981), *Travelcard Tickets in Urban Public Transport*, in «Journal of Transport Economics and Policy», n. 15, pp. 17-34.
- [57] White P.R. (1985), *Demand for Unlimited Use Transit Passes. A Comment*, in «Journal of Transport Economics and Policy», n. 18, pp. 305-11.

TESTI DI RIFERIMENTO

- [58] Savage I. (1985) *The deregulation of bus services*, Gower Publishing Company Limited, Aldershot
- [59] Pickup L. e G. Stokes, S. Meadowcroft, P. Goodwin, B. Tyson, F. Kenny (1991) *Bus Deregulation in the Metropolitan Areas*, Avebury, Alder

- [60] Mackie P. e J. Preston (1996) *The local bus market: a case study of regulatory change*, Avebury, Aldershot
- [61] White P. (2009) *Public transport: its planning, management and operation*. Oxon: Routledge
- [62] Cascetta, E. (2006) *Modelli per i sistemi di trasporto. Teoria e applicazioni* UTET Università, Torino
- [63] AA.VV., a cura di Cantarella, G.E. (2001) *Introduzione alla tecnica dei trasporti e del traffico con elementi di economia dei trasporti* UTET, Torino
- [64] Gallo, M. (2002) *Appunti di Tecnica ed Economia dei trasporti* Università del Sannio, Facoltà d'ingegneria
- [65] Lo Presti, M. (1998) *Dispense di pianificazione dei trasporti*, Palermo
- [66] Bell, M.C. (1976) *Passenger Transport Interchange Between Inland Surface Modes A State of the Art Review* Direct Report No 10, Transport Operations Research Group (TORG), Department of Civil Engineering – Division of Transport Engineering
- [67] Bannister , D. and Pickup L. (2001) *Urban Transport and Planning – A bibliography with abstracts*, Alexandrine Press, Oxford
- [68] Bannister , D. and Hall P. (1981) *Transport and Public Policy Planning* Mansell, London - The Institution of Highways and Transportation (1997) *Transport in the Urban Environment*, Mayhew, McCrimmon Printers Ltd, Essex
- [69] Bannister D. (1997) *Transport Regulations Matters*, McConville, London

SITI INTERNET

- [70] Stern report (09 -2006) HM Treasury Site:
<http://www.webcitation.org/5nCeyEYJr>
- [71] European Climate Change Programme, 2005,
http://ec.europa.eu/clima/policies/eccp/index_en.htm
- [72] <http://www.citilabs.com/>
- [73] http://www.mongabay.com/igapo/2005_world_city_populations/2005_city_population_01.html
- [74] <http://www.dft.gov.uk/pgr/statistics/datatablespublications/tsgb/latest/tsgb2010public.pdf>

Bibliografia

- [75] http://europa.eu/legislation_summaries/competition/specific_sectors/transport/124488_en.htm
- [76] <http://www.tap.iht.org/>
- [77] www.dssresources.com

Figure 1 Coast Road Outbound Journey Time Comparison – Route 3 – Before Calibration Adjustments

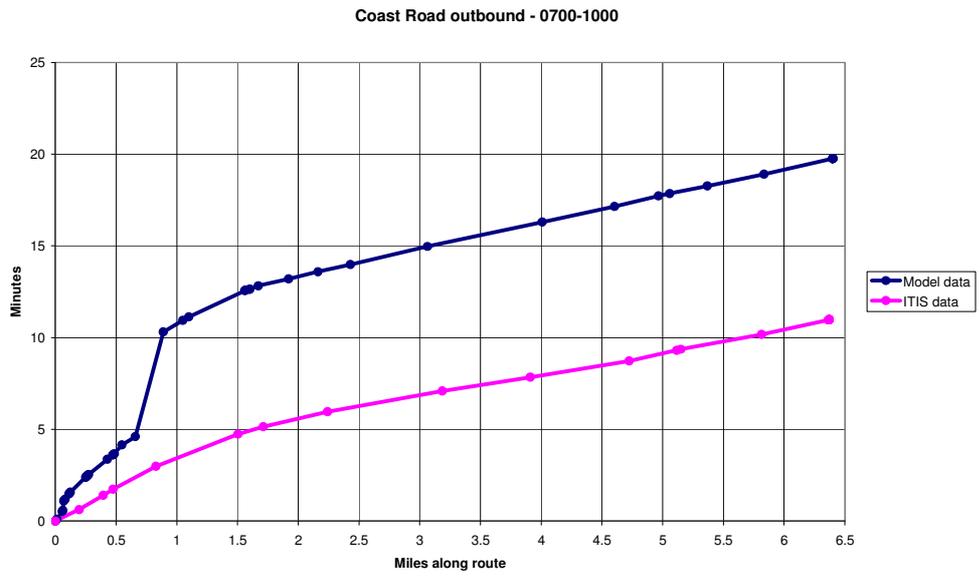


Figure 2 Coast Road Outbound Journey Time Comparison – Route 3

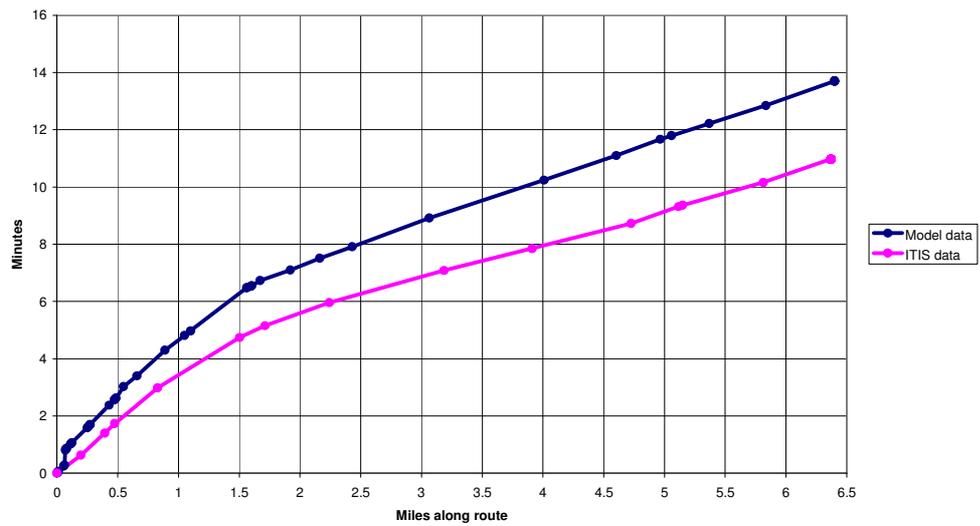


Figure 3 Coast Road Inbound Journey Time Comparison – Route 3 – Before Calibration Adjustments

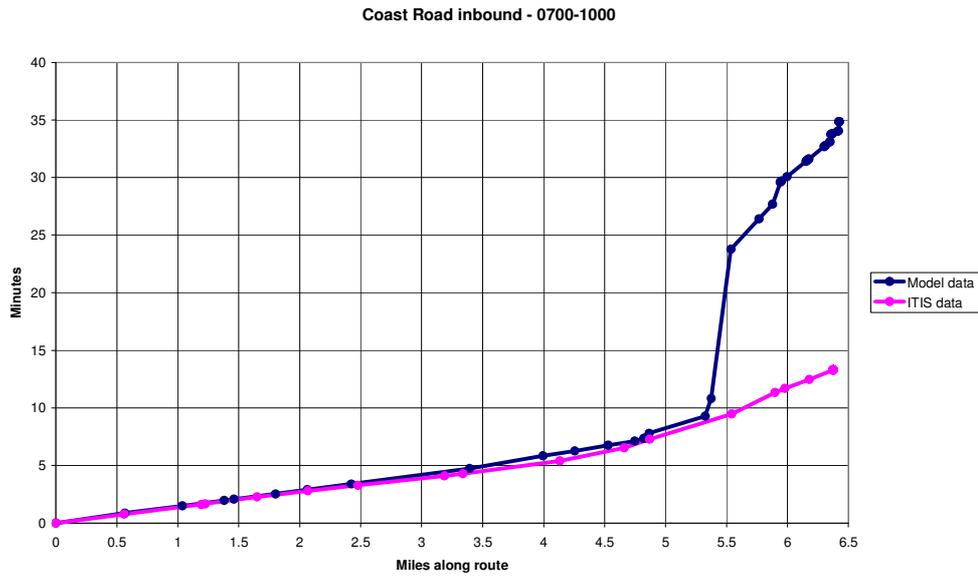


Figure 4 Coast Road Inbound Journey Time Comparison – Route 3

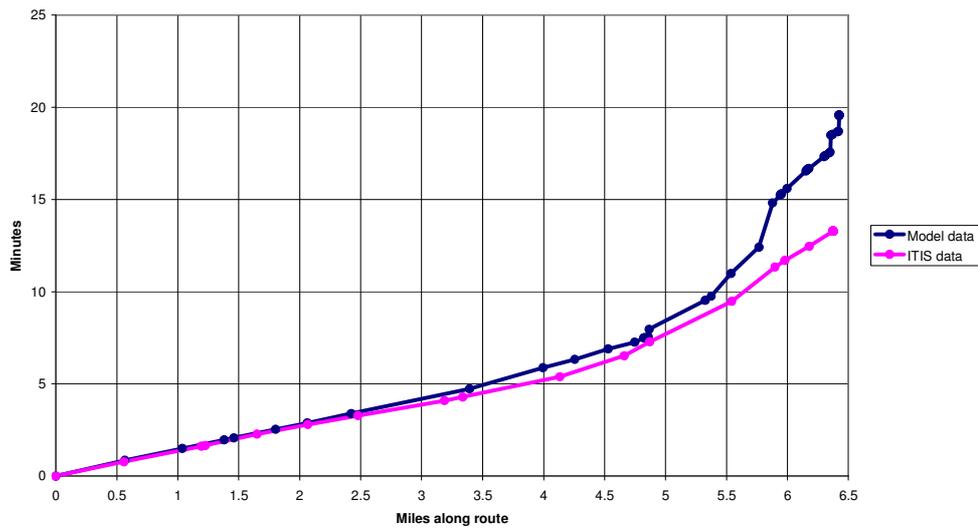


Figure 5 Great North Road Outbound Journey Time Comparison – Route 2

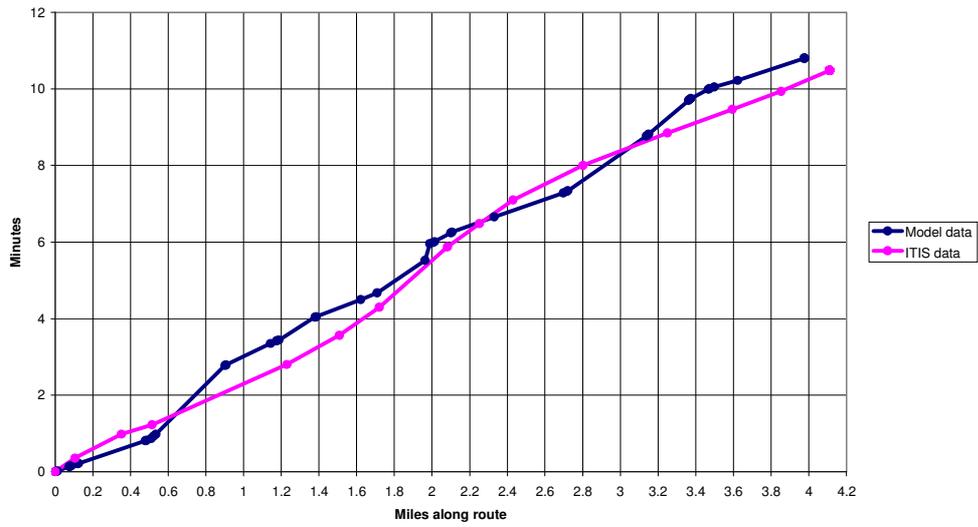


Figure 6 Great North Road Inbound Journey Time Comparison – Route 2

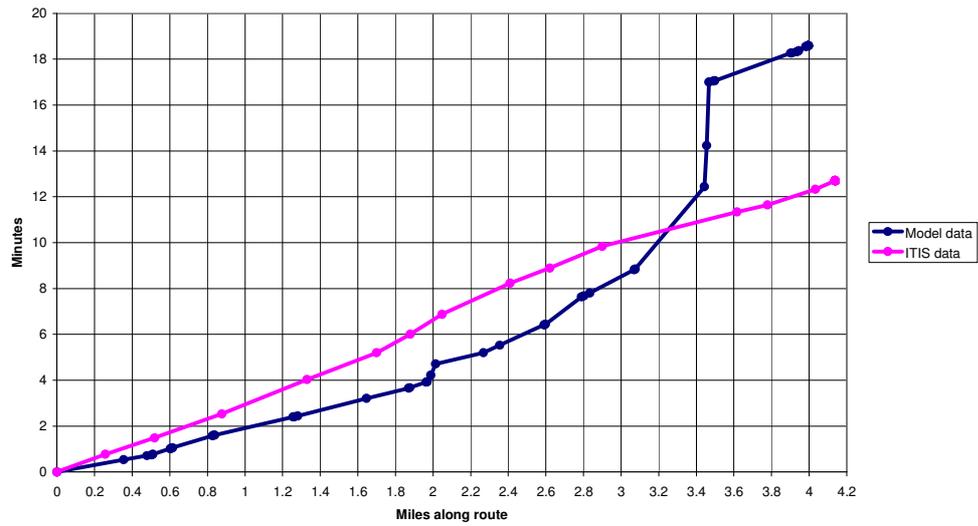


Figure 7 Great North Road Inbound Journey Time Comparison – Route 2 – Before Calibration Adjustments

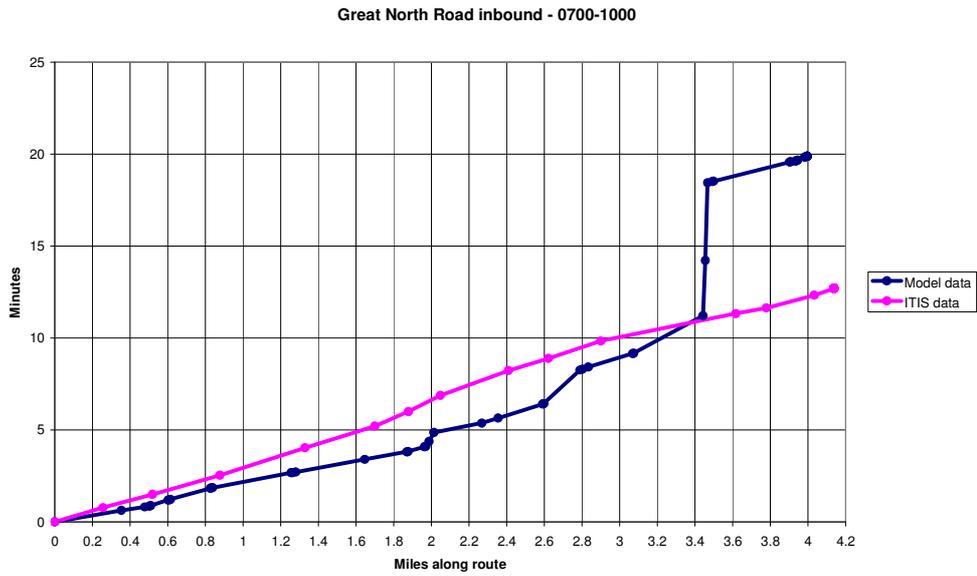


Figure 8 Central Motorway Northbound Journey Time Comparison -Route 4 – Before Calibration Adjustments

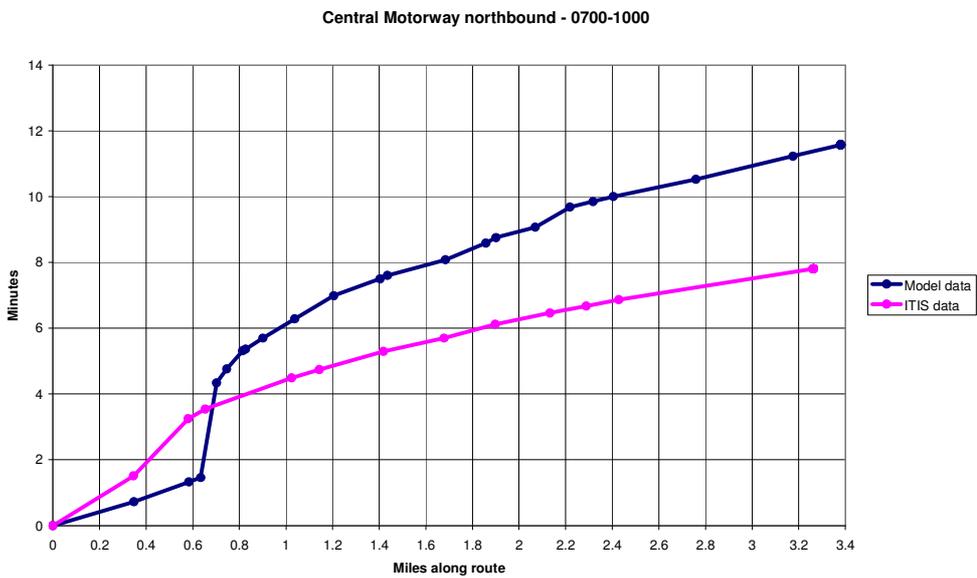


Figure 9 Central Motorway Northbound Journey Time Comparison -Route 4

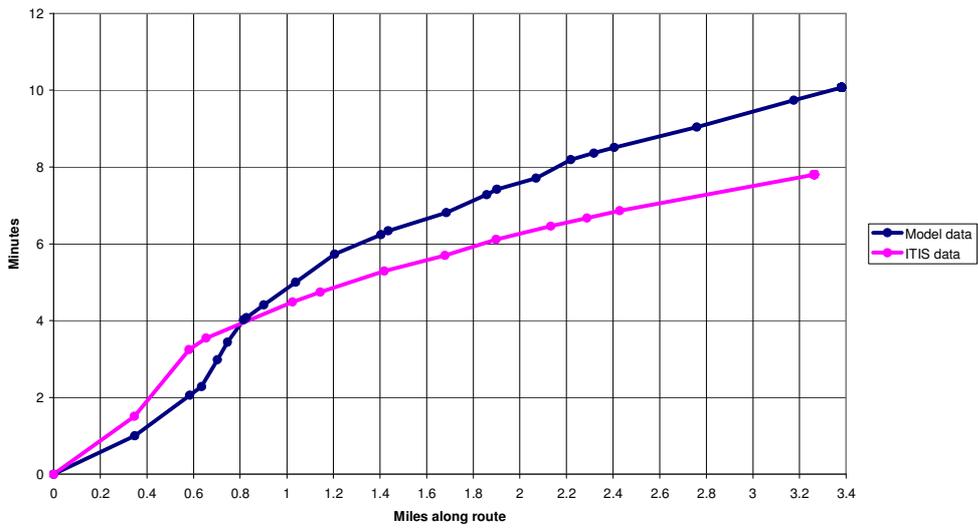


Figure 10 Central Motorway Southbound Journey Time Comparison – Route 4 - Before Calibration Adjustments

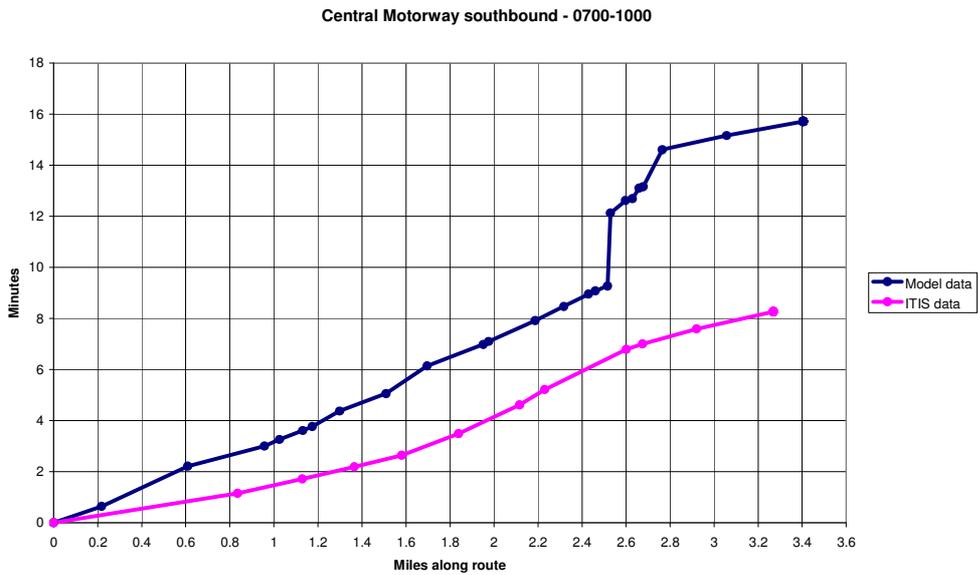
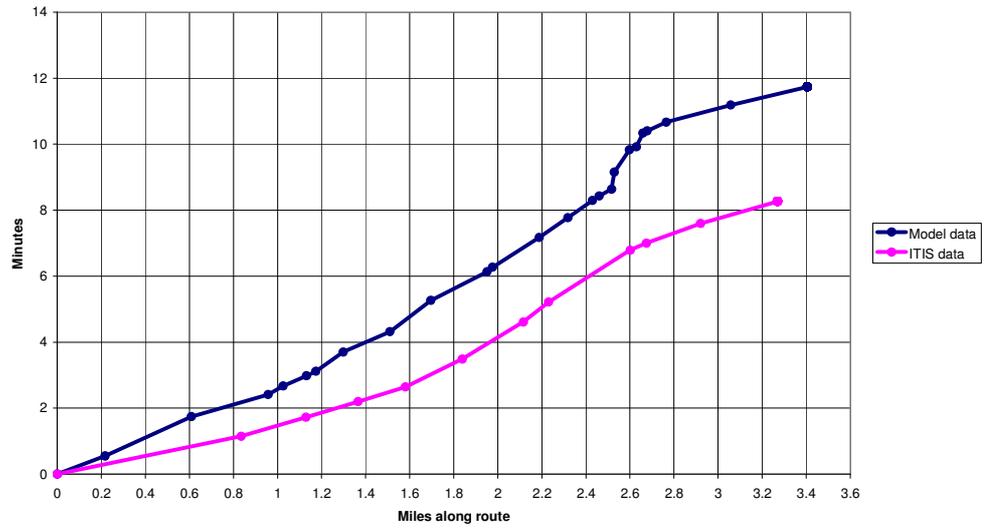
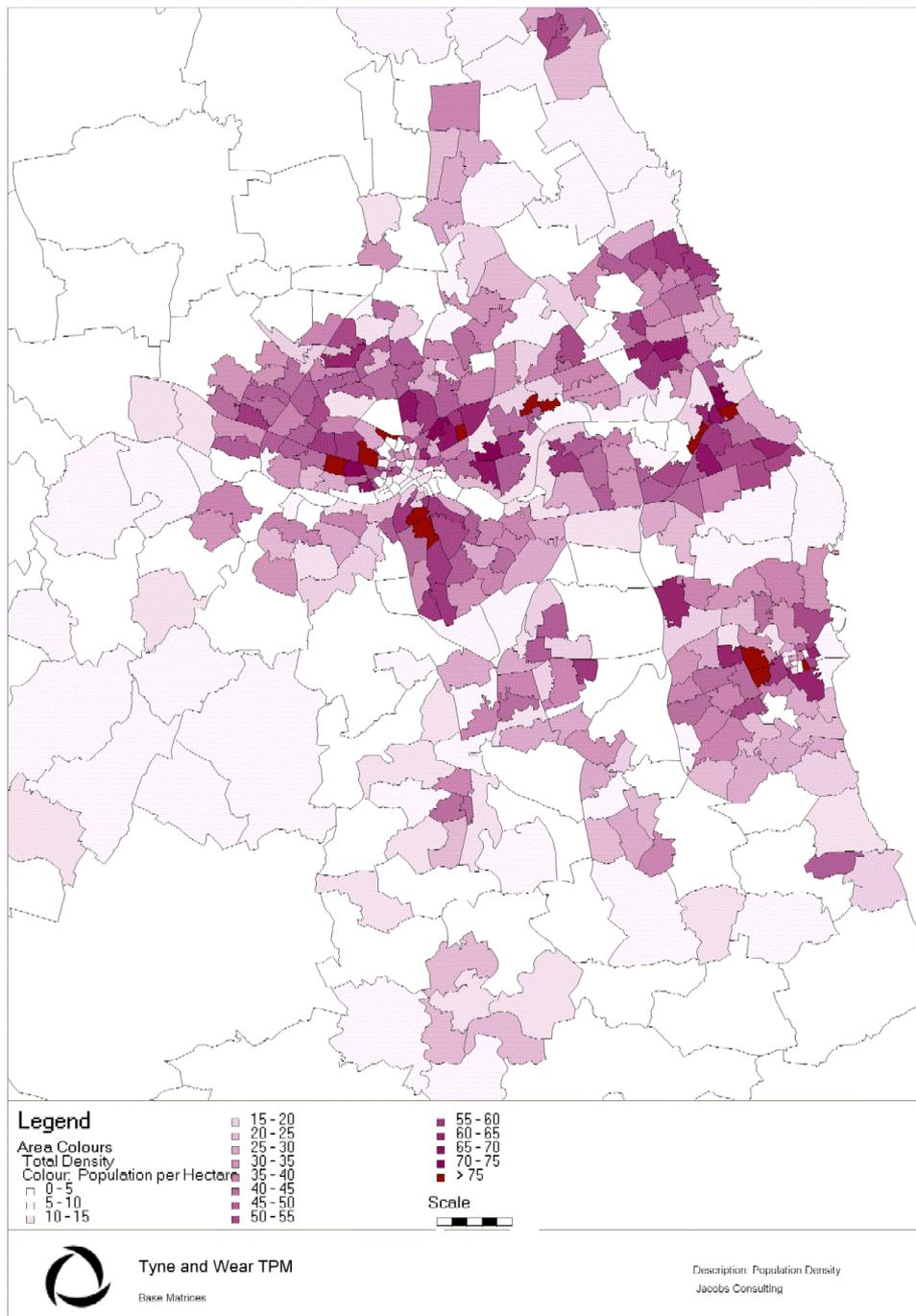
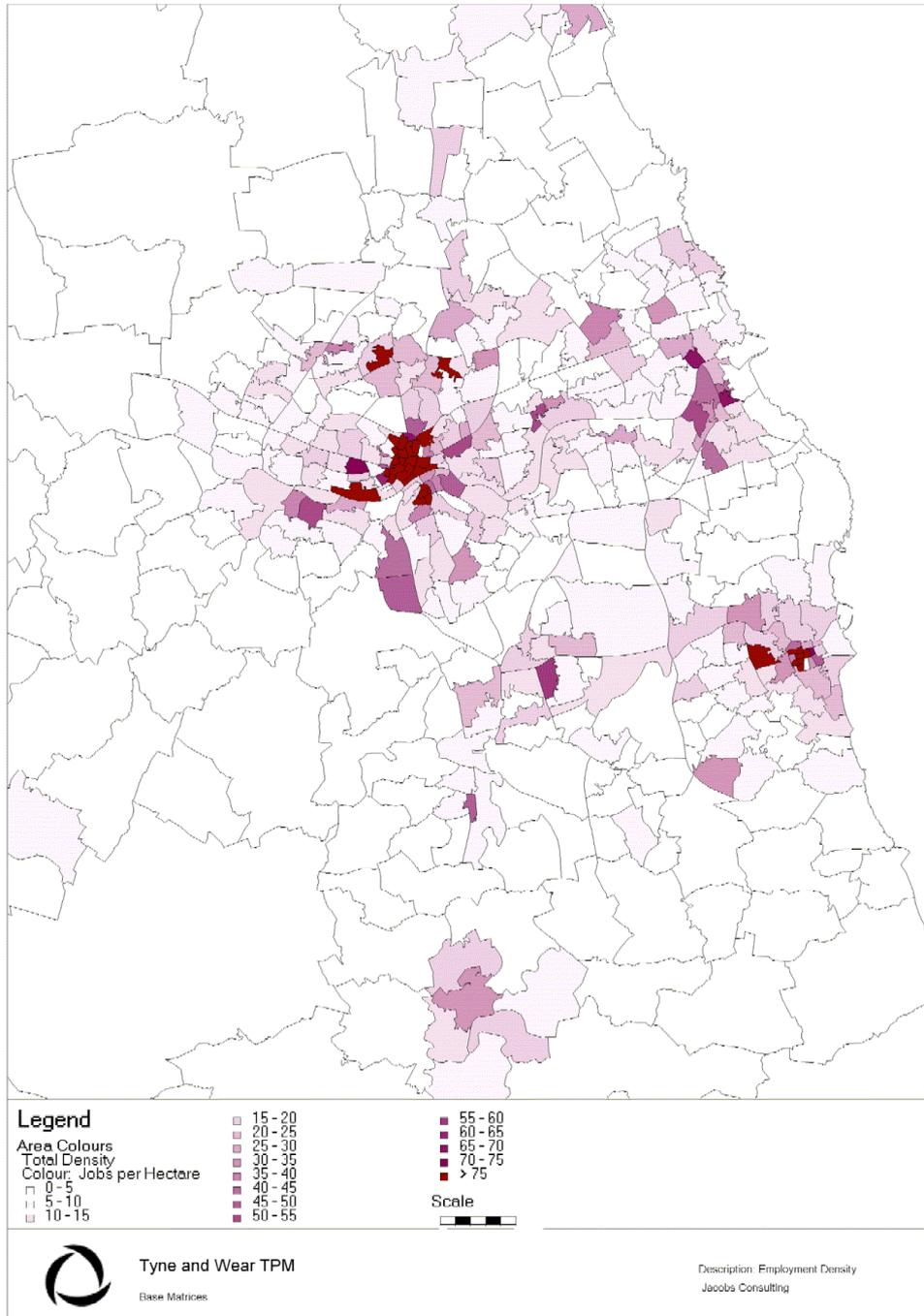


Figure 11 Central Motorway Southbound Journey Time Comparison – Route 4

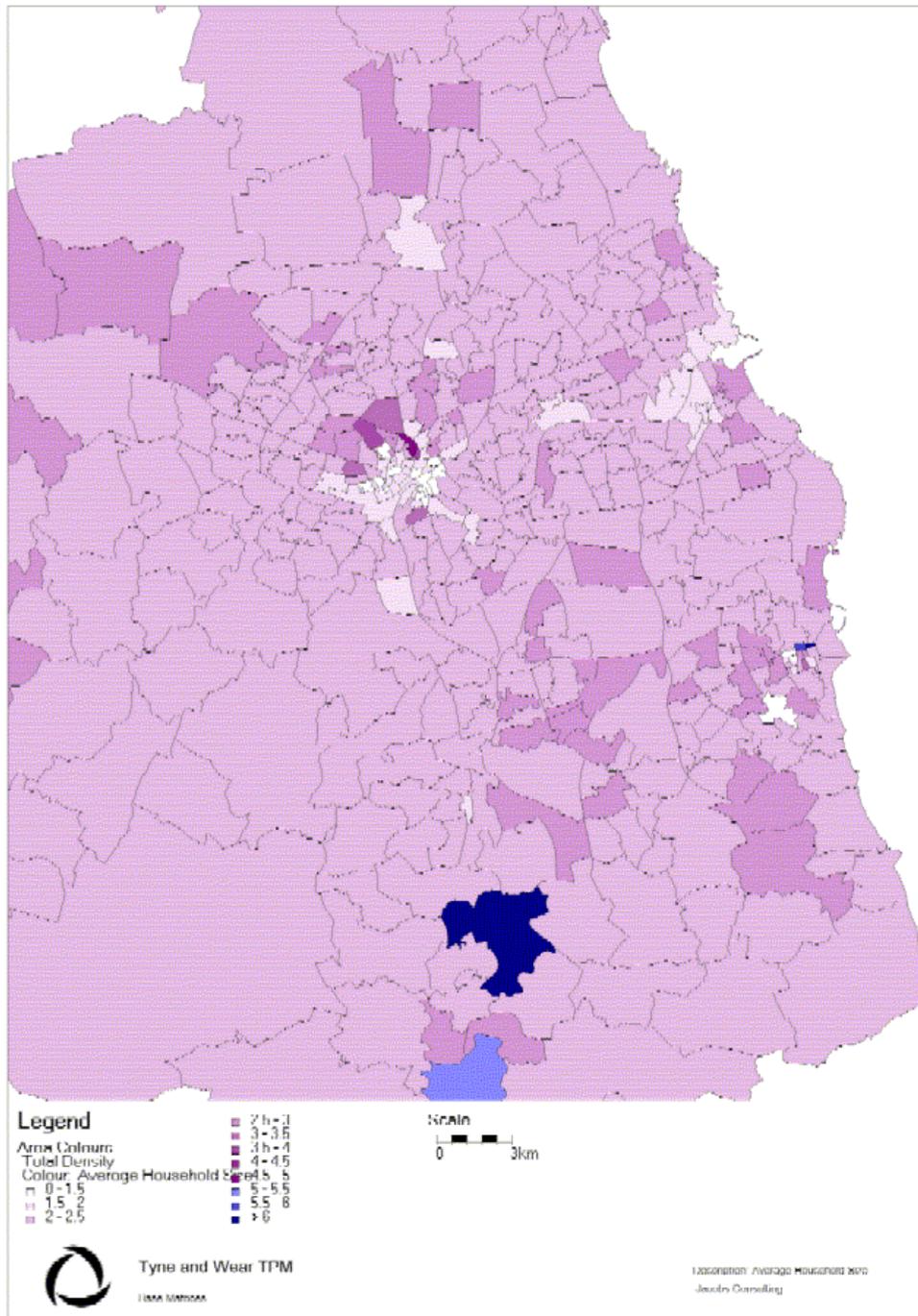




Densità di popolazione per ciascuna zona – Scenario Base 2005



Densità di impiego per ciascuna zona – Scenario Base 2005



Numero di componenti per famiglia per ciascuna zona – Scenario Base 2005

