

POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Ingegneria Civile, Ambientale e Territoriale
Laboratorio Mobilità e Trasporti – Dipartimento IN.DA.CO.

Laurea Magistrale in Ingegneria Civile
Orientamento Infrastrutture e Trasporti



Confronto Metodologico e Applicativo tra Diverse Formulazioni di Modelli di Generazione e Distribuzione

Relatore: Prof. Ing. Roberto **MAJA**

Tesi di:

Stefano **BOLETTIERI**
Dario **FABBRI**

matricola **786795**
matricola **783254**

Anno Accademico 2013/2014

INDICE

ABSTRACT	6
INTRODUZIONE	7
STATO DELL' ARTE	10
1. Domanda di mobilità.....	10
1.1 Ennio Cascetta	11
1.1.1 Individuazione di un Sistema di Trasporto.....	11
1.1.2 Sistemi di modelli per la domanda di spostamenti.....	17
1.2 J. de D. Ortùzar e L. G. Willumsen.....	20
1.2.1 Pianificazione.....	20
1.2.2 Domanda di trasporto.....	21
1.2.3 Scelta dell'approccio modellistico	22
1.2.4 Modelli di Generazione.....	24
1.2.5 Modelli di Distribuzione	25
2. Il sistema della domanda	30
3. Modelli di Stima della Domanda.....	32
3.1 Modello a quattro stadi	33
3.1.1 Modelli descrittivi	36
3.1.2 Modelli comportamentali: la teoria dell'utilità probabilistica.....	38
MODELLO DI STIMA DELLA DOMANDA: PIACENZA 2001 – PIACENZA 1991	48
4. Introduzione.....	48
4.1 La Provincia di Piacenza.....	49
5. Dati a disposizione.....	51
5.1 La Matrice O/D del 2001	51
5.1.1 I Principali Risultati	52
5.2 Dati Demografici ed Economici	52
5.2.1 Popolazione, Superficie, Densità	53
5.2.2 Occupati Residenti	53
5.2.3 Imprese Presenti.....	53
5.2.4 Addetti.....	54
5.2.5 Altro	54
5.3 Distanza	55
5.3.1 Distanza in Linea d'Aria	55
5.3.2 Distanza Stradale.....	56
6. Modello di Generazione	57
6.1 Prima Formulazione.....	57
6.2 Seconda Formulazione.....	58
6.3 Terza Formulazione	59
6.3.1 Classe 1	60
6.3.2 Classe 2	60
6.3.3 Classe 3	62
6.3.4 Calibrazione per Classi	62
6.4 Risultati Calibrazione del Modello di Generazione	65

6.5	Validazione: Piacenza 1991	67
6.5.1	Classe 1	68
6.5.2	Classe 2	69
6.5.3	Classe 3	70
6.5.4	Risultati Validazione	71
7.	Modello di Distribuzione.....	72
7.1	Logit Esterno	79
7.1.1	Prima Formulazione	81
7.1.2	Seconda Formulazione	82
7.1.3	Terza Formulazione	84
7.1.4	Riepilogo	86
7.2	Logit Interno	87
7.2.1	Prima Formulazione	88
7.2.2	Seconda Formulazione	89
7.2.3	Terza Formulazione	91
7.2.4	Riepilogo	92
7.3	Distribuzione.....	92
7.3.1	Prima Formulazione	94
7.3.2	Seconda Formulazione	95
7.3.3	Terza Formulazione	97
7.3.4	Riepilogo	99
7.4	Validazione Distribuzione: Piacenza 1991	99
7.4.1	Logit Esterno.....	99
7.4.2	Logit Interno	103
7.4.3	Distribuzione.....	106
7.4.4	Metodo dei fattori di crescita: Furness	110
7.5	Conclusioni “Piacenza 2001 – Piacenza 1991”	119
7.5.1	Sviluppi Futuri “Piacenza 2001 – Piacenza 1991”	120
MODELLO DI STIMA DELLA DOMANDA: PIACENZA 2001 – MANTOVA 1991 ..		123
8.	Introduzione.....	123
8.1	La Provincia di Mantova.....	124
9.	Dati a disposizione	126
10.	Modello di Generazione	127
10.1	Divisione in Classi	127
10.1.1	Classe 1	127
10.1.2	Classe 2	128
10.1.3	Classe 3	129
10.2	Applicazione Generazione Mantova 1991	130
10.2.1	Classe 1	131
10.2.2	Classe 2	131
10.2.3	Classe 3	133
10.2.4	Risultati Applicazione Generazione Mantova 1991	134
11.	Il Modello di Distribuzione	136
11.1	Applicazione Distribuzione “Piacenza 2001 – Piacenza 1991”	136
11.1.1	Logit Esterno	137
11.1.2	Logit Interno.....	138
11.2	Ricalibrazione dei Logit.....	139

11.2.1	Logit Esterno	142
11.2.2	Logit Interno.....	145
11.3	Applicazione Distribuzione Mantova 1991	148
11.3.1	Logit Esterno	148
11.3.2	Logit Interno.....	150
11.3.3	Distribuzione	153
11.4	Conclusioni “Piacenza 2001 – Mantova 1991”	155
11.4.1	Sviluppi Futuri.....	157
CONCLUSIONI		158
12.	Modello di stima della domanda: Piacenza 2001 – Piacenza 1991	158
13.	Modello di stima della domanda: Piacenza 2001 – Mantova 1991	160
INDICE DELLE FIGURE		165
INDICE DELLE TABELLE		167
BIBLIOGRAFIA		170
RINGRAZIAMENTI.....		171
ALLEGATI		

ABSTRACT

La maggior parte dei modelli di analisi della domanda degli spostamenti quotidiani presenti in letteratura è basata su indagini RP, perché permettono un riscontro diretto e, a meno di errori di campionamento, una maggior sicurezza delle quantità stimate.

Il presente elaborato ha l'obiettivo di definire dei modelli matematici, descrittivi o comportamentali, che permettano di avere una buona stima della domanda di trasporto, senza dover ricorrere ad indagini dirette. Questo si traduce in un grande risparmio sia in termini di tempo sia in termini monetari.

Si è cercato di realizzare un modello in grado di effettuare una stima della domanda di trasporto che sia il più possibile precisa ed affidabile e che possa sfruttare i pochi valori realmente reperibili.

Tutto lo svolgimento si basa su matrici Origine/Destinazione risalenti all'anno 2001 e all'anno 1991. In particolare l'elaborato si basa su due quesiti:

- i modelli matematici per la stima della domanda di trasporto sono un'alternativa valida alle indagini dirette?
- è possibile realizzare un modello che sia applicabile a zone territorialmente simili?

Si procederà quindi con la realizzazione di due modelli: il primo, calibrato sulla matrice del 2001 della provincia di Piacenza, verrà applicato e validato allo stesso territorio per cercare di rispondere alla prima domanda. Per la realizzazione del secondo, invece, si cercherà di formulare delle ipotesi che possano considerarsi universalmente applicabili e che non siano, come nel primo caso, costruite "su misura" per il territorio considerato: con questa procedura si cerca di rispondere alla seconda domanda.

L'obiettivo dell'elaborato, quindi, non è quello di stimare l'intera matrice Origine/Destinazione, ma è quello di costruire dei procedimenti che possano essere considerati validi e applicabili.

I risultati ottenuti dai due modelli costruiti affermano che, per la stessa provincia considerata (in questo caso Piacenza), il modello è valido e applicabile, mentre, per territori simili (in questo caso Piacenza e Mantova), il modello non può essere considerato attendibile, ma deve essere ulteriormente implementato con dati demografici-economici più dettagliati.

INTRODUZIONE

Quando si parla di pianificazione dei trasporti si tende a pensare ad una scienza esatta, con procedimenti precisi e ben definiti. In realtà la letteratura a riguardo permette di smentire subito questa visione utopistica.

Molti autori, sia a livello nazionale che internazionale, con le loro pubblicazioni hanno permesso di avere un quadro completo di tutte le possibili teorie e metodologie applicabili nell'ambito della pianificazione di una infrastruttura o di un servizio di trasporto.

“Per pianificazione dei Sistemi di Trasporto si intende quella sequenza di azioni compiute per individuare degli interventi (prendere decisioni) sul sistema dei trasporti o su sue parti, al fine di raggiungere degli obiettivi tenendo conto dei vincoli esistenti” (E.Cascetta, 2009).

In generale è importante sottolineare che la pianificazione è frutto di un processo che tiene conto, come appena detto, di obiettivi e vincoli, realizzato prendendo delle decisioni. Sono proprio queste ultime a far sì che la pianificazione non sia un procedimento individuato in maniera univoca: al contrario, si configura come il risultato di ipotesi ed approssimazioni che permettono di descrivere la realtà nel modo più fedele possibile, senza la pretesa di ricadere nella perfezione.

Quando si parla di pianificazione dei sistemi di trasporto le grandezze fondamentali che rientrano nel processo decisionale sono essenzialmente due: la domanda e l'offerta di trasporto.

Questo elaborato rientra nel campo della stima della domanda di trasporto. Di norma questa quantità viene rilevata direttamente tramite indagini RP, perché permettono un riscontro diretto e, a meno di errori di campionamento, una maggior sicurezza delle quantità stimate.

Un'alternativa alle indagini è la realizzazione di modelli matematici, descrittivi o comportamentali, che permettano di avere una buona stima della domanda di trasporto senza dover ricorrere ad indagini dirette. Questo si traduce in un grande risparmio sia in termini di tempo sia in termini monetari.

Per una rappresentazione schematica della realtà e per effettuare delle previsioni sulle conseguenze dei possibili interventi, è necessario realizzare dei modelli matematici che permettano di approssimare al meglio il processo decisionale del potenziale utente. I modelli descritti in letteratura sono numerosi e tutti ugualmente validi.

Finalità

L'obiettivo che si prefissa questo elaborato è la realizzazione di un modello in grado di effettuare una stima della domanda di trasporto che sia il più possibile precisa ed affidabile.

Tutto lo svolgimento si basa su matrici Origine/Destinazione risalenti all'anno 2001 e all'anno 1991, il che permette di utilizzare esclusivamente dati disponibili nelle serie storiche e negli archivi comunali o delle Camere di Commercio.

Le statistiche ISTAT sono una fonte importante, ma il livello di dettaglio richiesto (livello comunale) e la necessità di reperire dati risalenti agli stessi anni delle matrici utilizzate, non agevolano il lavoro di raccolta dei dati.

Con i dati raccolti dai siti ISTAT e inviatici dalle Camere di Commercio, si cerca di realizzare un modello che possa sfruttare i pochi valori realmente reperibili.

In particolare l'elaborato si basa su due quesiti:

- i modelli matematici per la stima della domanda di trasporto sono un'alternativa valida alle indagini dirette?
- è possibile realizzare un modello che sia applicabile a zone territorialmente simili?

Si procederà quindi con la realizzazione di due modelli: il primo, calibrato sulla matrice del 2001 della provincia di Piacenza, verrà applicato e validato allo stesso territorio per cercare di rispondere alla prima domanda. Per la realizzazione del secondo, invece, si cercherà di formulare delle ipotesi che possano considerarsi universalmente applicabili e che non siano, come nel primo caso, costruite "su misura" per il territorio considerato: con questa procedura si cerca di rispondere alla seconda domanda.

L'obiettivo dell'elaborato, quindi, non è quello di stimare l'intera matrice Origine/Destinazione, ma è quello di costruire dei procedimenti che possano essere considerati validi e applicabili.

Aspetti innovativi

Prima di concentrarsi sulla provincia di Piacenza, l'analisi era partita, per cercare di prendere confidenza con l'argomento, dallo studio della mobilità della Regione Lombardia.

Pur non essendo l'argomento dell'elaborato, nella relazione di sintesi, resa pubblica dalla Regione Lombardia, che descrive le modalità di svolgimento delle indagini per la costruzione della matrice Origine/Destinazione, si possono trovare le ragioni fondamentali per cui sarebbe molto utile la realizzazione di un modello in grado di fornire una buona stima degli spostamenti quotidiani di ogni utente.

"L'indagine alle famiglie, condotta attraverso interviste telefoniche CATI (Computer Assisted Telephone Interviews), ha coinvolto un campione di quasi 296.000 famiglie lombarde, pari a più di 750.000 individui, a cui sono state chieste le caratteristiche socio-demografiche (età, sesso, professione, possesso di auto, possesso di patenti ecc.) e il diario degli spostamenti

effettuati nel giorno campione, con il dettaglio del luogo di origine, luogo di destinazione, orario, motivo, modi di trasporto utilizzati. L'indagine al cordone, rivolta ai non residenti in Lombardia in ingresso nel territorio regionale in auto, in treno, in autobus, in battello e in aereo, ha interessato un campione di 50.000 individui, che hanno risposto a domande sulle proprie caratteristiche socio-economiche e sullo spostamento in corso. Le tecniche di indagine adottate sono state differenti: interviste face-to-face o questionari autocompilati a seconda della modalità di trasporto oggetto di indagine. Oltre alle interviste sono stati rilevati, tramite conteggi, i flussi di passeggeri (trasporto ferroviario, trasporto pubblico su gomma, trasporto lacuale) e i flussi di traffico (viabilità ordinaria).[...] Le campagne di rilevazione si sono svolte nel periodo compreso tra febbraio e giugno 2002.”

Un'indagine che si voglia definire accurata, come si è appena letto, richiede un'enorme quantità di tempo e di denaro. La realizzazione di un modello in grado di sostituire, anche solo in parte, un'indagine di queste dimensioni rappresenterebbe un notevole vantaggio, soprattutto in termini economici.

STATO DELL' ARTE

1. Domanda di mobilità

La domanda dei servizi di trasporto è estremamente *qualitativa e differenziata*. Esiste un'ampia gamma di tipologie di domanda di trasporto che si differenziano per periodo del giorno, per giorno della settimana, scopo del viaggio, tipo di carico, ecc. La necessità di questa caratterizzazione rende ancor più difficile analizzare e prevedere la domanda di trasporto.

La domanda di trasporto è una quantità derivata e non fine a se stessa: l'utente viaggia per soddisfare delle necessità. La domanda si estrinseca nello spazio: è la distribuzione delle attività nello spazio che genera la domanda di trasporto.

“Il flusso di domanda di mobilità è il numero di utenti con determinate caratteristiche che “consuma” il servizio offerto da un sistema di trasporto in un periodo di tempo prefissato, ovvero come flusso di spostamenti” (E. Cascetta, “*Modelli per i sistemi di trasporto – Teoria e applicazioni*”)

Pertanto la domanda di trasporto dipende dalle caratteristiche delle diverse funzioni che sono distribuite nel territorio:

- la residenza;
- l'occupazione;
- la presenza dei servizi, commerciali, finanziari, sociali;
- l'istruzione;
- le attività tipiche del tempo libero;
- le attrattività turistiche.

La domanda che interessa un singolo sistema di trasporto, un singolo veicolo di trasporto collettivo, un singolo arco di una rete dipende anche dalle caratteristiche dell'offerta di trasporto, per esempio dal costo del trasporto, dai tempi di viaggio di una data linea, dalla lunghezza e dalla velocità delle strade che costituiscono un certo percorso.

Le caratteristiche definite poco sopra relative alle funzioni distribuite sul territorio sono definite variabili *socio economiche*, indicate con **SE**, e appartengono al *sistema delle attività*.

La definizione della domanda di trasporto è un argomento affrontato da diversi autori: essi descrivono metodi e criteri della pianificazione a livello teorico ed applicativo, dall'acquisizione di dati, alla creazione di modelli matematici, alla valutazione dei progetti di infrastrutture fino allo sviluppo di politiche decisionali.

Si riportano gli approcci di tre autori in particolare, Cascetta, Ortuzar e Willumsen, utili per la scelta del metodo da utilizzare nell'elaborato.

1.1 Ennio Cascetta

Ennio Cascetta, docente di *Teoria dei sistemi di trasporto* presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Napoli "Federico II", descrive la domanda di trasporto in maniera molto schematica, facendo esplicito riferimento alla sua modellizzazione.

1.1.1 Individuazione di un Sistema di Trasporto

L'individuazione del sistema di trasporto consiste nella definizione delle componenti e delle reciproche relazioni che compongono il sistema di analisi. Schematicamente essa prevede le seguenti fasi:

- identificazioni delle caratteristiche spaziali rilevanti;
- identificazioni delle dimensioni temporali rilevanti;
- definizione delle componenti della domanda di mobilità rilevanti.

1.1.1.1 Caratteristiche spaziali rilevanti

L'individuazione delle caratteristiche spaziali rilevanti si suddivide in tre fasi:

- delimitazione dell'area di studio;
- suddivisione dell'area in zone di traffico;
- individuazione della rete di base.

Le tre fasi sono preliminari alla costruzione del modello complessivo dell'offerta e della domanda, in quanto definiscono la delimitazione spaziale del sistema di studio e il livello di disaggregazione al quale vanno riferiti i modelli.

Area di studio

In questa fase viene definita l'area geografica all'interno della quale si trova il sistema di trasporto sul quale si intende intervenire e nella quale si ritiene si esauriscano la maggior parte degli effetti degli interventi progettati.

Innanzitutto l'analista deve considerare il contesto decisionale e il tipo di spostamenti rilevanti. La maggior parte degli spostamenti dovrebbe avere l'origine all'interno dell'area di studio. Analogamente, essa dovrebbe comprendere gli elementi di offerta che saranno influenzati dagli effetti degli interventi sul sistema di trasporto.

Il confine dell'area di studio è di solito indicato come *cordone*. Ciò che si trova al di fuori del cordone che racchiude l'area di studio costituisce l'ambiente esterno, del quale interessano esclusivamente le interconnessioni con il sistema in esame.

Zonizzazione

Gli spostamenti che si effettuano in una data area possono, in generale, iniziare e terminare in un numero elevatissimo di punti del territorio. Per consentire la modellizzazione del sistema è necessario suddividere l'area di studio in un numero contenuto di unità geografiche chiamate *zone di traffico*.

Nella maggior parte dei modelli di trasporto, tutte le origini e le destinazioni all'interno di una zona sono rappresentate da un unico *centroide di zona*, localizzato, al fine della rappresentazione geografica, in un punto vicino al centro di gravità geografico dei punti terminali dello spostamento attuale che esso rappresenta.

In linea di massima le regole utilizzate per l'individuazione delle zone di traffico sono:

- utilizzare i separatori fisici (fiumi, tratti di linea ferroviaria) come confini di zona in quanto impediscono il collegamento "diffuso" fra le aree contigue e quindi implicano differenti condizioni di accesso alle infrastrutture e ai servizi di trasporto;
- le zone di traffico sono spesso ottenute come aggregazioni di unità territoriali amministrative, per poter associare a ciascuna zona i dati socio-economici necessari alla descrizione del sistema delle attività di solito disponibili per tali unità;
- si può adottare un diverso dettaglio di zonizzazione per le diverse parti dell'area di studio in funzione del grado di precisione con cui si vuole simulare una parte del sistema;
- nella definizione dei confini delle zone si tende ad aggregare porzioni di territorio "omogenee" sia rispetto alle attività insediate che rispetto all'accessibilità, alle infrastrutture e ai servizi di trasporto.

Rete di base

L'insieme degli elementi fisici rappresentati per un'applicazione è chiamato *rete di base*. Ad esempio, nei sistemi stradali urbani, sono individuati i tronchi stradali e le loro principali regole di traffico (senso unico, nessuna svolta, ecc.).

La scelta degli elementi da considerare è strettamente collegata, ancora una volta, alle finalità per le quali si costruisce il modello.

Le infrastrutture e i servizi possono essere relativi ad una singola o più modalità di trasporto. Nel primo caso si parlerà di sistema mono-modale, nel secondo di sistema multi-modale.

Le infrastrutture e i servizi di trasporto sono individuati sulla base della loro funzione di collegamento tra le zone di traffico presenti nell'area di studio e l'ambiente esterno. Questo comporta una stretta interdipendenza tra l'individuazione della rete di base e la zonizzazione.

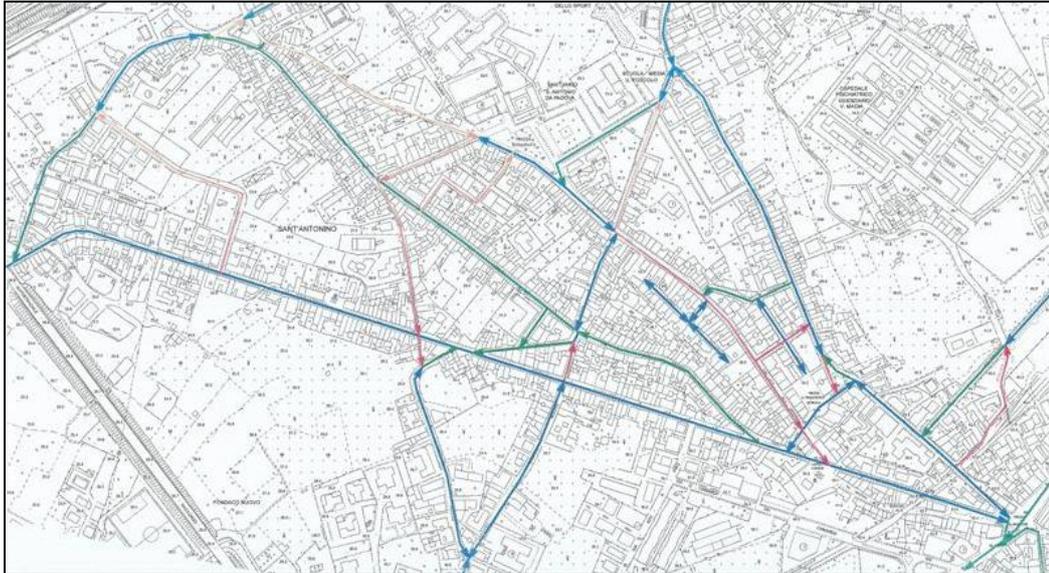


Figura 1.1 Schema di una rete stradale

1.1.1.2 Dimensioni temporali rilevanti

Un sistema di trasporto opera e si trasforma nel tempo, ossia le caratteristiche sia della domanda che dell'offerta variano su diverse scale temporali, basti pensare alle variazioni orarie della frequenza del servizio di trasporto collettivo, o le ore di punta del traffico urbano.

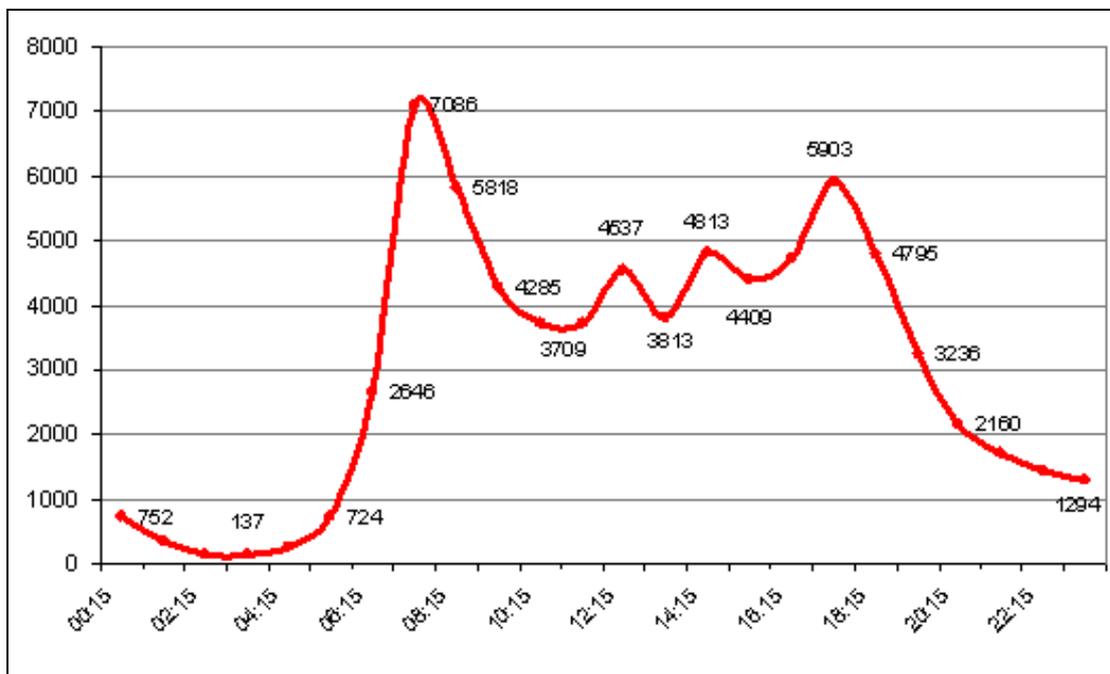


Figura 1.2 Variazione orarie del traffico e individuazione dell'ora di punta

La determinazione degli intervalli temporali di analisi rilevanti, così come le ipotesi fatte sulla variabilità del sistema entro questi intervalli, sono decisioni modellistiche fondamentali.

Le fasi principali sono:

- definizione dell'orizzonte di analisi e delle fasi che riguardano gli andamenti di lungo periodo nelle variabili indipendenti;
- selezione dei periodi di riferimento per evidenziare le variazioni della domanda e dell'offerta di trasporto;
- ipotesi circa la variabilità dei parametri del sistema entro ciascun periodo di riferimento selezionato;
- procedure per dedurre gli attributi dell'intero sistema combinando i risultati ottenuti dall'analisi o la simulazione di ciascun periodo di riferimento.

La progettazione e la valutazione di interventi di trasporto riguardano tipicamente due scale temporali distinte.

Il progetto di solito richiede informazioni su *brevi periodi di massimo carico*, come il periodo di punta. Questa informazione si ottiene simulando le condizioni in un particolare *periodo di riferimento o di simulazione*.

Le valutazioni, invece, richiedono di solito informazioni circa le prestazioni di un progetto in un intervallo di tempo da confrontare con la sua vita tecnica. Il *periodo di analisi* è l'intera durata temporale rilevante per lo studio di un dato sistema.

1.1.1.3 Componenti della domanda di mobilità rilevanti

Cascetta, in “*Modelli per i Sistemi di Trasporto*”, afferma che, per analizzare un sistema di trasporto e progettare interventi su di esso, è indispensabile stimare la domanda che lo utilizza attualmente con le sue caratteristiche, comprendere i fattori che determinano tale domanda e simularne le variazioni conseguenti agli interventi progettati e le variazioni dei fattori esterni che la influenzano.

Un modello di domanda di mobilità può essere definito come una relazione matematica che consente di associare ad un dato sistema di attività e di offerta di trasporto il valore medio del flusso di domanda in un determinato periodo di riferimento con le sue caratteristiche rilevanti.

Un flusso di domanda è costituito da un'aggregazione di spostamenti individuali e ogni spostamento è il risultato di una serie di scelte compiute dall'utente del servizio di trasporto: il viaggiatore nella mobilità di persone e gli operatori (produttori, spedizionieri, trasportatori) nel trasporto merci.

Le scelte che determinano la domanda di mobilità con le sue caratteristiche sono molteplici. Nel caso di viaggiatori, tali scelte vanno da quella del luogo di residenza e di lavoro a quella del possesso di un veicolo fino a quelle più frequenti quali la scelta di fare un determinato spo-

stamento, in una determinata fascia oraria, per un determinato motivo, quale percorso utilizzare, con quale modo.

Le scelte che determinano uno spostamento possono essere relative a diversi livelli o dimensioni di scelta definiti dalle alternative di scelta e dai valori dei relativi attributi.

Ad esempio, per la dimensione di scelta del modo di trasporto, le alternative sono costituite dalle diverse modalità di trasporto che l'utente ha a disposizione per una certa relazione Origine/Destinazione con i relativi attributi. Per lo stesso spostamento l'utente può compiere scelte relative ad altre dimensioni, ad esempio il percorso o la destinazione.

Esistono numerosi modelli matematici utilizzati per simulare la domanda di mobilità dei viaggiatori proposti in letteratura, che possono essere classificati, secondo alcuni elementi.

Uno di essi è la tipologia delle scelte simulate dal modello in modo implicito o esplicito. Alcune dimensioni di scelta riguardano decisioni che influenzano indirettamente lo spostamento, ma ne individuano il contesto e i condizionamenti. La scelta del luogo di residenza e di lavoro, la scelta di possedere la patente di guida e del numero di automobili sono esempi; la zona di residenza determinerà l'origine degli spostamenti da casa, il possesso della patente renderà disponibile l'automobile come modo di trasporto. Queste dimensioni di scelta e i modelli che le simulano sono detti *scelte e modelli di mobilità*.

Di solito si tratta di scelte abbastanza stabili nel tempo, ovvero con un elevato costo di variazione, che possono essere assunte invariante nel breve periodo.

Le *scelte e i modelli di viaggio* riguardano le dimensioni che caratterizzano il viaggio (sequenza di spostamenti che inizia e termina nel luogo di residenza) e/o gli spostamenti che lo compongono. Appartengono a questa categoria le scelte di frequenza (effettuare o meno uno spostamento per un certo motivo, ovvero con quale frequenza spostarsi in un prefissato periodo di riferimento), di destinazione (dove recarsi), del modo di trasporto, del percorso, ecc...

Il secondo elemento di classificazione è relativo alle ipotesi fatte sul concatenamento, ovvero i reciproci condizionamenti delle decisioni prese. I *modelli per la domanda di spostamenti* assumono implicitamente che le scelte relative a ciascuno spostamento Origine/Destinazione avvengano indipendentemente da quelle degli altri spostamenti dello stesso viaggio e degli altri viaggi. Si tratta di un'ipotesi approssimata che semplifica la trattazione analitica; questa ipotesi è accettabile quando la maggior parte dei viaggi che compongono la domanda nel periodo di riferimento è composta da due spostamenti (casa-destinazione-casa), detti viaggi ad anello.

Viceversa, i *modelli per la domanda di viaggi o sequenze di spostamenti* assumono che l'utente effettui contestualmente scelte su tutte le dimensioni che intervengono per l'intero viaggio. In questo caso, l'eventuale zona di destinazione intermedia sarà scelta tenendo conto delle zone di destinazione precedenti e successive; il modo di trasporto tenendo conto del complesso degli spostamenti. Modelli di questo tipo sono allo studio da diversi anni e, anche se in modo ancora saltuario, sono applicati a contesti reali, prevalentemente in ambito urbano.

Infine i *modelli per la domanda di partecipazione alle attività* simulano la domanda di mobilità in relazione al fabbisogno di partecipare ad attività diverse in luoghi diversi; essi quindi

tengono conto dei condizionamenti che avvengono fra i diversi viaggi di una stessa persona nell'ambito di una giornata tipo e, nel caso più generale, fra i viaggi delle persone appartenenti alla stessa famiglia. Modelli di questo tipo sono ovviamente molto più complessi di quelli precedenti e mirano a comprendere i rapporti fra la domanda di mobilità e l'organizzazione delle diverse attività di una persona e di una famiglia. Questi modelli sono oggi prevalentemente oggetto di ricerca.

Un ulteriore fattore di classificazione dei modelli di domanda è relativo al livello di aggregazione delle variabili utilizzate. I modelli si dicono *aggregati* o *disaggregati* se le variabili (attributi) che vi compaiono sono relative a un aggregato di utenti (un esempio può essere tempi e costi medi fra tutti gli spostamenti che avvengono fra i punti di due zone di traffico) ovvero al singolo utente (un esempio può essere i tempi e i costi fra luoghi effettivi di inizio e termine dello spostamento).

Nelle applicazioni non esistono modelli completamente disaggregati, ma piuttosto modelli per i quali almeno alcune variabili presentano livelli di aggregazione più o meno spinti. Il livello di aggregazione delle variabili dipende dallo scopo per cui si modella la domanda. L'utilizzazione prevalente considerata da Cascetta è relativa alla simulazione del funzionamento complessivo di un sistema di trasporto, schematizzato in una rete.

L'ultimo fattore di classificazione considerato da Cascetta è relativo all'ipotesi alla base dei modelli. I modelli si dicono *interpretativi* o *comportamentali* se derivano da esplicite ipotesi sul comportamento di scelta degli utenti e *non interpretativi* o *non comportamentali* se, invece, descrivono le relazioni fra la domanda e le variabili del sistema di attività e di offerta di trasporto senza formulare ipotesi specifiche sul comportamento dei decisori. Esistono inoltre *sistemi misti di modelli* nei quali alcuni dei sottomodelli sono dei modelli comportamentali mentre altri sono non comportamentali.

Infine, va osservato che i modelli di domanda di mobilità sono delle rappresentazioni schematiche e semplificate di una realtà più complessa che consentono di quantificare alcune relazioni tra le variabili rilevanti per i problemi in esame. Pertanto questi modelli riproducono solo in modo approssimato il fenomeno reale, soprattutto quando questo dipende in buona misura dai comportamenti individuali, come è appunto il caso della domanda di mobilità.

Inoltre, la stessa situazione reale può essere descritta con diversi modelli cui corrispondono diversi gradi di "precisione" e di complessità.

La costruzione e l'uso di modelli più sofisticati richiedono, tuttavia, un maggiore impiego di risorse che deve essere giustificato dall'importanza della specifica applicazione e dalla rilevanza delle caratteristiche della domanda che essi simulano.

1.1.2 Sistemi di modelli per la domanda di spostamenti

In termini formali un modello può scriversi nella forma:

$$d[K_1, K_2, \dots, K_n] = d(\mathbf{SE}, \mathbf{T}, \beta)$$

dove il flusso medio di spostamenti aventi caratteristiche K_n è espresso come una funzione di un vettore \mathbf{SE} di variabili socio-economiche relative ad un sistema delle attività, di un vettore \mathbf{T} di variabili di livello di servizio del sistema offerto e di un vettore di coefficienti β da calibrare.

Le caratteristiche principali nel caso più generale sono:

- i : categoria socio-economica dell'utente;
- o, d : zone di origine e destinazione dello spostamento;
- s : motivo dello spostamento;
- h : intervallo temporale nel quale si svolge lo spostamento;
- m : modalità con cui lo spostamento viene effettuato;
- k : percorso utilizzato.

Per motivi di trattabilità analitica e statistica, si preferisce “fattorializzare” il modello nel prodotto di sottomodelli interconnessi. Cascetta fa esplicito riferimento al modello a quattro stadi, definendolo come “*la sequenza di sottomodelli di gran lunga più usata*”.

Essendo un modello richiamato da tutti gli autori si preferisce trattarlo alla fine del capitolo. In questa sede ci si limita ad esporre le formulazione delle singole aliquote proposte dai diversi autori.

1.1.2.1 Modelli di emissione

Questo tipo di modelli ha come scopo la stima del totale degli spostamenti generati da una determinata origine o .

Esso fornisce il numero medio $d_o^i[sh]$ degli spostamenti effettuati in un preciso intervallo temporale h , per un dato motivo s dagli utenti della categoria i , con origine nella zona o . In generale il modello di emissione può essere rappresentato introducendo il numero medio di spostamenti $\bar{m}^i[osh]$ e il flusso di spostamenti uscenti dalla zona o può quindi essere espresso come:

$$d_o^i[sh] = n_o[i] \cdot \bar{m}^i[osh]$$

dove $n_o[i]$ è il numero di utenti appartenente alla categoria i che si trovano nella zona o .

Il fattore $\bar{m}^i[osh]$ può essere espresso tramite due formulazioni: comportamentale e descrittiva.

I modelli non comportamentali si usano di solito per simulare spostamenti in genere sistematici come quelli effettuati per motivi di lavoro o di studio. I modelli non comportamentali più semplici sono del tipo *indice per categoria*, ovvero per ogni categoria di utenti, supposta omogenea rispetto al motivo in esame, viene stimato direttamente il numero medio di spostamenti.

I modelli di *regressione per categoria* costituiscono una specificazione più sofisticata dei modelli di emissione non comportamentali. Questi modelli esprimono l'indice medio $\bar{m}^i[osh]$ come una funzione, quasi sempre lineare, di variabili relative alla categoria e alla zona d'origine:

$$\bar{m}^i[osh] = \sum_j \beta_j X_{jo}^i$$

Gli attributi X_{jo}^i sono di solito i valori medi delle variabili socio-economiche quali il reddito, il numero di auto possedute, ecc., ma possono comprendere anche attributi del livello di servizio, quale l'accessibilità alla zona.

I modelli di utilità aleatoria possono essere utilizzati per simulare spostamenti in genere non sistematici. In questo caso $\bar{m}^i[osh]$ è ottenuto come:

$$\bar{m}^i[osh] = \sum_x x \cdot p^i[x/osh]$$

dove $p^i[x/osh]$ è la probabilità che il generico individuo di categoria i effettui x spostamenti a partire da o , per il motivo s e nell'intervallo temporale h .

In alternativa può essere ottenuto anche dal prodotto di due modelli: un modello di emissione su un periodo più ampio e un modello di ripartizione oraria degli spostamenti.

Se il periodo di riferimento è abbastanza breve, la possibilità di scelta si riduce a due alternative: effettuare o non effettuare lo spostamento. Nei modelli di utilità aleatoria questo può essere tradotto con un logit binomiale.

1.1.2.2 Modelli di Distribuzione

I modelli di distribuzione proposti da Cascetta in “*Modelli per i Sistemi di Trasporto*” sono essenzialmente due: un modello gravitazionale e un modello di utilità aleatoria.

Il modello gravitazionale, in particolare, non fornisce l’aliquota $p[d/osh]$ ma il flusso $d_{od}[sh]$ per ciascuna coppia od :

$$d_{od}[sh] = \alpha \cdot d_o[sh] \cdot d_d[sh] \cdot f(C_{od})$$

dove α è una costante, il secondo e il terzo termine rappresentano la domanda emessa da o e attratta da d , e $f(C_{od})$ è una funzione di costo che può assumere diverse forme:

$$f(C_{od}) = e^{-\beta \cdot C_{od}}$$

$$f(C_{od}) = C_{od}^{-\beta}$$

$$f(C_{od}) = C_{od}^{-\beta} \cdot e^{-\beta \cdot C_{od}}$$

I modelli di utilità aleatoria, invece, sono finalizzati al calcolo dell’aliquota parziale da inserire nel modello a quattro stadi. I modelli più comunemente utilizzati sfruttano due attributi particolari:

- *attributi di attrattività*: sono variabili in grado di misurare la capacità attrattiva di una zona come destinazione; possono essere funzione del numero di addetti per gli spostamenti casa-lavoro, del numero di iscritti nelle scuole per gli spostamenti casa-scuola, ecc.;
- *attributi di costo*: sono variabili che misurano il costo generalizzato connesso allo spostamento da o a d .

La forma generale del modello è:

$$p[d/osh] = \frac{e^{\beta_1 A_d - \beta_2 C_{od}}}{\sum_{d'} e^{\beta_1 A_{d'} - \beta_2 C_{od'}}$$

Nelle più comuni applicazioni si utilizza la trasformazione logaritmica di questa funzione. Il modello assume la forma di un modello gravitazionale:

$$p[d/osh] = \frac{A_d^{\beta_1} \cdot C_{od}^{-\beta_2}}{\sum_{d'} A_{d'}^{\beta_1} \cdot C_{od'}^{-\beta_2}}$$

In questo la differenza tra modelli comportamentali e non comportamentali è puramente interpretativa.

1.2 J. de D. Ortùzar e L. G. Willumsen

Juan de Dios Ortùzar è professore di *Pianificazione dei Trasporti e Metodi econometrici per i Trasporti* presso la Pontificia Universidad Católica de Chile a Santiago.

Luis G. Willumsen è direttore della società Steer Davies Gleave di Londra e ricercatore onorario all'University College di Londra.

1.2.1 Pianificazione

La pianificazione risulta essere uno strumento fondamentale sia quando si tratta della realizzazione di una nuova infrastruttura, sia quando si parla dell'individuazione di strategie e di politiche di intervento su strutture esistenti per la riorganizzazione e l'ottimizzazione delle risorse disponibili.

In termini generali il ruolo della pianificazione dei trasporti è quello di assicurare che venga soddisfatta una certa quantità di domanda "D" di spostamenti di persone e merci con differenti motivazioni, in diversi periodi del giorno e dell'anno, che utilizzano vari modi e dato un sistema dei trasporti con una certa capacità operativa.

Il sistema dei trasporti in sé può essere visto come composto da:

- un'infrastruttura;
- un sistema di gestione o di organizzazione;
- una serie di modi di trasporto e di loro gestori.

Si considerino dei volumi di traffico "V" su una rete, a cui corrispondano delle velocità "S", e una capacità operativa "Q" dato un sistema di gestione "M".

In termini molto generali la velocità sulla rete può essere rappresentata da:

$$S = f\{Q, V, M\}$$

La velocità può essere considerata come variabile di un più generale indicatore del livello di servizio (LOS) offerto dal sistema dei trasporti. In termini generali un LOS dovrebbe essere specificato mediante una combinazione di vari effetti, quali la velocità o i tempi di viaggio, di attesa e di camminata e il prezzo.

Il sistema di gestione "M" può includere schemi di organizzazione del traffico, di controllo e regolazione del traffico in particolari aree per ogni modo di trasporto.

La capacità "Q" dipende dal sistema di gestione "M" e dal livello di investimenti "I" negli anni:

$$Q = f\{I, M\}$$

Il sistema di gestione può anche essere utilizzato per ridistribuire la capacità tra le infrastrutture, generando un altro valore Q' e/o dando priorità a certe tipologie di utenti su altri, in termini di efficienza, ambiente ed equità.

Così come nel caso di molti beni e servizi, ci si dovrebbe aspettare che il livello della domanda dipenda dal livello di servizio offerto dal sistema di trasporto e anche dalla distribuzione delle attività nello spazio:

$$D = f\{S, A\}$$

Combinando le diverse relazioni per un fissato sistema di attività si dovrebbe trovare l'insieme di punti di equilibrio tra la domanda e l'offerta di trasporto. Si potrebbe verificare però che, al variare dei livelli di servizio nello spazio e nel tempo, lo stesso sistema delle attività cambi determinando due differenti insiemi di punti di equilibrio, uno di breve e l'altro di lungo periodo.

Il compito della pianificazione dei trasporti è quello di prevedere ed organizzare l'evoluzione di questi punti di equilibrio nel tempo, così che il benessere sociale venga massimizzato. La modellizzazione di questi punti di equilibrio dovrebbe aiutare a conoscere meglio questa evoluzione e assistere il pianificatore nello sviluppo e nella determinazione di strategie di gestione e di programmi di investimento.

1.2.2 Domanda di trasporto

La domanda di servizi di trasporto è estremamente *qualitativa e differenziata*. Esiste un'ampia gamma di tipologie di domanda di trasporto che si differenziano per periodo del giorno, per giorno della settimana, per scopo del viaggio, per tipo di carico, ecc. La descrizione di un servizio di trasporto in cui gli attributi non riflettano queste differenze nella domanda può anche essere inutile.

La domanda di trasporto è una domanda derivata e non è fine a se stessa. Infatti, fatta eccezione per i giri turistici, l'utente viaggia perché nel luogo di destinazione può soddisfare varie necessità. Ciò è ancora più vero per gli spostamenti delle merci.

Per conoscere la domanda di trasporto è importante dunque comprendere come le infrastrutture che soddisfano questi bisogni umani o industriali sono distribuite nello spazio e nei contesti sia urbani sia regionali.

Un buon sistema di trasporto amplia le opportunità di soddisfare questi bisogni, mentre un sistema fortemente congestionato o scarsamente connesso restringe le alternative di spostamento e limita lo sviluppo economico e sociale.

La domanda di trasporto si estrinseca nello spazio: questo giustifica che è la distribuzione delle attività nello spazio che genera la domanda di trasporto. Esistono pochi problemi di trasporto che possono essere trattati, anche se ad un livello molto aggregato, senza un esplicito riferimento spaziale, ma, nella maggior parte dei casi, questo esplicito riferimento è indispensabile e necessariamente auspicabile.

Il più tradizionale approccio al trattamento dello spazio consiste nel suddividere l'area in esame in zone e nel codificarle, insieme alla rete dei trasporti, in una forma adeguata a essere trattata con l'aiuto di un software.

In alcuni casi l'area in studio può essere descritta in modo semplificato, assumendo che le zone d'interesse siano disposte lungo un corridoio che può essere rappresentato mediante un sistema lineare.

I differenti metodi per trattare la distanza e per individuare le origini e le destinazioni degli spostamenti nello spazio sono un elemento essenziale nell'analisi dei sistemi di trasporto. L'articolazione spaziale della domanda spesso determina problemi di una mancanza di coordinazione che può influenzare, in modo rilevante, l'equilibrio tra domanda e offerta di trasporto.

Infine, la domanda e l'offerta di trasporto possiedono elementi di forte ed elevata dinamicità. Una buona parte della domanda di mobilità è concentrata in poche ore del giorno, specialmente nelle aree urbane dove i valori più alti di congestione si determinano durante specifici periodi di punta. Questa caratteristica di variabilità nel tempo della domanda di trasporto rende più difficile, ma anche più interessante, la sua analisi e previsione.

Può accadere che un sistema di trasporto soddisfi bene il valore medio della domanda di mobilità, ma collassi durante il periodo di punta. Esiste un numero considerevole di misure per provare a distribuire il carico delle ore di punta di una rete in quelli di morbida: orari di lavoro flessibili, tempo di lavoro scaglionato, ecc. Tuttavia la variazione della domanda nell'ora di punta o fuori da essa rimane un problema centrale e interessante nella modellizzazione e nella pianificazione dei trasporti.

1.2.3 Scelta dell'approccio modellistico

Ci sono diverse caratteristiche dei modelli e dei problemi trasportistici di cui occorre tener conto quando si specifica un approccio analitico.

1.2.3.1 Il contesto decisionale

Comporta l'adozione di una particolare prospettiva e la scelta di uno scopo o di un particolare aspetto del sistema in esame.

La scelta della prospettiva definisce il tipo di decisione che sarà considerata: progetti strategici, tattici o anche specifici problemi operativi.

La scelta dello scopo comporta la specificazione del livello di analisi.

Un aspetto cruciale è anche il problema di quante alternative devono essere considerate per soddisfare diversi gruppi di interesse o per sviluppare il miglior singolo progetto. Il contesto decisionale pertanto aiuterà anche a definire le esigenze del modello che deve essere usato e le variabili da includere nel modello o quelle considerate date o esogene.

1.2.3.2 Il dettaglio richiesto

Deriva dal primo punto ed è fortemente influenzato dai prossimi due; tuttavia spesso la precisione richiesta per costruire il modello è giusta quella necessaria per discriminare tra un buon progetto e uno meno buono. In alcuni casi può essere abbastanza ovvio individuare quale sia il miglior progetto, e pertanto possano andare bene anche modelli meno accurati.

1.2.3.3 La disponibilità di dati appropriati

La loro stabilità e le difficoltà che si incontrano nella previsione del loro valore futuro sono il punto centrale della ricerca.

In alcuni casi i dati disponibili possono essere pochi; in altri casi, ci possono essere delle ragioni per dubitare delle informazioni o avere meno fiducia nelle previsioni future di variabili chiave della pianificazione, in quanto il sistema non è sufficientemente stabile. In molti casi i dati disponibili influenzano in modo rilevante la decisione circa l'approccio modellistico da utilizzare.

1.2.3.4 Le risorse disponibili per lo studio

Generalmente includono la disponibilità finanziaria, i dati, l'hardware e il software, le capacità tecniche ecc.

Vale la pena evidenziare due tipi di risorse: il tempo e il livello di comunicazioni con i decisori politici e con la collettività.

Il tempo è probabilmente il fattore più importante, infatti se si ha poco tempo disponibile per fare una scelta tra i progetti, per fornire consigli tempestivi, saranno necessarie delle scorciatoie. I decisori tendono a programmare periodi irrealisticamente brevi per la valutazione di progetti che invece richiedono tempi molto lunghi, in quanto sono necessarie molteplici fasi di decisioni e richiedono anni per essere implementati e ancora più anni perché sia confermata o meno la loro bontà.

Da un altro punto di vista, un buon livello di comunicazione con il decisore politico e con la comunità ridurrà questo problema: ci saranno meno pretese irrealistiche circa la capacità del pianificatore di modellizzare accuratamente i progetti di trasporto; inoltre, una migliore conoscenza dei vantaggi e dei limiti della modellizzazione costituirà un elemento di moderazione tra i due estremi costituiti dalla cieca accettazione o dal totale rigetto delle raccomandazioni dello studio.

1.2.4 Modelli di Generazione

Nella pratica se si distinguono e si modellizzano separatamente i viaggi a seconda del motivo per cui sono realizzati, si ottengono modelli di generazione molto migliori. Generalmente si utilizzano le seguenti cinque categorie:

- viaggi per lavoro;
- viaggi per studio;
- viaggi per acquisti;
- viaggi per attività sociali e ricreative;
- viaggi per altri motivi.

I primi due tipi sono solitamente definiti *obbligatori*.

Per quanto riguarda il periodo di svolgimento dello spostamento di solito si distinguono quelli realizzati all'interno o al di fuori delle ore di punta.

Un altro fattore importante è la tipologia dell'utente, in quanto il comportamento di viaggio viene influenzato fortemente dalle loro caratteristiche socio-economiche.

Per quanto riguarda la generazione dei viaggi di persone, i dati considerati sono solitamente:

- reddito;
- possesso d'auto;
- struttura della famiglia;
- dimensione della famiglia;
- valore dei terreni;
- densità residenziale;
- accessibilità.

I primi quattro fattori sono stati inclusi in numerosi studi sulla generazione dei viaggi delle famiglie, mentre il valore dei terreni e la densità residenziale sono tipici degli studi a livello zonale. L'accessibilità, invece, è stata utilizzata solo raramente.

1.2.4.1 Regressione multipla zonale

Un modello proposto in *Pianificazione dei Sistemi di Trasporto* è la *regressione multipla zonale* che consiste nel trovare una relazione lineare tra il numero di viaggi prodotti da ciascuna zona e il valore medio di alcune caratteristiche socio-economiche degli utenti che risiedono in ciascuna zona.

Alcune considerazioni:

- i modelli zonali possono solo spiegare la variazione del comportamento di viaggio tra zone. Per questo motivo possono fornire risultati validi solo se le variazioni interzonali riflettono adeguatamente le ragioni reali che stanno alla base della variabilità dei viaggi. Affinché questo accada è necessario che le zone abbiano una composizione socio-economica omogenea e che rappresentino lo spettro più ampio possibile di condizioni;

- il ruolo dell'intercetta nei modelli di regressione. Sebbene si spera che la linea di regressione passi per l'origine, è molto frequente ottenere valori dell'intercetta piuttosto larghi (in rapporto al prodotto del valore medio delle variabili per i rispettivi coefficienti). Se questo accade la retta di regressione può essere rifiutata. Nel caso l'intercetta non fosse significativa si può procedere con una nuova regressione imponendo il passaggio della retta dall'origine;
- zone nulle: è possibile che alcune zone non offrano informazioni circa alcune variabili dipendenti. Queste zone devono essere escluse dall'analisi; infatti, sebbene la loro inclusione non dovrebbe influenzare in modo significativo i coefficienti stimati, un incremento arbitrario del numero di zone che non forniscano dati utili tende a produrre statistiche che sovrastimano l'accuratezza della regressione stimata;
- valori totali rispetto ai valori medi: quando l'analista formula il modello può scegliere se utilizzare variabili aggregate o totali oppure valori medi zonali.

Gli spostamenti possono assumere la forma generica, sia in forma aggregata che come valori medi:

$$Y_i = \theta_0 + \theta_1 X_{1i} + \theta_2 X_{2i} + \dots + \theta_k X_{ki} + E_i$$

$$y_i = \theta_0 + \theta_1 x_{1i} + \theta_2 x_{2i} + \dots + \theta_k x_{ki} + e_i$$

dove $y_i = Y_i/H_i$, e H_i sono il numero di famiglie nella zona i .

Le due equazioni sono identiche, nel senso che tentano di spiegare la variabilità del comportamento di viaggi tra zone, e in entrambi i casi i parametri hanno lo stesso significato. L'unica fondamentale differenza è legata alla distribuzione del termine d'errore in quanto la condizione di varianza costante del modello non può essere vera in entrambi i casi, a meno che H_i non sia costante per tutte le zone i .

1.2.5 Modelli di Distribuzione

I fattori più utilizzati per descrivere l'attrazione dei viaggi delle persone sono la superficie coperta disponibile per l'industria, il commercio e altri servizi. Un altro fattore utilizzato generalmente è il numero di impiegati nelle zone, e certi studi hanno tentato di incorporare anche una misura dell'accessibilità.

1.2.5.1 Metodo del fattore di crescita (Metodo di Furness)

Si consideri il caso in cui si disponga di una matrice Origine/Destinazione di base, ottenuta per esempio da una precedente indagine, e si voglia stimare una matrice per l'anno di progetto.

Si distinguono tre casi a seconda dei dati disponibili:

1. *Fattore di crescita uniforme*: nel caso in cui l'unica informazione disponibile è una percentuale generale di crescita τ degli spostamenti relativa all'area di studio, allora l'unica ipotesi possibile è che questa percentuale si applichi a tutte le celle della matrice:

$$T_{ij} = \tau \cdot t_{ij}$$

L'ipotesi che sta alla base del fattore di crescita uniforme è generalmente irrealistica, eccetto forse nel caso di previsioni di brevissimo periodo (uno o due anni). Nella maggior parte dei casi, infatti, è normale aspettarsi un differenziale di crescita tra le diverse parti dell'area di studio.

2. *Fattore di crescita singolarmente vincolato*: si consideri una situazione in cui si disponga di informazioni sulla crescita attesa dei viaggi originati da ciascuna zona. In questo caso è possibile applicare alle corrispondenti righe della matrice un fattore di crescita specifico per ogni origine (τ_i). Lo stesso approccio può essere seguito nel caso siano disponibili informazioni sui viaggi attratti da ciascuna zona, applicando un fattore di crescita per ogni colonna (τ_j):

$$T_{ij} = \tau_i \cdot t_{ij} \text{ (vincolato alle origini)}$$

$$T_{ij} = \tau_j \cdot t_{ij} \text{ (vincolato alle destinazioni)}$$

Il problema di questo metodo è che non tiene conto dei possibili cambi di attrattività delle diverse zone.

3. *Fattore di crescita doppiamente vincolato*: si dispone di informazioni circa il numero di spostamenti che saranno generati e attratti nel futuro da ogni zona. Ogni zona risulta contemporaneamente vincolata all'origine e alla destinazione, quindi è legata a due fattori di crescita τ_i e τ_j . Storicamente sono stati proposti diversi metodi iterativi che permettono di ottenere una matrice dei viaggi che soddisfi entrambe le condizioni. Tutti questi metodi comportano il calcolo di un set intermedio di coefficienti di correzione che devono poi essere applicati in modo appropriato alle celle di ogni riga o di ogni colonna. Dopo aver applicato queste correzioni, per esempio, a ogni riga, occorre calcolare la somma delle celle per ciascuna colonna e confrontare questa somma con i valori totali previsti. Se le differenze sono significative, si procede al calcolo e alla applicazione di nuovi fattori di correzione. Il più conosciuto tra tutti questi metodi è quello dovuto a Furness (1965), il quale introdusse dei fattori di bilanciamento A_i e B_j come segue:

$$T_{ij} = t_{ij} \cdot \tau_i \cdot \tau_j \cdot A_i \cdot B_j = t_{ij} \cdot a_i \cdot b_j$$

I fattori a_i e b_j devono essere calcolati in modo che i vincoli risultino soddisfatti. Questo risultato può essere ottenuto utilizzando un processo iterativo con i seguenti passi:

- fissare tutti i fattori $b_j=1$ e risolvere per a_i : questo significa trovare il fattore di correzione che soddisfano i vincoli di generazione;
- con i valori trovati al punto precedente risolvere per b_j in modo da soddisfare i vincoli di attrazione;
- mantenendo fissi i fattori b_j risolvere per a_i e ripetere i passi precedenti fino a quando le variazioni non saranno sufficientemente piccole.

I metodi del fattore di crescita sono semplici da comprendere e utilizzano direttamente le matrici dei viaggi osservati e le previsioni di crescita dei totali di generazione e attrazione. Queste tecniche cercano di mantenere il più possibile inalterate le relazioni della matrice osservata coerentemente con le informazioni disponibili sui tassi di crescita. Questo vantaggio, tuttavia, rappresenta anche una loro limitazione, in quanto queste tecniche risultano ragionevoli solo per orizzonti di pianificazione di breve periodo.

I metodi del fattore di crescita richiedono la stessa base dati dei metodi sintetici, cioè una matrice di viaggi osservata (reperita tramite campionamento) e questa è un'operazione costosa. Inoltre, dipendono fortemente dalla precisione della matrice degli spostamenti relativi all'anno base. Le celle stimate non hanno mai una precisione molto elevata e, pertanto, le matrici risultanti non sono molto più affidabili di quelle campionate o osservate. Inoltre, eventuali errori relativi all'anno base possono essere amplificati in seguito alla successiva applicazione dei fattori di correzione. Infine, eventuali parti inosservate della matrice relativa all'anno base non vengono modificate nelle previsioni. Pertanto, questi metodi non possono essere utilizzati per riempire le celle vuote delle matrici di viaggi osservate parzialmente.

Un'ulteriore limitazione è che questi metodi non possono tenere in considerazione variazioni nel costo di viaggi dovute a miglioramenti (o nuova congestione) nella rete. Pertanto, il loro utilizzo è limitato solo all'analisi di politiche di intervento che non prevedano l'introduzione di nuovi modi di viaggi, nuovi archi della rete, nuove zone o politiche di tariffazione.

1.2.5.2 Modelli sintetici o gravitazionali

Per poter prevedere la struttura dei viaggi quando si verificano importanti cambiamenti nella rete, è stato sviluppato un altro tipo di modelli di distribuzione, che si basa su ipotesi sul comportamento di gruppi di viaggiatori e su come questo è influenzato da fattori esterni quali per esempio il numero totale di viaggi realizzati e la distanza percorsa.

Tra questi modelli quello più conosciuto è quello gravitazionale, originariamente derivato dall'analogia con la legge gravitazionale di Newton. Questi modelli stimano i numeri di spostamenti in ciascuna cella della matrice senza utilizzare direttamente la struttura di viaggi osservata e, per questo, sono spesso chiamati anche modelli sintetici rispetto ai modelli del fattore di crescita.

Il primo esempio di utilizzo rigoroso di un modello di gravitazione si deve a Casey (1955), il quale ha suggerito tale approccio per sintetizzare gli spostamenti realizzati per acquisti e i bacini di utenza tra città in una regione. Nella sua formulazione più semplice il modello presenta la seguente forma funzionale:

$$T_{ij} = \frac{\alpha \cdot P_i \cdot P_j}{d_{ij}^2}$$

dove P_i e P_j sono la popolazione delle città di origine e destinazione degli spostamenti, d_{ij} è la distanza tra la coppia ij e α è un fattore di proporzionalità.

Questa formulazione fu presto considerata una analogia troppo semplicistica della legge gravitazionale e i primi miglioramenti hanno proposto l'utilizzo dei totali di generazione e attrazione (O_i e D_j) al posto del totale della popolazione, e un parametro n di calibrazione come potenza di d_{ij} . Questo nuovo parametro non era vincolato a essere un numero intero e infatti numerosi studi hanno stimato valori compresi tra 0.6 e 3.5.

Il modello è stato ulteriormente generalizzato assumendo che l'effetto della distanza o "separazione" poteva essere modellizzato meglio mediante l'utilizzo di una funzione, da specificare, decrescente con la distanza o con il costo di viaggio tra le zone. Il modello pertanto risultava:

$$T_{ij} = \alpha \cdot O_i \cdot D_j \cdot f(c_{ij})$$

dove $f(c_{ij})$ è una funzione generalizzata del costo di viaggio che contiene uno o più parametri da calibrare e che, generalmente viene chiamata "funzione di deterrenza" in quanto rappresenta l'impedenza a spostarsi al crescere della distanza (tempo) o del costo dello spostamento. Le versioni più note della funzione di deterrenza sono:

$$f(c_{ij}) = e^{-\beta c_{ij}} \text{ (funzione esponenziale)}$$

$$f(c_{ij}) = c_{ij}^{-n} \text{ (funzione di potenza)}$$

$$f(c_{ij}) = c_{ij}^{-n} \cdot e^{-\beta c_{ij}} \text{ (funzione combinata)}$$

Al fine di assicurare che le restrizioni siano verificate, è necessario sostituire il singolo fattore di proporzionalità α con due fattori di bilanciamento A_i e B_j , così come visto nel modello di Furness. Il modello gravitazionale, in questo modo, assume la forma:

$$T_{ij} = A_i \cdot O_i \cdot B_j \cdot D_j \cdot f(c_{ij})$$

In modo analogo è possibile includere O_i e D_j nei due fattori di bilanciamento e riscrivere il modello come:

$$T_{ij} = a_i \cdot b_j \cdot f(c_{ij})$$

Queste espressioni rappresentano la versione classica del modello gravitazionale doppiamente vincolato, dove i valori dei fattori di bilanciamento sono:

$$A_i = 1 / \sum_j B_j \cdot D_j \cdot f(c_{ij})$$

$$B_j = 1 / \sum_i A_i \cdot O_i \cdot f(c_{ij})$$

I fattori di bilanciamento sono, dunque, interdipendenti; e ciò significa che per calcolare un set di fattori occorre utilizzare i valori dell'altro set e viceversa. Questo suggerisce l'utilizzo di un processo iterativo analogo a quello di Furness.

2. Il sistema della domanda

La domanda dei servizi di trasporto è estremamente *qualitativa e differenziata*. Esiste un'ampia gamma di tipologie di domanda di trasporto che si differenziano per periodo del giorno, per giorno della settimana, scopo del viaggio, tipo di carico, ecc. La necessità di questa caratterizzazione rende anche più difficile analizzare e prevedere la domanda di trasporto.

La domanda di trasporto è una quantità derivata e non fine a se stessa: l'utente viaggia per soddisfare delle necessità. La domanda si estrinseca nello spazio: è la distribuzione delle attività nello spazio che genera la domanda di trasporto.

“Il flusso di domanda di mobilità è il numero di utenti con determinate caratteristiche che “consuma” il servizio offerto da un sistema di trasporto in un periodo di tempo prefissato, ovvero come flusso di spostamenti” (Cascetta Ennio, *“Modelli per i sistemi di trasporto – Teoria e applicazioni”*, UTET, Novara, 2006).

Pertanto la domanda di trasporto dipende dalle caratteristiche delle diverse funzioni che sono distribuite nel territorio:

- la residenza;
- l'occupazione;
- la presenza dei servizi, commerciali, finanziari, sociali;
- l'istruzione;
- le attività tipiche del tempo libero;
- le attrattività turistiche.

La domanda che interessa un singolo sistema di trasporto, un singolo veicolo di trasporto collettivo, un singolo arco di una rete dipende anche dalle caratteristiche dell'offerta di trasporto, per esempio dal costo del trasporto, dai tempi di viaggio di una data linea, dalla lunghezza e dalla velocità delle strade che costituiscono un certo percorso.

Le caratteristiche definite poco sopra relative alle funzioni distribuite sul territorio sono definite variabili *socio economiche*, indicate con **SE**, e appartengono al *sistema delle attività*.

Gli elementi necessari per caratterizzare in modo esaustivo la domanda di trasporto possono essere identificati con particolari elementi denominati *segmenti di domanda*, qui elencati:

- origine dello spostamento, indicata con o ;
- destinazione dello spostamento, indicata con d ;
- categoria di utente che compie lo spostamento: lavoratore, studente, turista, ecc., indicata con i ;
- motivo dello spostamento: lavoro, studio, acquisti, svago, turismo, fruizione di servizi, ecc., indicato con s ;
- unità di tempo o fascia oraria nella quale avviene lo spostamento, indicata con h ;
- modalità di trasporto utilizzate per effettuare lo spostamento, indicata con m ;
- percorso seguito, o linea o servizio utilizzati nella rispettiva modalità di trasporto, indicato con k ;

- ricorrenza dello spostamento: per esempio pendolare o occasionale;
- frequenza dello spostamento;
- attualità: lo spostamento può essere attuale se si sta verificando nel momento nel quale si sta analizzando la domanda di trasporto, potenziale se sussistono solamente le condizioni perché esso avvenga oppure futuro se si suppone che esso possa manifestarsi soltanto in un riferimento temporale successivo a quello attuale e in presenza di determinate condizioni.

Per analizzare la domanda di trasporto, la prima operazione da compiere è la suddivisione del territorio in aree e in zone, la cui delimitazione condiziona la struttura della domanda stessa. Il territorio deve essere strutturato definendo i seguenti elementi:

- *area di intervento o area di piano*: è la porzione del territorio interessata dagli interventi progettuali oggetto della pianificazione, i quali, pertanto, condizionano l'entità della domanda e gli effetti di questa sull'offerta di trasporto;
- *area di studio*: è la porzione di territorio esterna all'area di piano e non interessata da interventi progettuali, ma comunque sensibile agli interventi stessi;
- *zone OD*: costituiscono le porzioni elementari del territorio dalle quali si suppone che abbiano origine e nelle quali si suppone abbiano destinazione gli spostamenti che compongono la domanda di trasporto; pertanto, una volta definite le aree di piano e di studio, queste devono essere suddivise in zone OD.

3. Modelli di Stima della Domanda

La costruzione del modello di un sistema di trasporto si articola in tre fasi:

- *specificazione del modello*: formulazione della forma funzionale del modello e delle variabili che vi compaiono. Le variabili esplicative, cioè le variabili indipendenti che descrivono quantitativamente gli elementi che condizionano la domanda, sono presenti nelle equazioni del modello sotto forma di attributi; ciascun attributo è associato a un parametro, o coefficiente, che compare solitamente come fattore moltiplicativo dell'attributo o come suo esponente.
- *calibrazione del modello*: consiste nell'attribuzione di valori opportuni ai parametri che compaiono nelle equazioni, in particolare ai coefficienti delle variabili indipendenti. Durante questo processo il valore degli attributi è noto, mentre è incognito il valore dei loro coefficienti, pertanto è necessario attribuire un valore alle variabili dipendenti, cioè agli elementi che caratterizzano la domanda di trasporto. Per la quantificazione delle variabili dipendenti è necessario disporre di informazioni raccolte, anche in questo caso, con l'osservazione della realtà oggetto di studio, tipicamente con l'esecuzione di *indagini disaggregate* svolte su un campione di utenti, analoghe a quelle che si effettuano nel processo di stima. Ovviamente è impossibile lo svolgimento di indagini disaggregate su un campione di utenti non ancora esistente, è però possibile raccogliere informazioni relative al loro ipotetico comportamento futuro con l'impiego di *indagini SP*, o *indagini sulle preferenze dichiarate*.
- *validazione del modello*: viene svolta a valle della specificazione e della calibrazione del modello e consiste nella verifica della capacità del modello stesso di riprodurre la realtà con i dati disponibili confrontando alcuni risultati simulati con la realtà. Anche per l'esecuzione della validazione è quindi necessario disporre di informazioni raccolte con l'osservazione della realtà oggetto di studio, tipicamente con l'esecuzione di *indagini aggregate*, costituite da *conteggi* o *misure* dei flussi di traffico.

I modelli di domanda possono essere classificati in base alle ipotesi di base dalle quali derivano, cioè possono essere così suddivisi:

- *modelli comportamentali*, o *decisionali*: derivano da ipotesi esplicite sul comportamento di scelta degli utenti e tentano di interpretarlo con funzioni probabilistiche;
- *modelli descrittivi*: rappresentano le relazioni causa-effetto rispettivamente fra variabili socio-economiche *SE* e livelli di servizio *T* da un lato e la domanda sull'altro lato, senza formulare ipotesi specifiche sul comportamento degli utenti/decisori.

Esistono *sistemi misti di modelli*, di uso frequente nella pratica, in ragione della difficoltà di simulare il comportamento di scelta dell'utente su tutte le dimensioni di scelta.

Formalmente il *modello di domanda di spostamento* può essere così espresso:

$$d_{od}^q[s, h, m, c] = d(SE, T)$$

Nell'equazione sopra rappresentata, i parametri assumono il significato delle seguenti dimensioni di scelta:

- categoria socio-economica q dell'utente: lavoratore, studente, turista, ecc.;
- zona di origine o ;
- zona di destinazione d ;
- coppia di *motivi* s che generano lo spostamento; si parla di coppia di motivi perché essi dipendono dalle due attività svolte rispettivamente nel luogo di origine dello spostamento e in quello di destinazione;
- intervallo temporale di riferimento h , che spesso coincide con una *fascia oraria*;
- modo di trasporto m utilizzato;
- percorso, o cammino, seguito c , solitamente espresso dalla sequenza degli archi compresi tra i centroidi o e d nel modello di offerta relativo al modo m .

3.1 Modello a quattro stadi

Al fine di isolare più chiaramente le differenze di comportamento dei soggetti tipici che compiono gli spostamenti, e quindi di ottenere un grado di precisione più elevato, la funzione di domanda sopra formulata è differenziata anche per ciascuna *categoria di utenti* q (o *segmento di mercato*) e la domanda globale viene ottenuta sommando quella delle diverse categorie.

Sebbene le dimensioni di scelta che entrano nel modello di domanda di spostamento siano interdipendenti, è consuetudine *fattorializzare*, cioè suddividere, la funzione di domanda globale nel prodotto di sotto-modelli interconnessi, ciascuno relativo a una o più dimensioni di scelta.

Questo accorgimento è utile nella prassi operativa in quanto permette di separare la raccolta dei dati, la loro analisi statistica e la trattazione analitica del modello in singole *fasi* (o *stadi*), ciascuna corrispondente a un componente particolare del processo decisionale che porta all'effettuazione dello spostamento da parte del singolo soggetto.

Nel corso degli anni si è consolidato l'uso di scomporre il modello di domanda nella sequenza di quattro aliquote corrispondenti ad altrettante scelte successive.

Il sistema di modelli parte dalla stima del *livello di domanda*, cioè della domanda complessiva di spostamenti generati da ciascuna zona di origine nel periodo di riferimento, e lo suddivide, parzializzandolo progressivamente, tra le destinazioni, i modi e i percorsi possibili.

Questa sequenza di sotto-modelli, molto nota e utilizzata nella pratica, è chiamata comunemente *sistema di modelli a quattro stadi*:

$$d_{od}^q[s, h, m, c] = n^q[o] \sum_x p^q[x/osh](SE, T) \cdot p^q[d/osh](SE, T) \cdot p^q[m/oshd](SE, T) \cdot p^q[c/oshm](SE, T)$$

In questa espressione i vari simboli hanno il significato indicato nel paragrafo precedente. Oltre a essi compaiono i seguenti termini:

- $n_q[o]$: numero di utenti della categoria q che si trovano nella zona di origine o ;
- x : numero di spostamenti relativi alle categorie di scelta indicate.

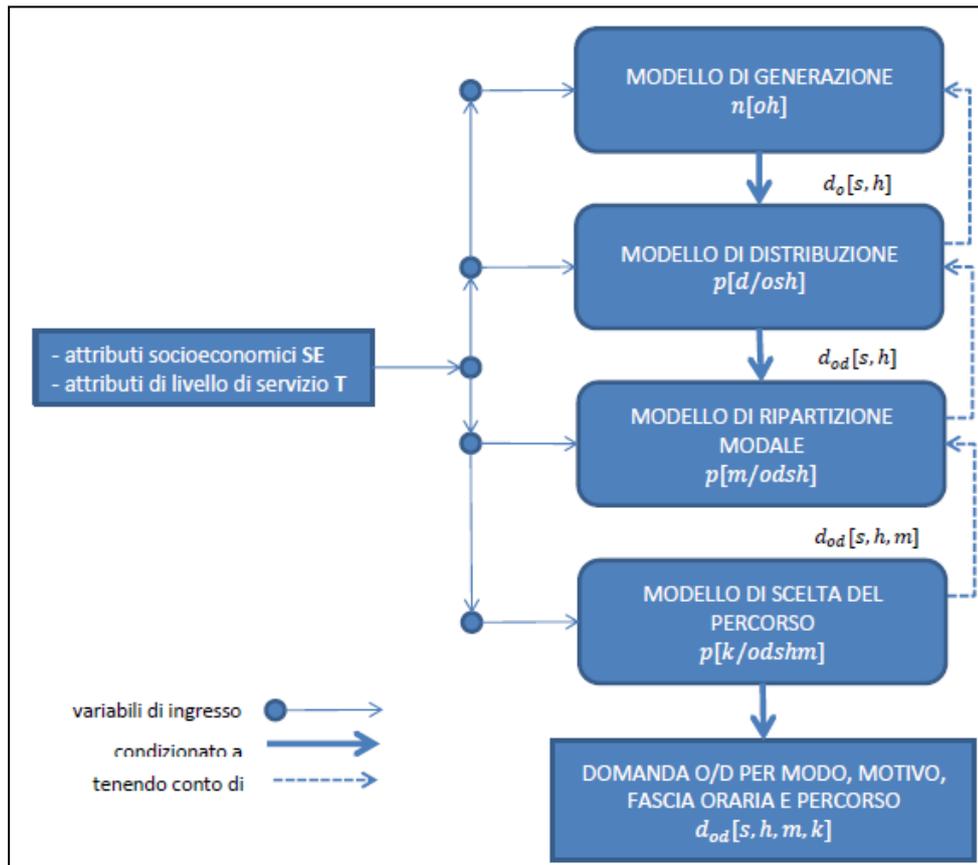


Figura 3.1 Suddivisione del modello in sottomodelli

I fattori che compaiono sotto la sommatoria, cioè ogni aliquota parziale, corrispondono ai sotto-modelli qui descritti.

Il sottomodello di *generazione* esprime la domanda come frazione degli individui della categoria q che, trovandosi nella zona o , effettuano x spostamenti per il motivo s nella fascia oraria h :

$$p^q[x/osh](SE, T)$$

Il risultato dell'applicazione del modello di generazione consiste nella determinazione dei margini della matrice degli spostamenti totali per il motivo s nella fascia oraria h . In questa formulazione si sottintendono spesso gli argomenti $[SE, T]$ e l'indice relativo all'intervallo h .

Il sottomodulo di *distribuzione* fornisce la frazione di individui della categoria q che, spostandosi dalla zona o per il motivo s nella fascia oraria h , sono diretti alla zona di destinazione d :

$$p^q[d/osh](SE, T)$$

Il risultato dell'applicazione del modello di distribuzione consiste nella definizione di tutti gli elementi della matrice degli spostamenti totali che si effettuano nella fascia oraria h per il motivo s .

Il sottomodulo di *ripartizione modale* (o *scelta modale*, o *taglio modale*) fornisce la frazione di utenti della categoria q che, spostandosi tra la zona origine o e la zona destinazione d per il motivo s nella fascia oraria h , usano il modo di trasporto m :

$$p^q[m/oshd](SE, T)$$

Il risultato dell'applicazione del modello di ripartizione modale consiste nella determinazione degli elementi della matrice modale degli spostamenti che usano il modo m per il motivo s nella fascia oraria h .

Il sottomodulo *scelta del percorso* fornisce la frazione di utenti della categoria q che, spostandosi tra o e d per il motivo s nella fascia oraria h usando il modo m , seguono il percorso c :

$$p^q[c/oshm](SE, T)$$

L'ordine dei sottomodelli che costituiscono un sistema non obbedisce ad alcuna regola: ogni formulazione (o *specificazione*) del modello corrisponde a un'ipotesi sull'ordine con cui le scelte relative alle varie dimensioni vengono compiute dall'utente e dunque come queste si influenzano reciprocamente.

La specificazione utilizzata nella formulazione a quattro stadi implica, per esempio, che la scelta del modo sia condizionata da quella della destinazione e di effettuazione dello spostamento, mentre risulta condizionante per quella del percorso.

In funzione della particolare realtà che si intende modellizzare sono possibili sequenze differenti da quella a sopra riportata. Per esempio, in alcune specificazioni la scelta del modo condiziona quella delle destinazioni.

Nel seguito verrà posta particolare attenzione solo ai modelli utilizzati generalmente per i sottomodelli di generazione e distribuzione, poiché sono i soli usati per la realizzazione di questo elaborato.

Le famiglie di modelli che vengono solitamente utilizzate sono:

- modelli descrittivi: utilizzati per i modelli di generazione;
- modelli comportamentali: usati per i modelli di distribuzione, utilizzano la teoria dell'utilità probabilistica.

3.1.1 Modelli descrittivi

Nella sua forma più semplice possibile, l'equazione di un modello descrittivo può essere fornita, per esempio, dalla formula seguente:

$$d = \beta_1 \cdot x + \beta_2$$

dove:

- d = flusso di domanda incognito;
- x = variabile esplicativa della domanda;
- β_1, β_2 = coefficienti della variabile esplicativa, cioè parametri di calibrazione del modello.

In questa famiglia rientrano i modelli di emissione e di regressione zonale di Cascetta e Ortuzar.

La formula sopra scritta altro non è che l'equazione di una retta nel piano $x-d$, e i parametri β_1 , e β_2 sono rispettivamente il coefficiente angolare della retta e la sua intercetta con l'asse d .

Nell'equazione del modello sopra introdotto sono presenti due insiemi di variabili e un insieme di termini costanti.

Le variabili indipendenti, o *variabili esplicative*, sono costituite dagli attributi del modello, i quali rappresentano le diverse caratteristiche socio-economiche e di trasporto degli scenari simulati.

Le variabili dipendenti sono i *flussi di domanda incogniti*. Il loro valore viene calcolato in funzione dei valori che vengono attribuiti alle variabili indipendenti.

I termini costanti sono i *parametri del modello*; essi esplicano la relazione funzionale esistente tra le variabili indipendenti e quella dipendente. A seconda della forma funzionale scelta per costruire il modello, i parametri compaiono come coefficienti moltiplicativi o come esponenti del proprio attributo, o in altre forme più sofisticate.

Nel semplicissimo esempio riportato, la variabile esplicativa potrebbe rappresentare la popolazione residente in una zona; in questo caso il coefficiente angolare rappresenta la propensione dei residenti nella zona a spostarsi nel territorio, generando flussi di domanda d . Conoscendo il valore x_1 della popolazione residente nella zona 1 è così possibile ottenere una stima della corrispondente domanda generata d_1 .

In pratica utilizzando questo modello si stima direttamente la grandezza:

$$d = n^q[o] \sum_x p^q[x/osh](SE, T)$$

3.1.1.1 Calibrazione dei modelli descrittivi

Il presupposto necessario di questa operazione è la conoscenza del valore dei parametri β , senza la quale il modello è inutilizzabile. La calibrazione è dunque l'operazione che permette di quantificare il valore dei parametri β .

Durante la calibrazione, pertanto, il valore della popolazione è noto e i β assumono il ruolo delle incognite del problema; per attribuire un valore alle incognite è però necessario conoscere anche il valore del flusso di domanda. L'ottenimento della calibrazione presuppone quindi di acquisire in qualche modo informazioni opportune sulla domanda generata dalle zone territoriali, operazione possibile con l'esecuzione di indagini campionarie. In altre parole, si procede compiendo le seguenti operazioni:

- si individua un certo numero di zone campione, delle quali sia noto il numero dei residenti;
- in ciascuna delle zone individuate si esegue un'indagine per rilevare il flusso di domanda generato dai rispettivi residenti, si ottiene così un insieme di n punti (x_i, d_i) ;
- si esegue una correlazione tra la popolazione residente in ogni zona campione e il corrispondente flusso di domanda: il risultato della correlazione è il valore dei coefficienti incogniti;
- il modello così calibrato nelle zone campione viene utilizzato nelle altre zone per stimare la domanda in funzione della popolazione in esse residente.

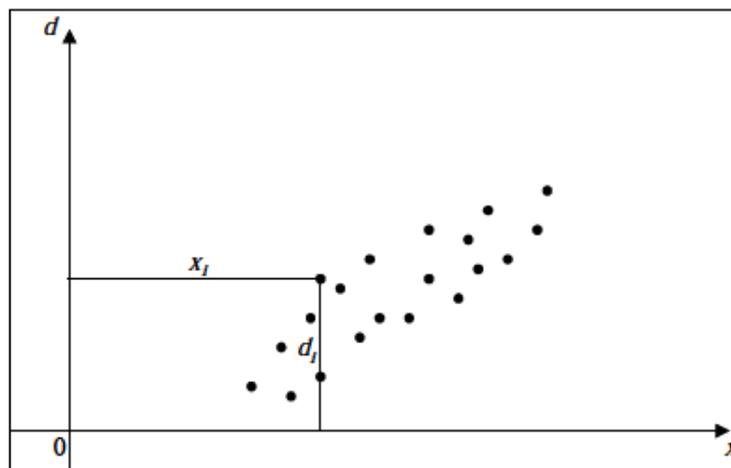


Figura 3.2 Rappresentazione grafica delle osservazioni

Uno dei metodi più utilizzati per compiere la correlazione è la *regressione lineare* ottenibile con il metodo dei *minimi quadrati*.

Indicando con n il numero delle zone campione e con x_i e d_i , rispettivamente, la popolazione residente nella zona i -esima e il flusso di domanda in essa rilevato, il metodo dei minimi quadrati consiste nella attribuzione a β_1 e β_2 dei valori che minimizzano la seguente somma S :

$$S = \sum_{i=1}^n (\beta_1 x_i - d_i + \beta_2)^2$$

Risolviendo questo problema di ottimizzazione si ottiene l'equazione della *retta di regressione*, cioè il modello calibrato.

Utilizzando il modello calibrato è possibile stimare, con buona approssimazione, la domanda ancora incognita generata da una zona non compresa nei dati della regressione.

3.1.2 Modelli comportamentali: la teoria dell'utilità probabilistica

Ricordando che il risultato finale della modellizzazione è costituito dai flussi di traffico circolanti sui tratti viari di una rete, cioè i flussi di arco, l'entità di questi flussi è il risultato di una successione di scelte concatenate che, procedendo a ritroso, possono essere così elencate: scelta del percorso, scelta della modalità di trasporto, scelta della destinazione, scelta dell'effettuazione del viaggio, scelta dell'origine.

Nel gruppo dei modelli comportamentali, spicca la famiglia dei *modelli di utilità probabilistica* (o *utilità casuale*, o *utilità aleatoria*).

I modelli comportamentali hanno l'ambizione di stimare la domanda di trasporto riproducendo il comportamento di scelta degli utenti. Per essere più precisi, essi tentano di riprodurre non tanto il meccanismo psicologico che conduce a una particolare decisione, quanto il risultato di quella decisione.

La teoria dell'utilità probabilistica si basa su ben definite ipotesi:

- l'utente, cioè il soggetto che compie le scelte, sia un decisore razionale, cioè tenda a massimizzare l'utilità che può trarre dalle proprie scelte e che non sia possibile prevedere con certezza la scelta che egli effettuerà, ma soltanto stimare la probabilità che egli scelga una determinata alternativa. Questa assunzione continua a valere anche nel caso nel quale si consideri non ogni singolo utente, bensì un'aggregazione di utenti omogenea dal punto di vista del comportamento. Ciò che è importante sottolineare è che il decisore q non sceglie, solitamente, un'alternativa fine a sé stessa, sceglie bensì l'insieme dei vantaggi propri di quella alternativa avendoli confrontati con quelli delle altre alternative disponibili e appartenenti al suo insieme di scelta I_q .
- l'utente generico q considera nella scelta tutte le m_q alternative a lui disponibili, che costituiscono il suo *insieme di scelta* I_q . L'insieme di scelta può variare per i differenti decisori q in funzione, per esempio, delle diverse modalità o tecnologie di trasporto disponibili: nella scelta del percorso gli utenti che usano un'autovettura hanno a disposizione un insieme di alternative differenti rispetto a quelle disponibili per gli utenti non dotati di autovettura.
- l'utente q associa a ciascuna alternativa i del suo insieme di scelta I_q un'*utilità per-*

cepita o attrattività percepita U_{qi} e sceglie l'alternativa che massimizza questa utilità, cioè:

$$U_M = \max_i \{U_i\}$$

- l'utilità U_{qi} associata a ogni alternativa di scelta dipende da *attributi* propri dell'alternativa i e dell'utente q , aggregati in un vettore X_{iq} denominato *vettore degli attributi* dell'alternativa i relativa all'utente q :

$$U_i^q = U_i^q(X_i^q)$$

È opportuno precisare che si tratta di una rappresentazione verosimile, ma pur sempre fittizia della realtà: l'utente è ovviamente inconsapevole di tutto ciò e si comporta prevalentemente in modo istintivo e qualitativo scegliendo l'alternativa che “gradisce” di più.

Nella simulazione del comportamento dell'utente q , una serie di cause di incertezza impedisce di determinare con la massima attendibilità l'utilità che egli percepisce nella scelta dell'alternativa i , pertanto questa rappresentazione deve fare affidamento a *variabili aleatorie*.

L'utilità che il decisore generico q associa all'alternativa i è un'entità soggettiva e astratta che non può essere nota al progettista, il quale può limitarsi solamente a formulare alcune sue interpretazioni della realtà. Questa interpretazione è affetta da varie distorsioni tra le quali, a titolo di esempio, si possono citare le seguenti:

- mancata soddisfazione della seconda ipotesi:
 - alcuni soggetti potrebbero non essere effettivamente a conoscenza di tutte le alternative di scelta disponibili nella realtà;
 - uno stesso utente in momenti diversi, a parità di altre condizioni, potrebbe percepire in modo diverso l'utilità delle alternative.
- mancata soddisfazione della terza ipotesi: soggetti diversi possono valutare in modo diverso gli stessi attributi:
 - un lavoratore pendolare e un turista valutano in modo differente i costi e la qualità dello stesso servizio;
 - uno spedizioniere di materie prime grezze può valutare l'utilità della modalità ferroviaria diversamente da chi spedisce derrate alimentari.
- mancata soddisfazione della quarta ipotesi: inadeguatezza del modello formulato:
 - potrebbe mancare un attributo relativo a una caratteristica di un sistema di trasporto che, invece, nella realtà l'utente considera;
 - un attributo potrebbe essere non correttamente espresso;
 - il valore di un attributo non direttamente misurabile in modo quantitativo potrebbe essere errato o non correttamente aderente al suo valore reale.

Per superare i limiti della bontà della modellizzazione derivanti dalle cause di aleatorietà sopra accennate, si può formulare l'utilità percepita U_{iq} esprimendola come somma di due contributi:

- l'*utilità sistematica* V_{iq} : valore medio costante per tutti gli utenti appartenenti allo stesso contesto di scelta del decisore q , che rappresenta il valore atteso della loro utilità percepita in funzione di un certo vettore di attributi \mathbf{X}_{iq} , che sono quantità dipendenti dal sistema delle attività, dalla situazione socio-economica del territorio e dai livelli di servizio dei sistemi di trasporto sul territorio;
- un *residuo aleatorio* ε_{iq} a media nulla che rappresenta lo scostamento dal valore medio dell'utilità percepita dall'utente q :

$$U_i^q = V_i^q + \varepsilon_i^q, \quad \forall i \in I^q$$

L'utilità sistematica viene espressa come funzione di una serie di attributi e rappresenta l'utilità che effettivamente si ritiene possa essere percepita dagli utenti della categoria q e da essi attribuita a ogni singola alternativa i .

Nei residui aleatori vengono idealmente concentrati tutti gli elementi di incertezza, e in questo senso, essi rappresentano formalmente lo scostamento dell'utilità percepita dall'utente q dal suo valore medio, cioè dall'utilità sistematica. Non essendo possibile attribuire quantitativamente un valore numerico ai residui aleatori, è tuttavia possibile esprimerne la distribuzione probabilistica con una variabile aleatoria.

L'utilità casuale, come ogni altra variabile aleatoria, può essere caratterizzata dalle seguenti notazioni:

- valore atteso o *media* dell'utilità percepita:

$$\mu_{q,i} = E[U_i^q]$$

- *varianza* dei residui aleatori dell'alternativa q :

$$\sigma_{q,i}^2 = Var[\varepsilon_i^q]$$

- *covarianza* tra i residui aleatori relativi a differenti alternative q e h :

$$\sigma_{q,i,h} = Cov[\varepsilon_i^q, \varepsilon_h^q]$$

La varianza fornisce una misura della dispersione dei valori di una variabile casuale attorno alla propria media μ . Se i valori sono concentrati vicino alla media, la varianza è piccola; se i valori sono dispersi lontano dalla media, la varianza è grande.

La covarianza ha un significato che è strettamente legato ai possibili legami di interdipendenza tra i residui aleatori, cioè all'eventuale mutua dipendenza esistente tra alcuni attributi di scelta

Per effetto delle condizioni poste dalle ipotesi introdotte, e in particolare a causa della impossibilità di esprimere numericamente i residui aleatori, in generale non è possibile prevedere

con certezza l'alternativa scelta da un generico decisore, ma è possibile limitarsi a calcolare la probabilità che egli scelga l'alternativa j , condizionata al suo insieme di scelta I^q ,

La probabilità che egli scelga l'alternativa j può essere espressa come probabilità che l'alternativa scelta offra una utilità percepita più elevata rispetto a quella di tutte le altre alternative disponibili nello stesso insieme di scelta:

$$p^q \left[\frac{j}{I^q} \right] = \Pr[U_j^q > U_h^q], \quad \forall h \neq j, h \in I^q$$

Sostituendo l'espressione dell'utilità aleatoria in quella della probabilità, si ottiene per quest'ultima la seguente espressione:

$$p^q \left[\frac{j}{I^q} \right] = \Pr[V_j^q - V_h^q > \varepsilon_h^q - \varepsilon_j^q], \quad \forall h \neq j, h \in I^q$$

Secondo la quale la probabilità di scelta di un'alternativa dipende dalle utilità sistematiche di tutte le alternative concorrenti e dalla legge di distribuzione congiunta dei residui aleatori.

3.1.2.1 Logit multinomiale

Il più semplice modello di utilità casuale si basa sull'ipotesi che i residui aleatori ε_j siano i-denticamente e indipendentemente distribuiti (i.i.d.) secondo la legge di Weibull-Gumbel (WG), con funzione distribuzione di probabilità espressa come:

$$F_{\varepsilon_i}(x) = \Pr(\varepsilon_i \leq x) = e^{-e^{-\frac{x}{\theta-\Phi}}}$$

dove:

- il parametro θ è un parametro, tipico di questa variabile aleatoria e va calibrato;
- Φ è una costante: costante di Eulero pari a 0,577.

L'ipotesi di distribuzione identica dei residui aleatori si traduce, nel formalismo matematico, con la condizione di uguaglianza delle loro varianze. L'ipotesi della loro distribuzione indipendente si traduce con la condizione dell'annullamento delle loro covarianze.

Le grandezze fondamentali di una variabile di Gumbel risultano quindi:

$$E[\varepsilon_i] = 0, \forall i$$

$$E[U_i] = V_i, \forall i$$

$$\text{Var}[U_i] = \text{Var}[\varepsilon_i] = \frac{\pi^2 \theta^2}{6}, \forall i$$

$$\text{Cov}[\varepsilon_i, \varepsilon_h] = 0, \forall i, h \in I$$

La variabile di Gumbel gode di una importante proprietà detta di *stabilità rispetto alla massimizzazione*, ovvero il massimo di variabili di Gumbel indipendenti e di uguale parametro θ è ancora una variabile di Gumbel di parametro θ . In altri termini se le U_i sono variabili di Gumbel indipendenti di uguale parametro θ e con medie diverse V_i , la variabile U_M :

$$U_M = \max \{U_i\}$$

è ancora una variabile di Gumbel con parametro θ e media fornita da:

$$V_M = E[U_M] = \theta \cdot \ln \left(\sum_i e^{V_i/\theta} \right) = \theta \cdot Y$$

La variabile V_M è anche denominata utilità inclusiva e la variabile Y ad essa proporzionale è denominata, per la sua struttura analitica, variabile *logsum*:

$$Y = \ln \left(\sum_i e^{V_i/\theta} \right)$$

La stabilità rispetto alla massimizzazione fa sì che la variabile di Gumbel sia un'ipotesi particolarmente conveniente per la distribuzione dei residui nei modelli di utilità aleatoria, in quanto questi esprimono la probabilità di scelta di un'alternativa come la probabilità che l'utilità percepita per tale alternativa sia la massima fra quelle relative a tutte le alternative disponibili. Infatti, nelle ipotesi fatte, la probabilità di scegliere l'alternativa "i" fra quelle disponibili, può essere espressa come:

$$p[i] = \frac{e^{V_i/\theta}}{\sum_j e^{V_j/\theta}}$$

Generalmente per le utilità V_i si utilizza una forma lineare:

$$V_i = \sum_k \beta_k X_{ki}^q$$

E quindi:

$$p[i] = \frac{e^{\frac{\sum_k \beta_k X_{ki}^q}{\theta}}}{\sum_j e^{\frac{\sum_k \beta_k X_{kj}^q}{\theta}}}$$

Il Logit Multinomiale gode di alcune proprietà:

- *dipendenza dalle differenze di utilità sistematiche*: la scelta di una determinata alternativa dipende dalla differenza della sua utilità sistematica con le altre alternative. La scelta di una determinata alternativa è più probabile quanto più la differenza dell'utilità sistematica di questa alternativa con l'utilità sistematica delle altre alternative è maggiore, avendo una minore influenza da parte dei residui aleatori;
- *influenza della varianza dei residui*: una minore varianza dei residui aleatori porterebbe ad avere una maggiore influenza da parte dell'utilità sistematica, così come una maggiore varianza porterebbe ad avere una maggiore influenza da parte dei residui aleatori;
- *indipendenza dalle alternative irrilevanti*: questa proprietà deriva dalle ipotesi fatte sull'indipendenza dei residui aleatori e, in alcuni casi, può condurre a risultati irrealistici. Si pensi ad esempio al caso di scelta fra due alternative A e B di eguale utilità sistematica. In questo caso, la probabilità di scelta di ciascuna alternativa calcolata con il modello Logit è pari a 0.50.

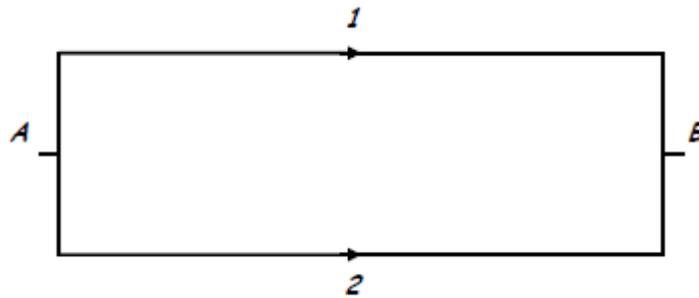


Figura 3.3 Indipendenza delle alternative irrilevanti

Si supponga di aggiungere all'insieme di scelta una terza alternativa C, di uguale utilità sistematica ma molto simile all'alternativa B. In questo caso, il modello Logit Multinomiale redistribuirebbe la probabilità di scelta tra le tre alternative, dando 0.33 a ciascuna.

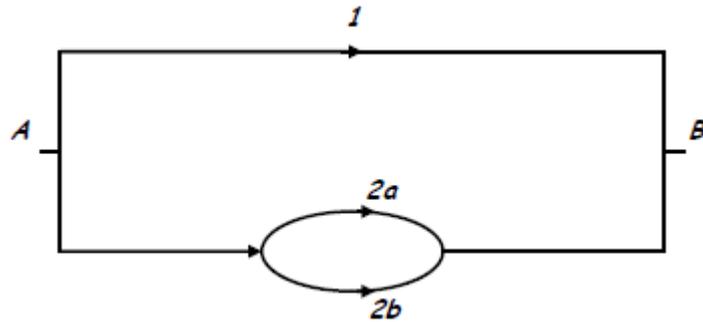


Figura 3.4 Indipendenza delle alternative irrilevanti

Questo risultato è chiaramente paradossale: le probabilità di scelta in questo modo si trasformano in $p[1]=0,33$ e $p[2]=0,66$, mentre nella realtà l'utente percepisce ancora $p[1]=p[2]=0,5$.

Il tutto deriva dallo scarso realismo, per il caso descritto, dell'ipotesi alla base del modello Logit che le alternative siano percepite in modo distinto dal decisore, ovvero che i loro residui aleatori siano indipendenti. Da quanto detto, si evince che nelle applicazioni il modello Logit Multinomiale dovrebbe essere utilizzato in contesti di scelta con alternative sufficientemente distinte perché sia plausibile l'ipotesi di indipendenza dei residui aleatori.

Caso particolare del logit multinomiale è il logit binomiale: la formulazione rimane la stessa, ma le alternative a disposizione dell'utente sono solo due, A e B:

$$p[A] = \frac{e^{V_A/\theta}}{e^{V_A/\theta} + e^{V_B/\theta}}$$

$$p[A] = \frac{1}{1 + e^{\frac{V_B - V_A}{\theta}}}$$

Questa relazione viene utilizzata anche da Cascetta in *“Metodi quantitativi per la pianificazione dei sistemi di trasporto”*.

Nel momento in cui il logit diventa gerarchico, l'utente può percepire in modo diverso l'utilità attribuita ad ogni scelta.

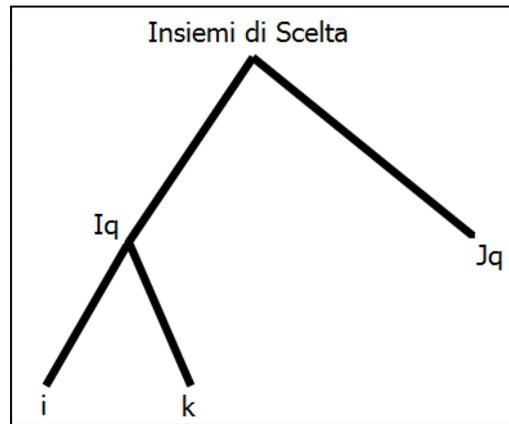


Figura 3.5 Esempio di Logit Gerarchico

L'utente che sceglie l'insieme di alternative I_q può associare a questo gruppo un'utilità che può essere:

- un'utilità media tra le alternative del gruppo (i e k);
- un'utilità pari all'alternativa del gruppo effettivamente scelta (una sola tra i e k).

3.1.2.2 Calibrazione dei modelli comportamentali

In “*Metodi quantitativi per la pianificazione dei sistemi di trasporto*” (E.Cascetta, 1990), viene esposto il metodo della Massima Verosimiglianza. Il procedimento si semplifica quando si parte da un logit multinomiale.

Questo tipo di calibrazione si basa in particolar modo sull'utilità attribuita ad ogni zona: i risultati, quindi, non vanno a riprodurre necessariamente la distribuzione reale osservata, ma stimano una distribuzione logica in funzione delle utilità.

La probabilità di osservare l'insieme delle scelte degli n decisori del campione, cioè di ottenere una certa stima, è data dal prodotto delle probabilità che ciascun utente q -esimo scelga l'alternativa $i(q)$ effettivamente scelta da q , cioè $p[i(q)](\mathbf{X}^q, \beta, \theta)$, a condizione di avere a disposizione un campione di osservazioni assolutamente indipendenti fra di loro, in altre parole la scelta del q -esimo utente non deve essere influenzata dalla scelta di altri utenti.

La forma da utilizzare per esplicitare la funzione di massima verosimiglianza cambia a seconda del tipo di campionamento:

1. Campionamento casuale semplice: la condizione di indipendenza è soddisfatta e le suddette probabilità sono a loro volta calcolate con il modello in esame, quindi dipendono dal vettore di coefficienti $[\beta_k, \theta]$. Anche la probabilità L di osservare l'intero campione risulta funzione dei coefficienti incogniti:

$$L(\beta_k, \theta) = \prod_{q=1}^n p^q[i(q)](X^q, \beta_k, \theta)$$

La stima del vettore dei coefficienti $[\beta_k, \theta]$ che fornisce la massima verosimiglianza, indicato anche con $[\beta_k, \theta]_{ML}$, è ottenuta trovando il massimo dell'equazione precedente. La possibilità di massimizzare la funzione obiettivo in modo analitico o numerico dipende dalla forma funzionale del modello.

Per rendere comunque più agevole l'operazione, in luogo della funzione di verosimiglianza, si può utilizzare una trasformazione ottenuta esprimendo il suo logaritmo naturale, denominato *funzione log-Likelihood*:

$$\log L(\beta_k, \theta) = \sum_{q=1}^n p^q[i(q)](X^q, \beta_k, \theta)$$

È possibile utilizzare questa trasformazione basandosi su alcune proprietà dei logaritmi:

- la massimizzazione di una funzione coincide con la massimizzazione del suo logaritmo;
- il logaritmo del prodotto è la somma dei logaritmi.

2. Campionamento casuale stratificato: si procede all'estrazione casuale di un certo numero n_h di utenti che appartengono a ciascuno strato. Si considerino le definizioni seguenti:

- $h = 1 \dots H$ = strato h -esimo,
- N_h = numerosità dell' h -esimo strato, cioè numero dei suoi componenti,
- n_h = numero degli utenti estratti casualmente dall' h -esimo strato,
- $a_h = n_h / N_h$ = tasso di campionamento dello strato h -esimo;

La probabilità di riprodurre le scelte compiute dal campione n_h e, quindi, la struttura della funzione di verosimiglianza, dipendono dalla modalità di individuazione degli strati.

Nel caso preso in esame la stratificazione è effettuata per localizzazione geografica, quindi si dovrà utilizzare un campionamento casuale stratificato esogeno.

Anche in questo caso la funzione di massima verosimiglianza viene sostituita dal suo logaritmo per semplificare, per quanto possibile, i calcoli:

$$\log L(\beta_k, \theta) = \sum_{h=1}^H \sum_{q=1}^{n_h} p^q[i(q)](X^q, \beta_k, \theta) + \text{cost}$$

Il fattore costante non avrà, ovviamente, alcuna influenza nel processo di massimizzazione.

Considerando come modello per la densità di probabilità un logit multinomiale, una funzione così formulata risulterà dipendente dai diversi β_k degli attributi e dal parametro θ della va-

riabile di Gumbel: questo si traduce in $k+1$ incognite nel processo di calibrazione. Se si osserva la relazione precedente si può, però, osservare che la probabilità dipende più direttamente da k rapporti, dati dai rapporti tra i β_k e il parametro θ .

$$\beta'_k = \frac{\beta_k}{\theta}$$

Le formule potranno quindi essere così riscritte in funzione dei “nuovi” parametri β'_k :

$$p[i] = \frac{e^{\sum_k \beta'_k X_{ki}^q}}{\sum_j e^{\sum_k \beta'_k X_{kj}^q}}$$

$$\log L(\beta'_k) = \sum_{h=1}^H \sum_{q=1}^{n_h} p^q[i(q)](X^q, \beta'_k) + cost$$

In un’analisi complessa, come può essere quella di un modello di distribuzione, gli attributi considerati possono essere numerosi: il numero k delle incognite diventa elevato.

Di conseguenza, il normale procedimento analitico di calcolo e annullamento del gradiente diventa proibivo. Sarà quindi necessario ricorrere a software o ad algoritmi particolari.

MODELLO DI STIMA DELLA DOMANDA PIACENZA 2001 – PIACENZA 1991

4. Introduzione

Oggetto della presente analisi è la costruzione di un modello di stima della domanda per le parti di generazione e di distribuzione degli spostamenti quotidiani per ragioni di lavoro. In questa fase si cercherà di realizzare un modello che vada bene per la medesima provincia in anni diversi.

Nel caso in studio, si userà la provincia di Piacenza aggiornata all'anno 2001 per calibrare il modello e la provincia di Piacenza datata all'anno 1991 per validare il modello stesso.

L'oggetto principale di questa analisi è la mobilità quotidiana, determinata da ragioni di lavoro, che interessa la provincia di Piacenza.

Si andranno a studiare gli spostamenti originati dalla popolazione residente nella suddetta provincia, esclusi solo gli spostamenti verso l'estero, cioè fuori dal paese italiano.

Gli spostamenti quotidiani qui considerati sono quelli determinati dalla necessità di raggiungere il luogo di lavoro e non esauriscono tutti i flussi perché vengono esclusi gli spostamenti per studio, svago, turismo, commissioni, spese varie, ecc.. Tuttavia, proprio in ragione di tale specificità, sono estremamente utili per individuare i ruoli che i diversi comuni hanno nel territorio piacentino.

Il seguente elaborato si divide in due parti: calibrazione e validazione del modello.

Per la calibrazione si usano i dati di base del Censimento Generale della Popolazione e delle Abitazioni dell'anno 2001 e la matrice Origine/Destinazione dell'anno 2001 della provincia di Piacenza, mentre per la validazione si utilizzano i corrispondenti dati risalenti all'anno 1991 sempre per la provincia di Piacenza. Si sceglie di impiegare i dati di base dei censimenti poiché rappresentano l'unica rilevazione universale degli spostamenti della popolazione.

L'obiettivo di questa parte non è la stima dell'intera matrice Origine/Destinazione, ma è l'elaborazione di singole fasi che possano comporre un modello semplice e il più possibile immediato e che permettano la miglior stima possibile degli spostamenti analizzati utilizzando i pochi dati resi pubblici a livello comunale in tutti gli anni analizzati.

4.1 La Provincia di Piacenza

La provincia di Piacenza è una provincia italiana dell'Emilia-Romagna. Confina a nord con la regione Lombardia, in particolare con la provincia di Lodi e di Cremona, a ovest ancora con la regione Lombardia tramite la provincia di Pavia e con il Piemonte tramite la provincia di Alessandria, a est con la provincia di Parma e a sud con la Liguria (provincia di Genova).



Figura 4.1 Localizzazione delle Provincia di Piacenza

La provincia di Piacenza è denominata “il cuore tra il Po e l’Appennino” perchè si estende nella pianura Padana a sud del fiume Po nella parte occidentale della regione Emilia-Romagna e perchè a sud confina con la provincia di Genova in Liguria tramite l’Appennino Ligure.

Il fiume principale è il Po, che marca il confine regionale con la Lombardia. Il secondo fiume più importante è il Trebbia, mentre i torrenti principali sono il Nure, il Tidone e l’Arda.

La struttura dell’economia piacentina è prevalentemente industriale con piccole e medie imprese, soprattutto manifatturiere. Seguono il settore commerciale, la produzione di servizi alle imprese e il settore delle costruzioni. Punti di eccellenza sono presenti nella robotica e nell’automazione industriale. Rilevanti per qualità e quantità sono il settore agricolo e le attività di trasformazione ad esso collegate.

Molto diffusa nel Piacentino è anche la viticoltura che apporta alla provincia di Piacenza vasta notorietà nel campo dell’enologia. Infatti diversi sono i vini prodotti sui colli piacentini, tra i quali vini bianchi come: Malvasia, Ortrugo, Trebbianino Val Trebbia; e vini rossi come: Bonarda, Gutturnio e Barbera, e altri ancora, che hanno ottenuto il riconoscimento di vini DOC.

Appartengono alla provincia di Piacenza i seguenti 48 comuni, visualizzati nella cartina sottostante:

Agazzano	Corte Brugnatella	Pianello Val Tidone
Alseno	Cortemaggiore	Piozzano
Besenzone	Farini	Podenzano
Bettola	Ferriere	Ponte dell'Olio
Bobbio	Fiorenzuola d'Arda	Pontenure
Borgonovo Val Tidone	Gazzola	Rivergaro
Cadeo	Gossolengo	Rottofreno
Calendasco	Gragnano Trebbiense	San Giorgio Piacentino
Caminata	Gropparello	San Pietro in Cerro
Caorso	Lugagnano Val d'Arda	Sarmato
Carpaneto Piacentino	Monticelli d'Ongina	Travo
Castel San Giovanni	Morfasso	Vernasca
Castell'Arquato	Nibbiano	Vigolzone
Castelvetro Piacentino	Ottone	Villanova sull'Arda
Cerignale	Pecorara	Zerba
Coli	Piacenza	Ziano Piacentino

Tabella 4.1 Comuni della Provincia di Piacenza



Figura 4.2 Cartina della Provincia di Piacenza

5. Dati a disposizione

5.1 La Matrice O/D del 2001

Le matrici Origine/Destinazione sono supporti fondamentali per esaminare le interrelazioni spaziali determinate dai movimenti pendolari tra i diversi centri. In esse sono infatti rappresentati tutti i movimenti che avvengono tra le n unità spaziali considerate.

In ALLEGATO 1 viene presentata la matrice Origine/Destinazione da e verso i comuni della provincia di Piacenza, per motivi di lavoro, aggiornata all'anno 2001. I movimenti pendolari in entrata ed in uscita da ciascun comune sono valutati in relazione alla popolazione in condizione professionale in essi residente, proprio perché riguardano gli spostamenti per motivo di lavoro.

Nel caso specifico nelle righe della matrice sono riportati i comuni e le province che originano i flussi pendolari e nelle colonne i comuni e le province di destinazione degli stessi. Ciascun elemento a_{ij} della matrice rappresenta quindi il numero di pendolari che dal centro di origine i si sposta verso il centro di destinazione j .

Per quanto concerne i movimenti extraprovinciali si sono evidenziate le sole province di Milano, Lodi, Cremona, Pavia e Parma in quanto le interrelazioni tra queste ed i comuni della provincia di Piacenza determinano la quasi totalità dei movimenti pendolari interprovinciali. Le rimanenti province italiane con le quali esistono rapporti di pendolarismo sono state raggruppate nella categoria residuale *altre province*.

La matrice Origine/Destinazione é composta da tre parti:

- una sotto-matrice quadrata composta da 48 righe e 48 colonne che descrive gli spostamenti all'interno della provincia di Piacenza;
- una sotto-matrice, posta al di sotto della prima, di dimensioni 6x48 che descrive i movimenti in entrata nei comuni della provincia di Piacenza con provenienza dalle altre province italiane;
- una sotto-matrice, posta a destra della prima, di dimensioni 48x6 che descrive i movimenti in uscita dai comuni della provincia di Piacenza con destinazione le altre province.

La lettura dei dati esposti nella matrice Origine/Destinazione offre molteplici informazioni a seconda che si effettui una lettura nel senso delle righe o delle colonne.

La lettura per riga consente di individuare le destinazioni dei movimenti pendolari in uscita dal comune specificato nella riga, ovvero quantifica il numero di pendolari che escono da quel comune o provincia per recarsi nei singoli comuni o province di destinazione.

Viceversa la lettura per colonna consente di valutare il numero di pendolari che affluiscono al comune identificato dalla colonna da ciascun comune o provincia di origine, ovvero quantifica il numero di pendolari che affluiscono da tutti i comuni e province considerate al singolo comune di colonna.

5.1.1 I Principali Risultati

Al Censimento dell'anno 2001 sono risultati 125.427 i residenti nella provincia di Piacenza che si spostano quotidianamente per ragioni di studio o di lavoro, pari al 47,5% della popolazione residente. La maggior parte dei flussi si esaurisce all'interno del comune di residenza (59%), il 31% si rivolge invece verso altri comuni della provincia ed il 10% verso altre province. In merito alla motivazione, il 71% degli spostamenti quotidiani è determinato dalla necessità di raggiungere il posto di lavoro ed il 29% il luogo di studio.

Osservata l'alta percentuale di pendolarismo per motivi di lavoro, si è deciso di andare a studiare ed analizzare proprio questo tipo di spostamenti quotidiani.

Il sistema piacentino è integrato soprattutto con quello lombardo, mentre l'interscambio con l'Emilia Romagna è sostanzialmente limitato alla provincia di Parma. I flussi principali si sviluppano con le province di Lodi, Milano, Parma, Cremona e Pavia che coprono nell'insieme il 93% di tutti i flussi (in entrata ed in uscita) con le altre province italiane.

I dati di base dell'analisi sono, come sopra affermato, quelli del Censimento Generale della Popolazione e delle Abitazioni. Gli spostamenti rilevati in sede di Censimento 2001 sono i movimenti giornalieri di residenti nelle famiglie (esclusi i temporaneamente dimoranti ed i residenti in convivenza), che partono dall'alloggio di residenza o dimora abituale e vi fanno giornalmente ritorno e che hanno una sede fissa di lavoro (esclusi coloro che non hanno una sede fissa di lavoro o che lavorano presso il proprio alloggio).

5.2 Dati Demografici ed Economici

Per calibrare il modello che verrà successivamente usato per stimare la domanda della zona di interesse, serve conoscere alcuni dati demografici ed economici inerenti a ogni comune della provincia di Piacenza. In questa trattazione vengono considerati:

- Popolazione;
- Superficie;
- Densità Abitativa;
- Occupati Residenti;
- Imprese Presenti;
- Addetti.

5.2.1 Popolazione, Superficie, Densità

Il dato demografico per eccellenza che viene usato negli studi di pianificazione è sicuramente la popolazione, intesa come numero di abitanti residenti in ogni comune. Però, come già anticipato, per questo progetto si ha a disposizione la matrice Origine/Destinazione inerente agli spostamenti per motivi di lavoro. Perciò, a differenza dei normali standard procedurali, il dato demografico connesso alla popolazione non caratterizza in modo significativo la matrice che si possiede. Per cui, questo parametro non verrà preso in considerazione come dato principale, ma verrà utilizzato come dato di appoggio per alcuni calcoli.

Un secondo dato molto utile per caratterizzare il territorio piacentino è la superficie di ogni comune, espressa in km². Questo parametro non è di tipo demografico - economico, ma contraddistingue in modo netto la dimensione spaziale di tutti i comuni appartenenti alla provincia di Piacenza. Da un lato è vantaggioso avere a disposizione questo dato perché evidenzia in modo immediato l'estensione di un comune, dall'altro è poco interessante perché il dato non rappresenta realmente la dimensione spaziale di un comune poiché, soprattutto per il caso della provincia di Piacenza, esistono paesi di campagna molto estesi territorialmente ma con un piccolo centro abitativo.

Dai primi due parametri esaminati deriva istantaneamente un terzo dato, ovvero la densità abitativa. Rappresenta il rapporto tra la popolazione residente e la superficie territoriale di un comune. La sua unità di misura è il numero di abitanti per chilometro quadrato (ab/km²). La densità abitativa offre un valore significativo circa il grado di occupazione del territorio e supera le lacune della superficie territoriale, descrivendo al meglio ogni comune piacentino.

5.2.2 Occupati Residenti

Per “numero di occupati residenti in ogni comune” si intende la percentuale della popolazione totale residente in ogni comune che si trova in condizione professionale, escludendo coloro che non hanno una sede fissa di lavoro o che lavorano presso il proprio alloggio: si suppone che siano persone di età maggiore ai 15 anni.

Questo dato è molto utile durante la fase di Generazione perché, in mancanza di dati più disaggregati, risulta essere l'unico parametro da cui effettivamente dipendono gli spostamenti per motivi di lavoro. Avendo a disposizione dati più dettagliati, si potrebbe determinare l'incidenza delle diverse categorie lavorative sugli spostamenti, come afferma anche Stefano Ricci in *“Tecnica ed Economia dei Trasporti”*.

Tali dati vengono presentati in ALLEGATO 2.

5.2.3 Imprese Presenti

Per quanto riguarda il dato “numero di imprese presenti in ogni comune”, questo è la somma di tutte le attività economiche professionalmente organizzate presenti in ogni comune, comprendendo aziende pubbliche e private, unità locali, società, imprese, istituzioni, ecc...

Non viene fatta nessuna distinzione per settore produttivo (agricoltura, pesca, industria, costruzioni, commercio, terziario), ma vengono tutte inserite senza distinzione nella somma totale, come trasmessi dall'ISTAT.

Questo dato serve per caratterizzare ogni comune da un punto di vista di attrazione lavorativa, perciò verrà usato nella fase di Distribuzione. Tuttavia si osserva che questo parametro qualifica solo in parte il potere attrattivo di un comune perché nella realtà esistono imprese di varie dimensioni in base al loro numero di posti di lavoro offerti. Perciò si ipotizza che il dato caratterizzante l'attrazione lavorativa di un paese sia proprio il “numero di addetti” di ogni comune.

5.2.4 Addetti

Per quanto concerne il “numero di addetti di ogni comune”, si tratta dell'offerta lavorativa totale di ogni comune, ovvero il numero di posti disponibili ad accogliere i lavoratori.

Anche in questo caso non viene fatta nessuna distinzione per settore produttivo, sempre per il grado di aggregazione completa offerta dall'ISTAT.

Questo dato viene usato per caratterizzare la fase di Distribuzione perché rappresenta al meglio il potere attrattivo di ogni comune piacentino.

Tali dati vengono presentati in ALLEGATO 2.

5.2.5 Altro

Si è pensato all'introduzione di altri dati demografici ed economici che potessero delineare ancor più nel dettaglio ogni comune piacentino, ma si è notato che, avendo a disposizione solo la matrice Origine/Destinazione degli spostamenti per motivi di lavoro, già questa di per sé descrive in modo dettagliato ogni realtà comunale perché tratta di persone che si spostano con movimenti giornalieri per motivi di lavoro dall'alloggio di residenza fino al luogo fisso di lavoro e fanno giornalmente ritorno alla propria dimora abituale.

All'interno della matrice Origine/Destinazione non viene fatta nessuna distinzione tra gli spostamenti per motivi di lavoro, perciò risulta superfluo introdurre dati che non possono caratterizzare in nessun modo questo progetto.

Per cui parametri come sesso, nuclei familiari, classi di età, possesso di mezzo di trasporto privato, possesso di patente automobilistica, modalità di trasporto, intervallo temporale di spostamento, ecc... sono dati poco importanti rispetto a questa trattazione perché non sono utili a rappresentare il lavoratore pendolare medio, avendo a disposizione una matrice Origine/Destinazione già caratterizzata da una precisa motivazione di viaggio.

Gli unici dati che potrebbero specificare meglio il modello sono il reddito medio di tutti gli occupati residenti in ogni comune piacentino e il salario medio offerto da ogni impresa presente in ogni comune piacentino. Essendo dati puramente economici e personali, sono di difficile individuazione sia come ricerca online sia come richiesta alle Camere di Commercio. Purtroppo non si è riusciti ad avere a disposizione questi dati, anche se sarebbe stato molto utile.

5.3 Distanza

Oltre ai dati esposti in precedenza, si è deciso di inserire altri elementi che potessero meglio caratterizzare un semplice comune relazionandolo con tutti gli altri della provincia. I dati sono:

- distanza in linea d'aria tra tutti i comuni;
- distanza stradale tra tutti i comuni.

Questi dati verranno usati nella fase di Distribuzione come fattore di impedimento, nella logica che più il comune considerato si trova lontano da un altro comune e meno sarà attratto da esso dal punto di vista degli spostamenti.

5.3.1 Distanza in Linea d'Aria

Per quanto riguarda la “distanza in linea d'aria tra tutti i comuni”, significa lo spazio misurato in metri in linea d'aria, ovvero la distanza tra due località misurata in linea retta, prescindendo dall'effettiva lunghezza della strada da percorrere. Si misura in maniera reciproca tra tutti i comuni appartenenti alla provincia di Piacenza, ovvero ciascun elemento a_{ij} rappresenta l'intervallo in metri che c'è dal comune preso in considerazione i fino al comune di destinazione j .

Tuttavia si è osservato che questo dato non riproduce la realtà perché, soprattutto per comuni territorialmente simili a quelli della provincia di Piacenza, la distanza in linea d'aria è fuorviante poiché due comuni molto vicini tra loro sono in realtà molto distanti perché mal serviti dal sistema dei trasporti. L'immagine sottostante potrà chiarire meglio il ragionamento effettuato:

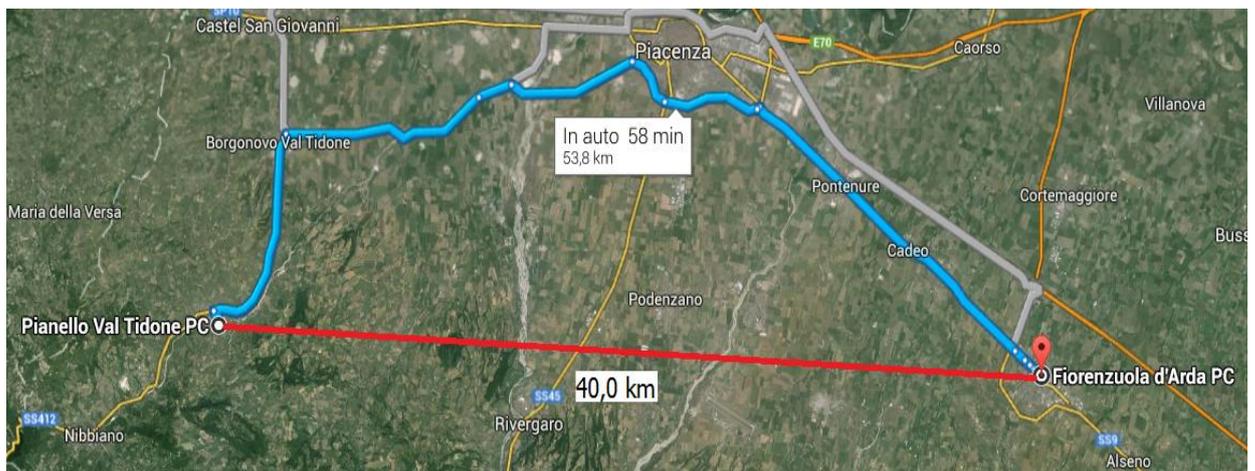


Figura 5.1 Esempio di confronto tra distanze in linea d'aria e distanze stradali

I comuni di Pianello Val Tidone e di Fiorenzuola d'Arda distano in linea d'aria circa 40 km, ma nella realtà, tramite la rete di trasporti esistente, la distanza veritiera è di circa 54 km, valore molto più elevato rispetto a quello in linea d'aria. Proprio per questo motivo, si è deciso di non considerare le distanze in linea d'aria, ma di rifarsi alle distanze stradali reali.

5.3.2 Distanza Stradale

Per quanto concerne la “distanza stradale tra tutti i comuni”, significa lo spazio percorso tra due località seguendo la strada più breve sia come distanza in metri sia come tempo di percorrenza. Si è ipotizzato che ciò potesse avvenire solamente usando l’automobile, il mezzo di trasporto individuale privato per eccellenza, in condizioni di scarso traffico. Per valutare questo parametro si è utilizzato un semplice sito internet impostato come navigatore stradale: per questa trattazione si è usato Google Maps.

Come anticipato nel paragrafo precedente, la distanza stradale rappresenta al meglio il parametro riguardante le distanze reali tra i comuni e verrà preso in considerazione come unico fattore di impedimento.

Tali dati vengono presentati in ALLEGATO 3.

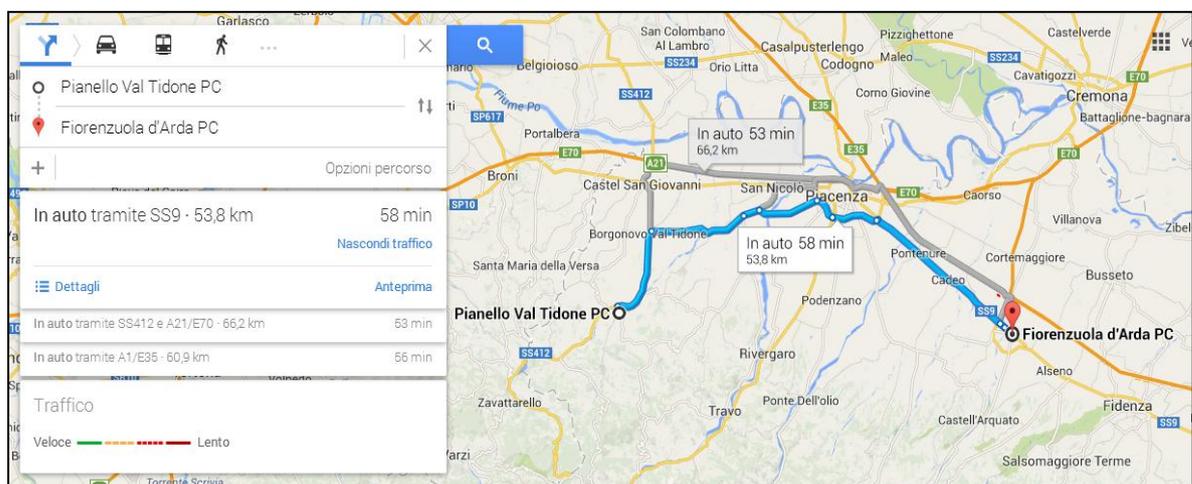


Figura 5.2 Esempio di ricerca delle distanze stradali

6. Modello di Generazione

Come anticipato, per la calibrazione della prima fase del modello a 4 stadi, ovvero la Generazione, si è utilizzato come dato demografico ed economico il numero di occupati residenti in ogni comune.

Di seguito vengono riportate le varie formulazioni che sono state specificate e calibrate per ottenere il risultato che soddisfa maggiormente i valori reali della matrice Origine/Destinazione dei comuni della provincia di Piacenza inerenti all'anno 2001.

6.1 Prima Formulazione

Inizialmente si utilizza il metodo dei Minimi Quadrati con una regressione lineare semplice per tutti i comuni della provincia di Piacenza. Per quanto riguarda i parametri, si avrà un β relativo all'attributo del numero di occupati residenti in ogni comune più una eventuale costante k .

I risultati che si ottengono sono poco soddisfacenti perché la retta calibrata stima un numero di spostamenti negativo per i comuni di piccole dimensioni.

Di seguito si riporta il grafico con la linea di tendenza che assume valori negativi e la tabella con alcuni paesi di cui si stimano spostamenti negativi.

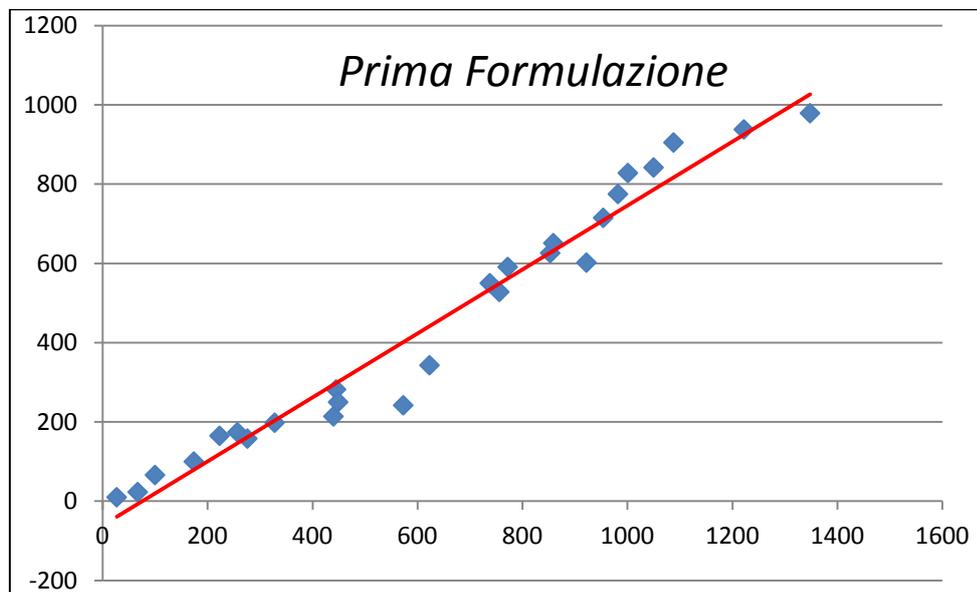


Figura 6.1 Prima Formulazione: retta di regressione per il modello di Generazione

Comuni	Spost. Reali	Spost. Stimati
Zerba	10	-42
Cerignale	23	-8

Tabella 6.1 Prima formulazione: stima negativa dei paesi di ridotte dimensioni

6.2 Seconda Formulazione

Per compensare l'errore della formulazione precedente, si è pensato di usare sempre il metodo dei Minimi Quadrati con una regressione lineare semplice per tutti i comuni della provincia di Piacenza, ma stavolta imponendo il passaggio della retta per l'origine $O(0,0)$. In questo caso si avrà un unico coefficiente β relativo all'attributo del numero di occupati residenti in ogni comune.

Nonostante gli spostamenti ricavati siano tutti positivi e, quindi, abbiano una logica in base al loro valore, i risultati ottenuti sono poco esaurienti perché il capoluogo di provincia, Piacenza, influenza in modo totale la pendenza della retta, quindi monopolizza ogni risultato acquisito, come si può osservare dal grafico sottostante.

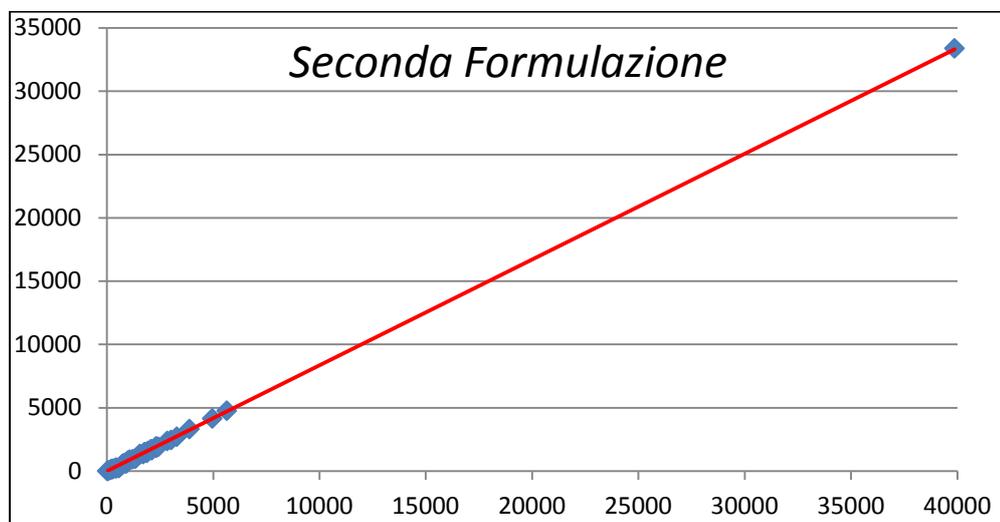


Figura 6.2 Seconda Formulazione: retta di regressione per il modello di Generazione

A tal proposito, togliendo dal grafico il comune di Piacenza e imponendo sempre il passaggio per l'origine $O(0,0)$, si nota che la linea di tendenza non approssima in modo apprezzabile i valori in gioco, come dimostrato dal grafico seguente.

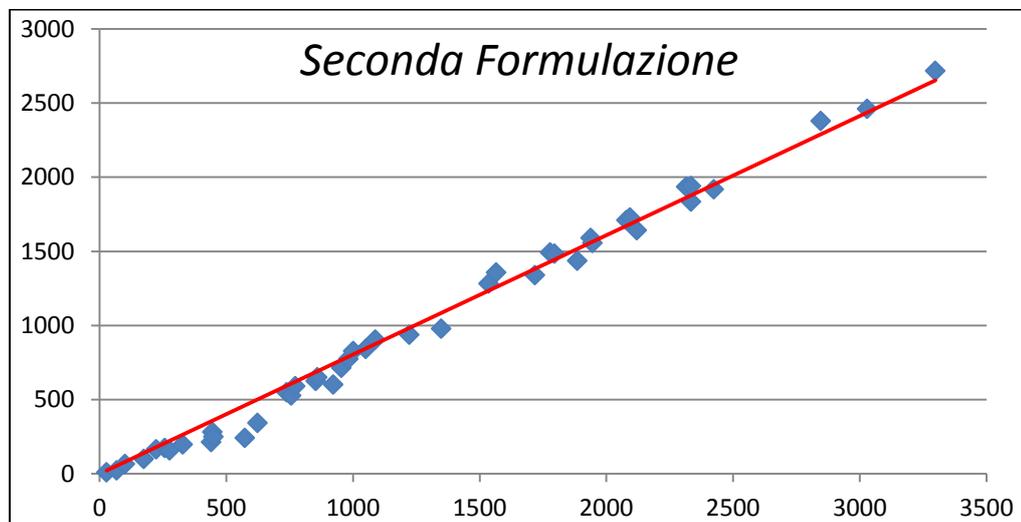


Figura 6.3 Seconda Formulazione: retta di regressione per il modello di Generazione senza Piacenza

6.3 Terza Formulazione

Nel tentativo di migliorare la precisione della stima, si è deciso di dividere in classi i comuni piacentini in base al numero di occupati residenti, così da andare a calibrare comuni simili tra loro, senza dover trovare una sola regressione lineare che vada bene per i comuni più grandi, come ad esempio Piacenza o Fiorenzuola d'Arda, e per i comuni più piccoli, come ad esempio Cerignale o Zerba.

Si utilizza sempre il metodo dei Minimi Quadrati con una regressione lineare semplice per ogni classe considerata. Per quanto riguarda i parametri, si avrà un β relativo all'attributo del numero di occupati residenti in ogni comune e l'eventuale costante k .

Le classi utilizzate sono 3, divise in base al numero di occupati residenti, secondo una logica di aggregazione visualizzata nel grafico sottostante:

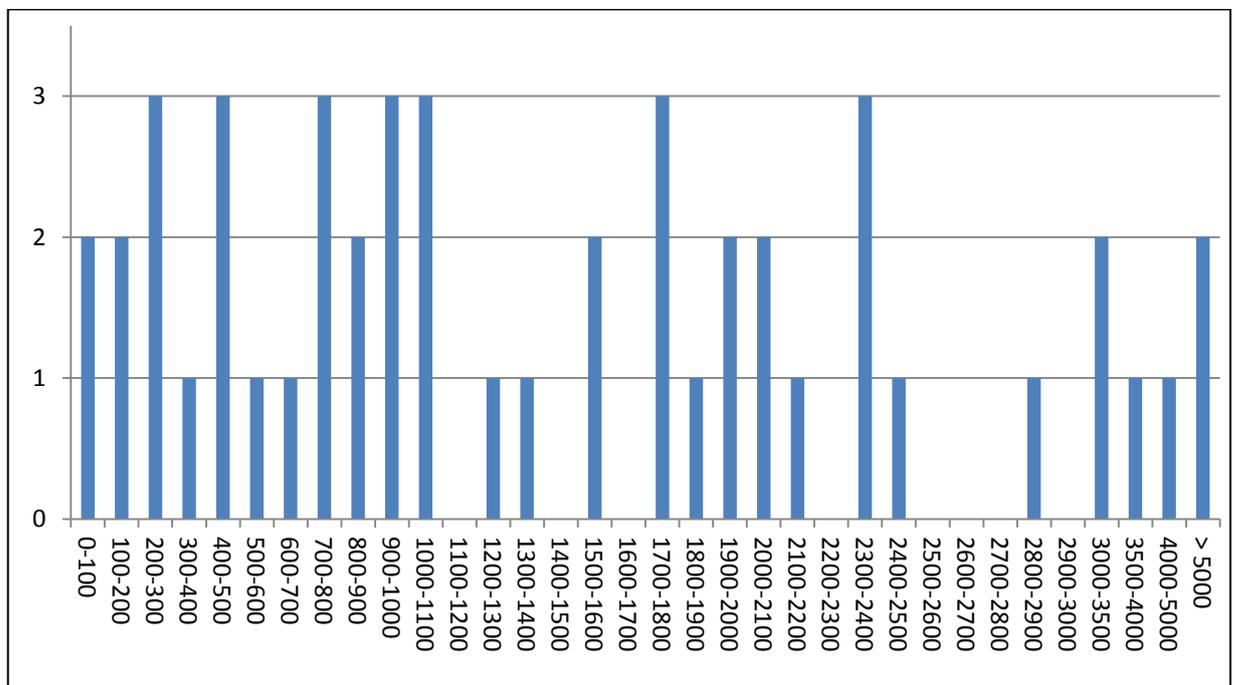


Figura 6.4 Aggregazione delle classi per il numero di occupati: in ascissa le classi in base al numero di occupati, in ordinata il numero di comuni che ricadono nelle diverse classi

Si è deciso di dividere le classi in comuni di piccole, medie, grandi dimensioni, ipotizzando che i comuni aggregati in ogni classe abbiano caratteristiche simili e si comportino approssimativamente allo stesso modo.

Le classi sono le seguenti:

- Classe 1: n° occupati < 400;
- Classe 2: 400 < n° occupati < 2500;
- Classe 3: n° occupati > 2500.

Di ogni classe vengono riportati in tabella i comuni appartenenti con il loro numero di occupati residenti e vengono visualizzati sulla cartina i comuni presi in considerazione.

6.3.1 Classe 1

Classe	Comuni	Occupati
1	Zerba	27
1	Cerignale	67
1	Caminata	100
1	Ottone	174
1	Pecorara	223
1	Corte Brugnatella	257
1	Piozzano	276
1	Coli	328

Tabella 6.2 Comuni della Prima Classe

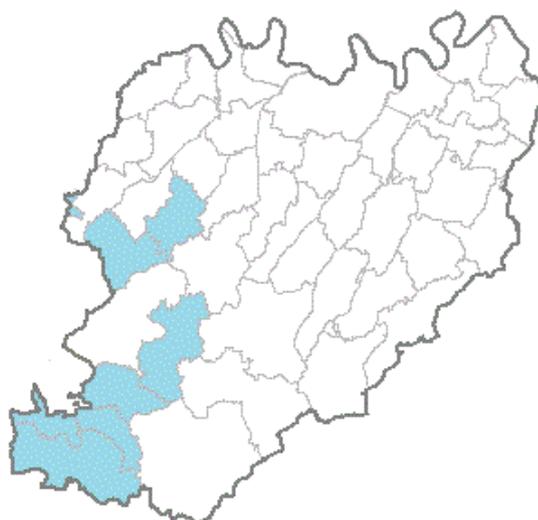


Figura 6.5 Localizzazione dei comuni della Prima Classe

6.3.2 Classe 2

Classe	Comuni	Occupati
2	Morfasso	440
2	San Pietro in Cerro	445
2	Besenzone	449
2	Ferriere	573
2	Farini	623
2	Gazzola	738
2	Travo	756
2	Agazzano	772
2	Villanova sull'Arda	853
2	Gropparello	859

2	Pianello Val Tidone	922
2	Vernasca	954
2	Nibbiano	982
2	Calendasco	1001
2	Ziano Piacentino	1050
2	Sarmato	1088
2	Bettola	1222
2	Bobbio	1348
2	Vigolzone	1535
2	Gragnano Trebbiense	1565
2	Lugagnano Val d'Arda	1718
2	Gossolengo	1778
2	Cortemaggiore	1795
2	Castell'Arquato	1885
2	Ponte dell'Olio	1938
2	Caorso	1945
2	Alseno	2079
2	Castelvetro Piacentino	2093
2	Monticelli d'Ongina	2120
2	Pontenure	2315
2	Rivergaro	2334
2	San Giorgio Piacentino	2334
2	Cadeo	2424

Tabella 6.3 Comuni della Seconda Classe

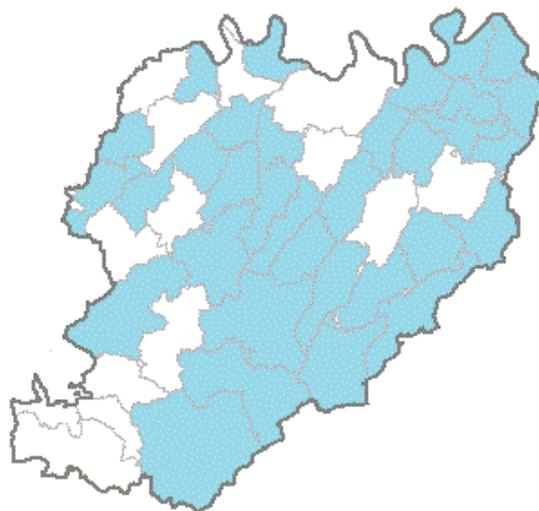


Figura 6.6 Localizzazione dei comuni della Seconda Classe

6.3.3 Classe 3

Classe	Comuni	Occupati
3	Borgonovo Val Tidone	2846
3	Carpaneto Piacentino	3029
3	Podenzano	3298
3	Rottofreno	3892
3	Castel San Giovanni	4966
3	Fiorenzuola d'Arda	5649
3	Piacenza	39873

Tabella 6.4 Comuni della Terza Classe

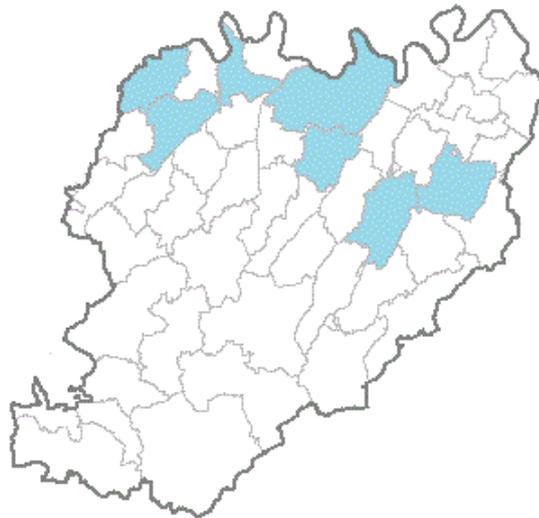


Figura 6.7 Localizzazione dei comuni della Terza Classe

6.3.4 Calibrazione per Classi

Si è deciso di utilizzare per tutte le classi una regressione lineare semplice tramite il metodo dei Minimi Quadrati. Le funzioni impiegate sono tutte strettamente crescenti perché ad un aumento del numero dei lavoratori residenti deve coincidere un aumento del numero degli spostamenti. Per questo non si è mai usufruito di andamenti polinomiali perché sono funzioni non strettamente crescenti.

I risultati ottenuti sono pienamente validi perché riproducono a pieno la realtà. La differenziazione in classi offre risalto ad ogni comune, anche al più piccolo.

I risultati sono i seguenti, esposti classe per classe. Di ogni classe viene riportato il grafico con in rosso la retta di tendenza che meglio approssima l'andamento delle classi con la sua equazione, in ordinata viene rappresentato il numero degli spostamenti di ogni singolo comune

piacentino, mentre in ascissa il valore del dato demografico, cioè numero di occupati, dello stesso comune.

Si inserisce anche il valore di R^2 , ovvero in statistica il coefficiente di determinazione che è una proporzione tra la variabilità dei dati e la correttezza del modello statistico utilizzato. R^2 può variare tra 0 ed 1: quando è 0, il modello utilizzato non spiega per nulla i dati; mentre quando è 1 il modello spiega perfettamente i dati. Nei casi inerenti a questa trattazione, gli R^2 si avvicinano molto al valore 1, quindi il modello di Generazione creato è molto valido.

Si riporta anche la tabella con i valori dei coefficienti di ogni classe.

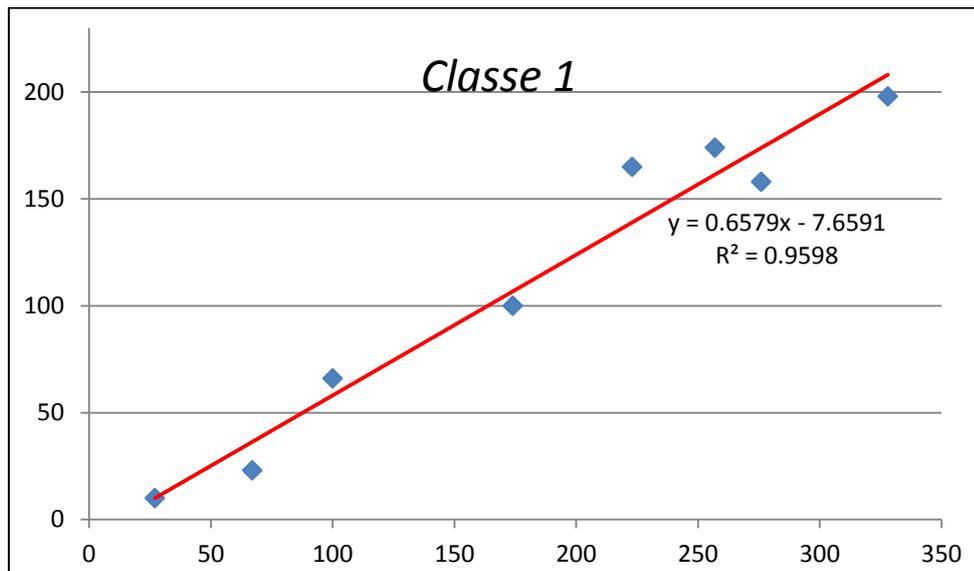


Figura 6.8 Retta di Regressione per la Prima Classe

Classe 1	
β	0.6579
k	-7.6591
R^2	0.9598

Tabella 6.5 Coefficienti stimati per la Prima Classe

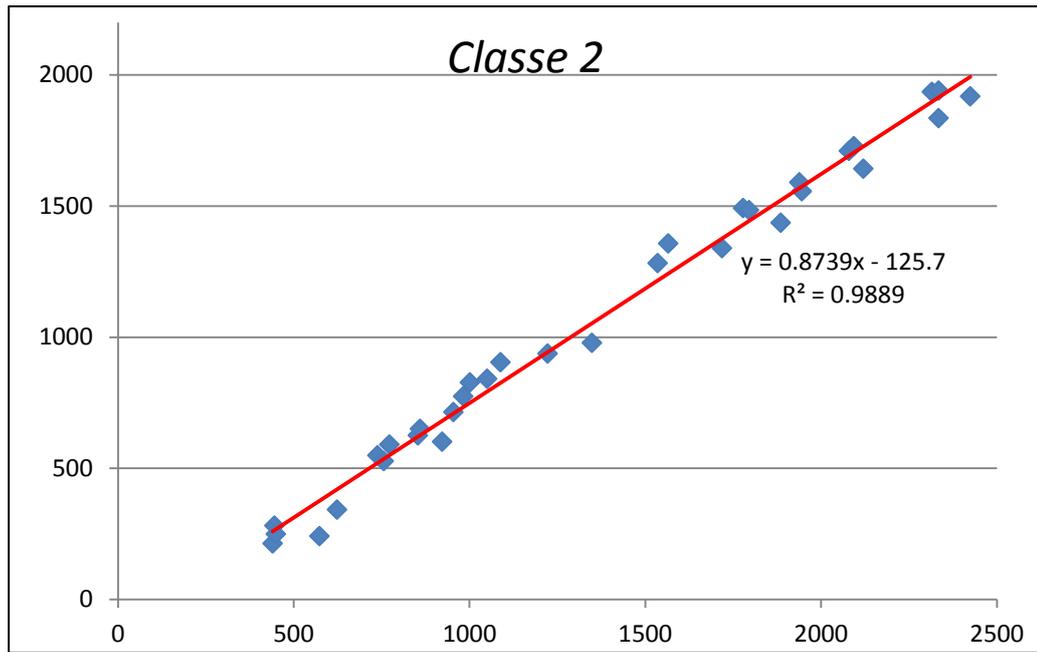


Figura 6.9 Retta di Regressione per la Seconda Classe

Classe 2	
β	0.8739
k	-125.7
R^2	0.9889

Tabella 6.6 Coefficienti stimati per la Seconda Classe

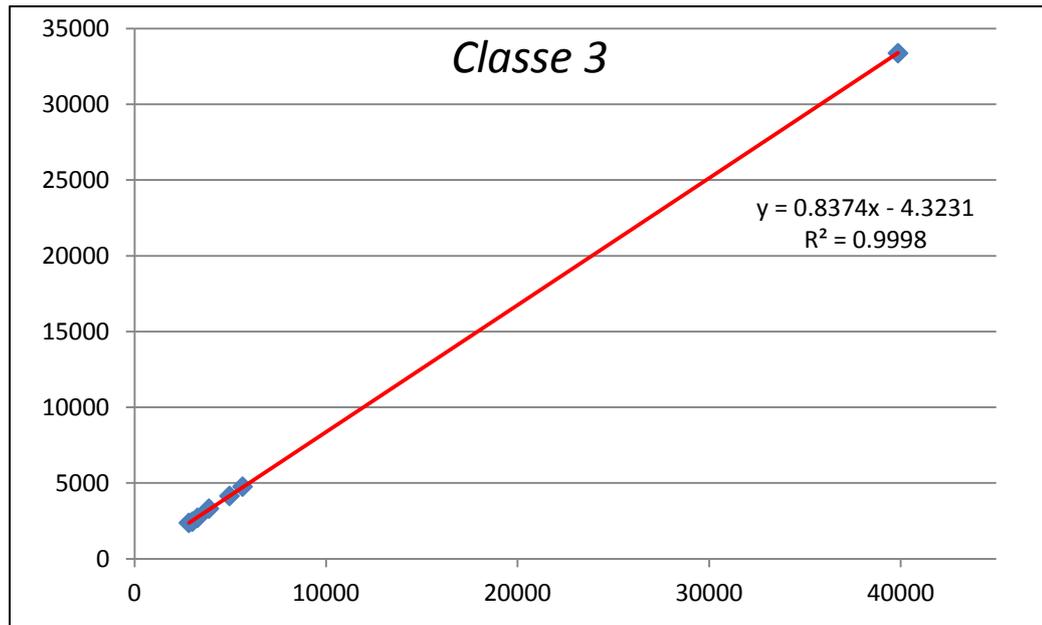


Figura 6.10 Retta di Regressione per la Terza Classe

Classe 3	
β	0.8374
k	-4.3231
R^2	0.9998

Tabella 6.7 Coefficienti stimati per la Terza Classe

6.4 Risultati Calibrazione del Modello di Generazione

Una volta calibrata la prima fase del modello a 4 stadi, ovvero la fase di Generazione, con il metodo e le variabili introdotte nei paragrafi precedenti ed espresse all'anno 2001, si può fare il confronto tra gli spostamenti reali riferiti alla matrice Origine/Destinazione del 2001 e gli spostamenti stimati tramite i coefficienti β e k calibrati.

Il confronto viene esposto nella tabella sottostante comune per comune in ordine alfabetico.

Comuni	Spост. Reali	Spост. Stimati
Agazzano	591	549
Alseno	1711	1691
Besenzone	250	267
Bettola	938	942
Bobbio	979	1052
Borgonovo Val Tidone	2380	2379

Comuni	Spost. Reali	Spost. Stimati
Cadeo	1919	1993
Calendasco	828	749
Caminata	66	58
Caorso	1557	1574
Carpaneto Piacentino	2462	2532
Castel San Giovanni	4157	4154
Castell'Arquato	1437	1522
Castelvetro Piacentino	1729	1703
Cerignale	23	36
Coli	198	208
Corte Brugnatella	174	161
Cortemaggiore	1485	1443
Farini	343	419
Ferriere	242	375
Fiorenzuola d'Arda	4771	4726
Gazzola	550	519
Gossolengo	1493	1428
Gragnano Trebbiense	1358	1242
Gropparello	651	625
Lugagnano Val d'Arda	1340	1376
Monticelli d'Ongina	1643	1727
Morfasso	214	259
Nibbiano	775	732
Ottone	100	107
Pecorara	165	139
Piacenza	33382	33385
Pianello Val Tidone	602	680
Piozzano	158	174
Podenzano	2718	2757
Ponte dell'Olio	1591	1568
Pontenure	1936	1897
Rivergaro	1836	1914
Rottofreno	3321	3255
San Giorgio Piacentino	1941	1914
San Pietro in Cerro	282	263
Sarmato	905	825
Travo	528	535
Vernasca	715	708
Vigolzone	1283	1216
Villanova sull'Arda	626	620
Zerba	10	10
Ziano Piacentino	842	792

Tabella 6.8 Spostamenti stimati dal modello di Generazione

Come si può notare dalla tabella precedente, la calibrazione effettuata è molto valida perché gli errori che si commettono sono molto limitati, restando in un intorno dello spostamento reale di un valore che si aggira nell'intervallo di ± 80 movimenti.

Facendo un focus sul capoluogo di provincia, si scopre che per gli spostamenti di Piacenza la calibrazione utilizzata sovrastima solamente un +3 rispetto ai movimenti reali della matrice Origine/Destinazione del 2001.

6.5 Validazione: Piacenza 1991

Una volta calibrato il modello di Generazione all'anno 2001, si cerca di validarlo all'anno 1991 per controllare quanto sia efficace e realistico.

Il dato demografico ed economico utilizzato è sempre il numero di occupati residenti, stavolta aggiornato all'anno 1991, sempre per la provincia di Piacenza.

Usando i coefficienti β e k calibrati per ogni classe e il modello costruito, si ricavano gli spostamenti stimati al 1991 che possono essere confrontati con i movimenti reali che provengono dalla matrice Origine/Destinazione sempre dell'anno 1991.

Di ogni classe si riportano in tabella gli spostamenti stimati e gli spostamenti reali per ogni comune appartenente alla propria categoria.

Si riporta, anche, un grafico in cui in ordinata viene rappresentato il numero degli spostamenti di ogni singolo comune piacentino, mentre in ascissa il valore del dato demografico, cioè il numero di occupati, dello stesso comune. Nel grafico è presente in rosso la retta di tendenza appartenente alla calibrazione fatta per la provincia di Piacenza all'anno 2001.

Si inserisce, anche, una tabella in cui si ricordano i valori dei coefficienti β e k per ogni classe e si ricalcola il valore del coefficiente di determinazione R^2 , che indica la bontà del modello.

6.5.1 Classe 1

Comuni	Spost. Reali	Spost. Stimati
Caminata	76	63
Cerignale	37	61
Coli	280	242
Corte Brugnatella	202	186
Ottone	169	155
Pecorara	276	228
Piozzano	214	218
Zerba	19	17

Tabella 6.9 Spostamenti stimati della Prima Classe al 1991

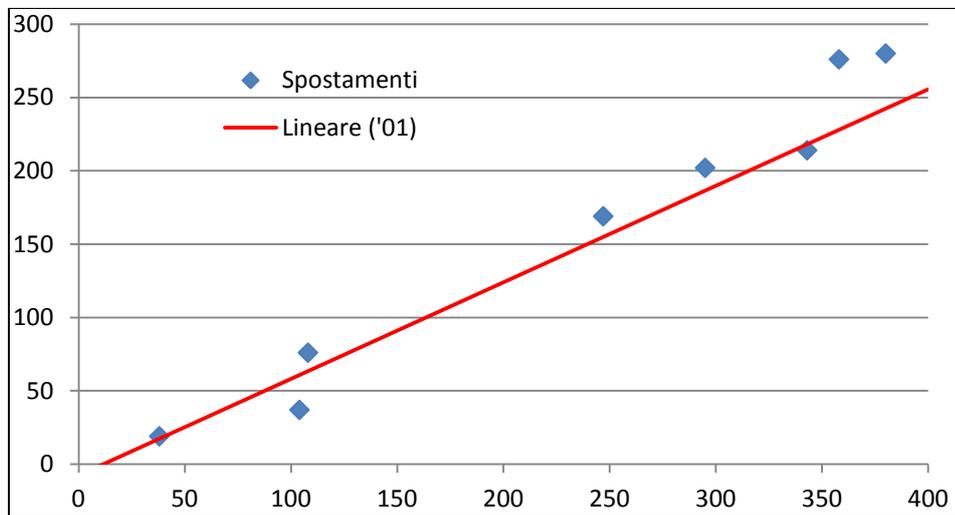


Figura 6.11 Confronto spostamenti reali e retta di calibrazione per Prima Classe al 1991

Classe 1	
β	0.6579
k	-7.6591
R^2	0.7167

Tabella 6.10 Coefficienti per la Prima Classe al 1991

6.5.2 Classe 2

Comuni	Spost. Reali	Spost. Stimati
Agazzano	616	530
Besenzone	243	286
Bettola	758	1030
Bobbio	985	1085
Calendasco	836	689
Farini	461	532
Ferriere	258	593
Gazzola	526	404
Gossolengo	1175	994
Gragnano Trebbiense	1062	994
Gropparello	557	727
Morfasso	357	354
Nibbiano	694	774
Pianello Val Tidone	507	611
San Pietro in Cerro	240	239
Sarmato	817	741
Travo	377	500
Vernasca	683	767
Vigolzone	1011	1110
Villanova sull'Arda	561	619
Ziano Piacentino	819	734
Alseno	1586	1596
Cadeo	1755	1931
Caorso	1534	1465
Castell'Arquato	1280	1444
Castelvetro Piacentino	1768	1635
Cortemaggiore	1610	1600
Lugagnano Val d'Arda	1165	1292
Monticelli d'Ongina	1805	1733
Ponte dell'Olio	1443	1571
Pontenure	1815	1737
Rivergaro	1659	1587
San Giorgio Piacentino	1732	1619

Tabella 6.11 Spostamenti stimati della Seconda Classe al 1991

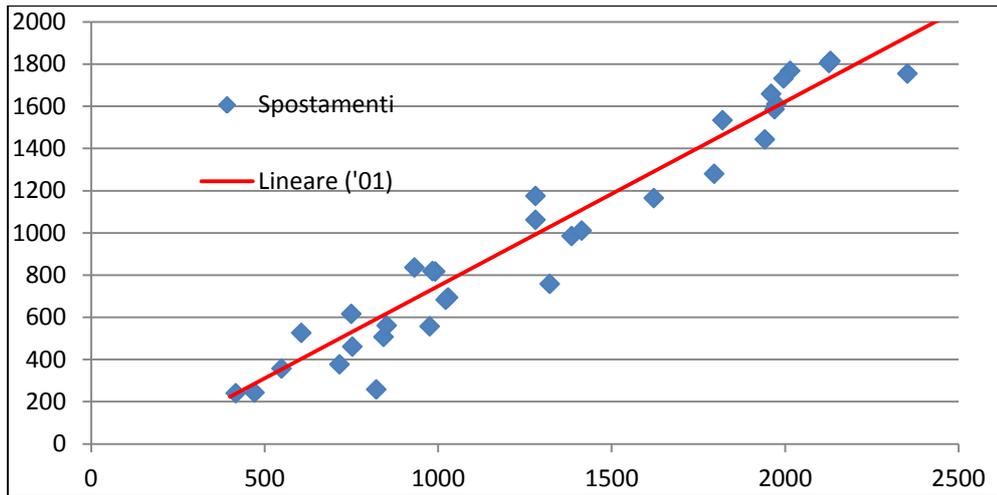


Figura 6.12 Confronto spostamenti reali e retta di calibrazione per Seconda Classe al 1991

Classe 2	
β	0.8739
k	-125.7
R^2	0.9033

Tabella 6.12 Coefficienti per la Seconda Classe al 1991

6.5.3 Classe 3

Comuni	Spost. Reali	Spost. Stimati
Borgonovo Val Tidone	2080	2174
Carpaneto Piacentino	2123	2279
Castel San Giovanni	4121	4004
Fiorenzuola d'Arda	4662	4755
Piacenza	37066	35826
Podenzano	2227	2406
Rottofreno	2861	2827

Tabella 6.13 Spostamenti stimati della Terza Classe al 1991

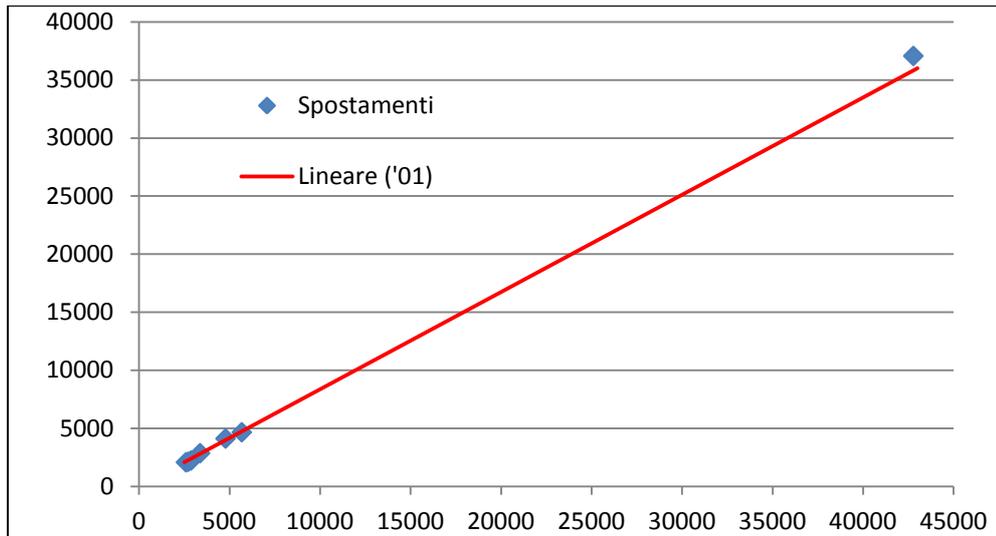


Figura 6.13 Confronto spostamenti reali e retta di calibrazione per Terza Classe al 1991

Classe 3	
β	0.8374
k	-4.3231
R^2	0.9248

Tabella 6.14 Coefficienti per la Terza Classe al 1991

6.5.4 Risultati Validazione

Come si può notare dalle tabelle e dai grafici precedenti, la validazione effettuata dimostra che il modello creato per la parte di Generazione è molto efficace perché gli errori che si commettono sono molto limitati, restando in un intorno dello spostamento reale di un valore che si aggira nell'intervallo di ± 180 movimenti.

Il valore “ ± 180 movimenti” non deve ingannare perché la calibrazione è stata eseguita all'anno 2001, mentre la validazione all'anno 1991: 10 anni di differenza sono un intervallo di tempo molto ampio in cui i comuni di una provincia possono essere cambiati radicalmente, soprattutto dal punto di vista delle classi lavorative. Perciò è normale che gli errori all'anno 1991 siano maggiori rispetto a quelli del 2001, ma tutto ciò rafforza ancora di più la validità del modello creato.

Per quanto riguarda il coefficiente di determinazione R^2 , che indica la bontà del modello di aggiornamento creato, si può vedere che per la classe 2 e per la classe 3 si hanno valori molto alti e prossimi al numero 1, quindi vuol dire che gli spostamenti stimati raggiungono una buonissima precisione. Per la classe 1, invece, si ha un R^2 di 0.7167, nettamente più basso rispetto alle altre due classi, però bisogna considerare che la classe 1 è quella dei comuni di piccole dimensioni che hanno un basso numero di occupati residenti, quindi la semplice differenza di pochi spostamenti produce un R^2 basso, che a rigor di logica non ha molto significato.

7. Modello di Distribuzione

Per quanto riguarda il modello di distribuzione si sceglie di utilizzare la trasformazione logaritmica di un modello di utilità aleatoria, che si riporta alla forma di un modello gravitazionale, come suggerito da Cascetta in “*Metodi quantitativi per la pianificazione dei sistemi di trasporto*” (E.Cascetta, 1990).

La formulazione di questi modelli implica che gli spostamenti generati da una generica origine o e attratti da una generica destinazione d abbiano una proporzionalità diretta con il potere di attrazione A_d della destinazione stessa e una proporzionalità inversa con un fattore di impedimento C_{od} tra o e d , di solito identificato con la distanza che li separa.

L'aliquota parziale del modello a 4 fasi attribuita alla distribuzione si può esplicitare nella seguente forma:

$$p^q[d/osh] = \frac{A_d^{\beta_1} \cdot C_{od}^{\beta_2}}{\sum_{d'} A_{d'}^{\beta_1} \cdot C_{od'}^{\beta_2}}$$

dove s è la motivazione dello spostamento e h la fascia oraria.

I coefficienti β così pensati dovranno avere segno opposto: β_1 positivo e β_2 negativo.

Come già anticipato nella parte di raccolta dati, gli attributi utilizzati per caratterizzare le diverse zone sono due:

- A_d : numeri di addetti del comune;
- C_{od} : distanza \overline{od} .

Quest'ultimo fattore può essere considerato in due modi: sia in linea d'aria (poco rappresentativa della situazione reale), sia su strada, più rappresentativa del reale impedimento che intercorre tra due zone.

Nelle formulazioni più utilizzate si passa direttamente dal modello di generazione a quello di distribuzione, in cui tutti gli spostamenti generati da una zona vengono distribuiti tra la zona considerata e tutte le altre possibili destinazioni. Utilizzando esclusivamente due dati (addetti e distanza su strada) diventa proibitivo considerare tutte queste zone in un unico modello, soprattutto considerando il fatto che si vanno ad analizzare zone molto diverse tra loro: le destinazioni interne sono rilevate a livello comunale, mentre le zone esterne alla provincia di Piacenza raggruppano tutte le destinazioni possibili a livello provinciale.

Cercando il modo migliore per impostare il modello si decide di inserire un passaggio aggiuntivo per separare due diversi tipi di spostamento:

- spostamenti che hanno origine e destinazione all'interno della provincia di Piacenza;
- spostamenti che hanno origine all'interno della provincia di Piacenza, ma destinazione in una provincia esterna.

Il motivo di questa scelta è molto semplice: nella matrice Origine/Destinazione di partenza vengono inserite come destinazioni anche le province esterne. La difficoltà sorge dal fatto che

utilizzando come attributi il numero di addetti e la distanza stradale si andrebbe a confrontare destinazioni troppo differenti tra di loro:

- comuni della provincia di Piacenza: ogni comune ha un suo preciso numero di addetti e una distanza dal comune-origine considerato;
- province esterne: non vengono esplicitati i comuni esterni verso cui sono diretti gli spostamenti, quindi non si possono definire con certezza né il numero di addetti né le distanze da considerare.

Oltretutto, essendo province confinanti, risultano avere una distanza dai comuni interni abbastanza contenuta.

Non sapendo precisamente i comuni esterni verso cui sono diretti gli spostamenti, si dovrebbe, in linea teorica, considerare come potere di attrazione delle province confinanti la somma degli addetti presenti nell'intera provincia e, come fattore d'impedimento, una distanza media. In questo caso, però, il modello leggerebbe le province esterne come città molto grandi e abbastanza vicine ai comuni considerati: questo si traduce in un alto potere di attrazione e in un basso impedimento.

Dalla matrice Origine/Destinazione si può, però, osservare che le percentuali di persone che giornalmente si dirigono all'esterno della provincia sono limitate: un potere di attrazione così alto e un così basso impedimento, invece, andrebbero a stimare quantità molto più grandi.

	Bettola	Bobbio	Borgonovo Val Tidone	Cadeo
Provincia di Piacenza	96.80%	96.73%	91.93%	91.71%
Province Esterne	3.20%	3.27%	8.07%	8.29%

Tabella 7.1 Esempio di percentuali di spostamento interne ed esterne alla provincia di Piacenza

Cascetta in “*Modelli per i Sistemi di Trasporto*” propone di esprimere l'utilità di un insieme di scelte, in un'ottica di logit gerarchico, in funzione anche della numerosità delle opzioni di scelta e dello scostamento di ciascuna di essa da un'utilità media dell'insieme di scelta considerato. La formula utilizzata è estremamente complessa e non rientra nell'ottica di un modello semplice, immediato ed effettivamente utilizzabile: per ovviare a questo problema si faranno delle ipotesi che verranno espone nel dettaglio in seguito.

Un ulteriore problema che si presenta è come tener conto della provincia di Milano: pur non essendo confinante viene esplicitata come destinazione e non viene incorporata nella voce *Altre Province*.

Utilizzare, però, il numero di addetti della Provincia di Milano andrebbe ad annullare le restanti province: basti pensare che solo il numero di addetti della provincia di Milano è più di tre volte la somma degli addetti di tutte le altre province considerate.

	Addetti
Piacenza	192181
Milano	3946888
Cremona	218185
Lodi	116884
Pavia	304358
Parma	341862

Tabella 7.2 Numero di Addetti nelle varie province considerate

Se questo potere di attrazione fosse compensato da un pari fattore di impedimento si potrebbe includere anche la provincia di Milano nell'analisi, ma la distanza risulta abbastanza contenuta (solo 70.8 km su strada), quindi non esiste nessun fattore di impedimento che possa abbattere il potere di attrazione lavorativa di Milano.

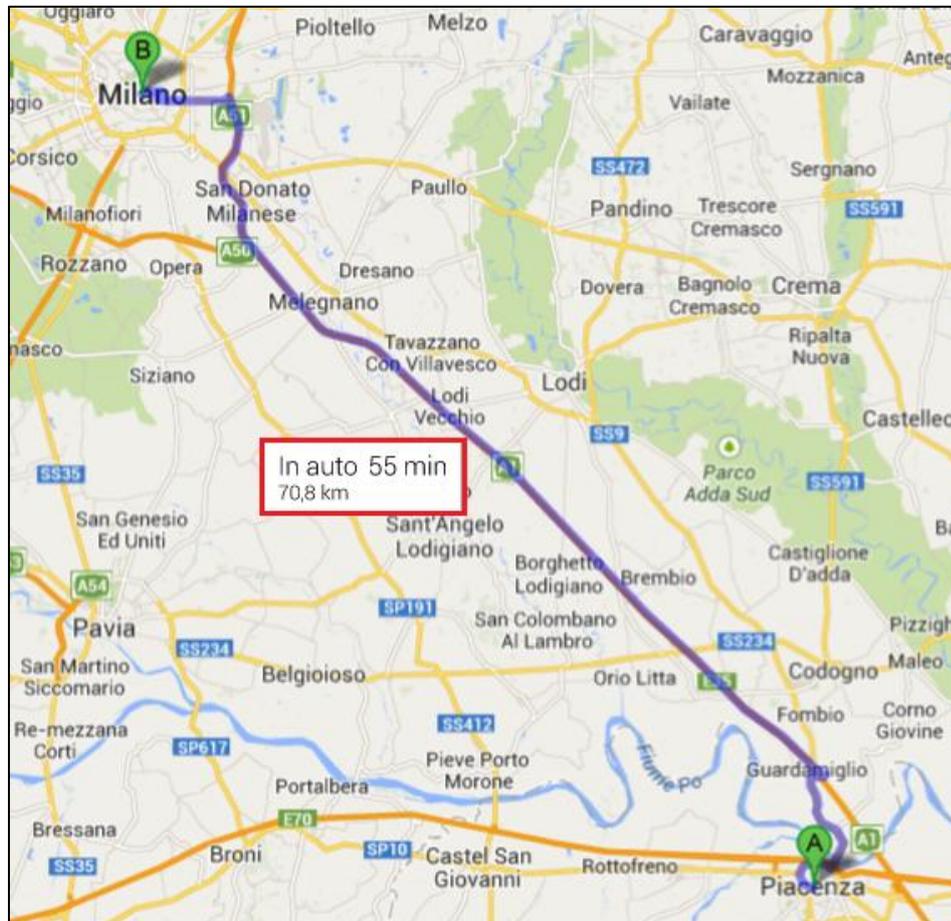


Figura 7.1 Distanza stradale tra Piacenza e Milano

Osservando la matrice Origine/Destinazione del 2001, si nota che le percentuali di spostamenti diretti verso la provincia di Milano sono molto basse, sempre inferiori al 2%. Per cui, senza commettere errori grossolani, ma introducendo solamente una piccola semplificazione, si

decide di eliminare la provincia di Milano dall'analisi. Si riporta qualche esempio di percentuali di spostamenti verso le province esterne, facendo un focus su Milano:

		Origini				
		Agazzano	Alseno	Besenzone	Bettola	Bobbio
Destinazioni	Piacenza	95.60%	82.47%	72.80%	96.80%	96.73%
	Altre Province	0.00%	0.47%	0.00%	0.32%	0.31%
	Cremona	0.17%	0.82%	1.20%	0.32%	0.31%
	Lodi	1.18%	0.18%	0.00%	0.53%	0.61%
	Milano	1.86%	1.11%	0.80%	1.49%	0.92%
	Parma	0.00%	14.96%	25.20%	0.53%	0.00%
	Pavia	1.18%	0.00%	0.00%	0.00%	1.12%

Tabella 7.3 Esempio di percentuali di spostamento nelle varie province considerate

Così facendo si limita l'analisi alla provincia di Piacenza e a quelle confinanti: Parma, Pavia, Lodi, Cremona e una piccola parte di Alessandria e Genova.

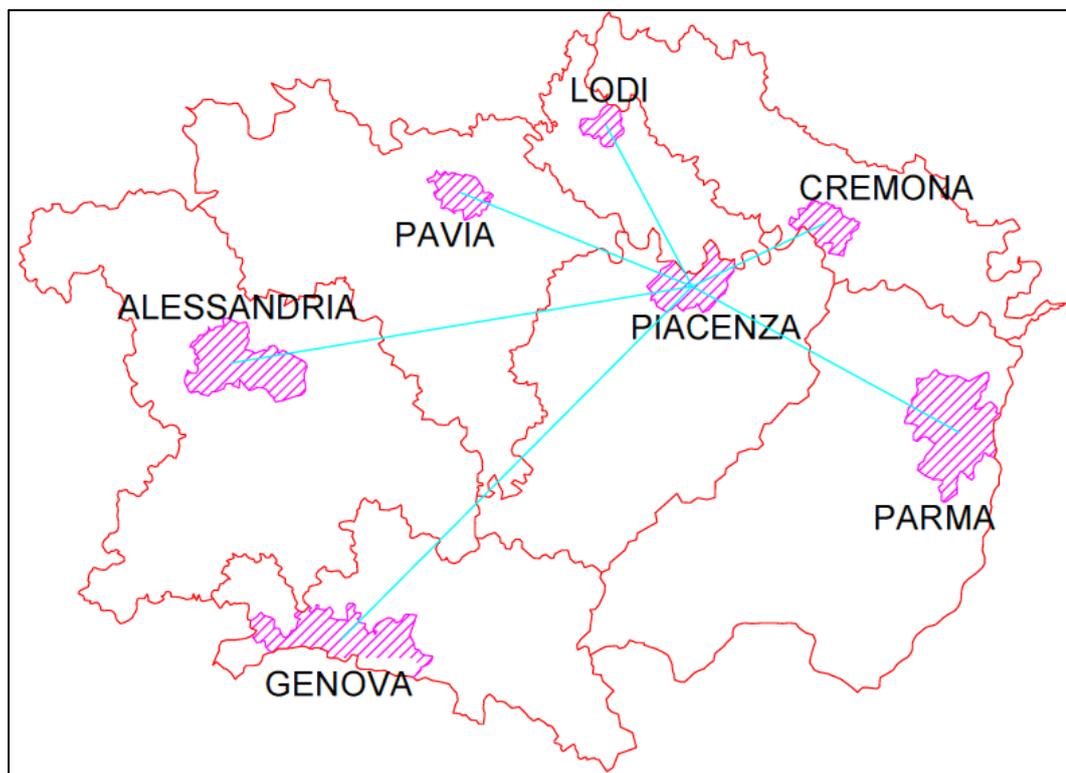


Figura 7.2 Piacenza e le sue province confinanti

Rimane la difficoltà di quantificare gli addetti delle province esterne da considerare nel modello. Ovviamente sarà necessario introdurre delle approssimazioni per ovviare a questo problema: poiché la priorità dell'elaborato rimane quella di stimare gli spostamenti interni alla

provincia di Piacenza, si decide di inserire un passaggio aggiuntivo per evitare di inficiare la calibrazione del modello di distribuzione degli spostamenti con origine e destinazione interni alla provincia.

In pratica il modello descritto in precedenza poteva essere rappresentato in questo modo:

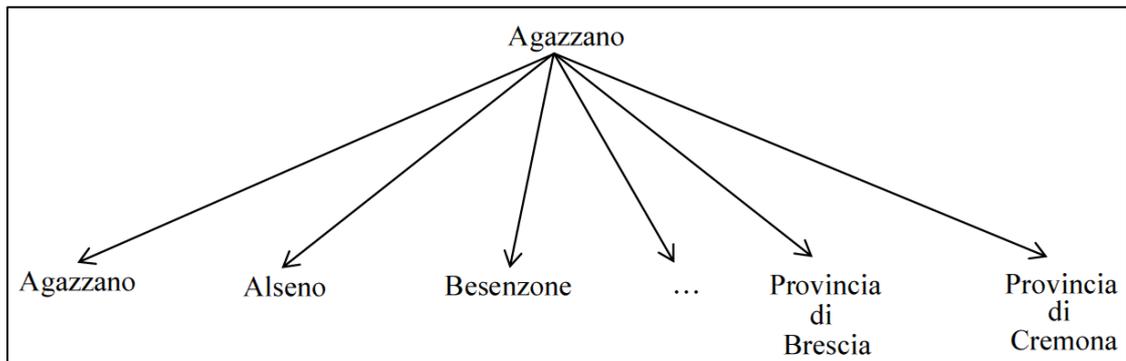


Figura 7.3 Modello di Distribuzione senza nessun passaggio intermedio

Inserendo il passaggio aggiuntivo, lo schema si modifica in questo modo:

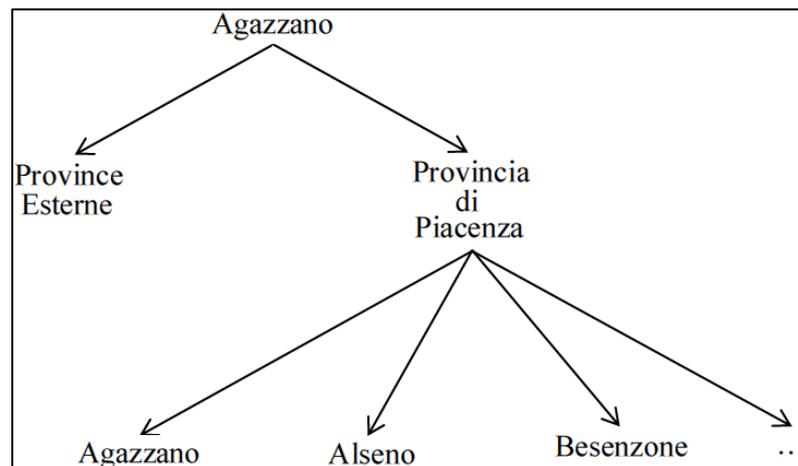


Figura 7.4 Modello di Distribuzione con annesso il Logit Esterno

Per effettuare questa separazione si decide di utilizzare un logit binomiale: tutti gli utenti che si spostano devono, in primo luogo, decidere se rimanere all'interno della provincia di Piacenza o andare in una provincia esterna.

D'ora in avanti ci si riferirà alla provincia di Piacenza con "Interno" e alle province esterne con "Esterno", e il logit che ne deriva verrà denominato "Logit Esterno".

Le utilità associate a ciascuna alternativa si esprimono come combinazione lineare degli stessi fattori citati in precedenza: numero di addetti della zona di destinazione e distanza \overline{od} su strada:

$$V_{Interno} = \beta_{Addetti} \cdot Addetti_{Interno} + \beta_{Distanza} \cdot Distanza_{Interno}$$

$$V_{Esterno} = \beta_{Addetti} \cdot Addetti_{Esterno} + \beta_{Distanza} \cdot Distanza_{Esterno}$$

Nei paragrafi seguenti si spiegherà nel dettaglio quali quantità vengono intese come numero di addetti di ogni comune piacentino e distanze tra tutti i comuni della provincia di Piacenza.

Le singole probabilità di scelta si esprimono con un logit binomiale:

$$p[Interno] = \frac{1}{1 + e^{\frac{V_{Esterno} - V_{Interno}}{\theta}}}$$

$$p[Esterno] = \frac{1}{1 + e^{\frac{V_{Interno} - V_{Esterno}}{\theta}}}$$

Per ogni zona d'origine o gli spostamenti con destinazione d interna alla provincia di Piacenza si troveranno in questo modo:

$$S_{Interno} = S \cdot p[Interno]$$

dove S sono gli spostamenti totali generati dall'origine o , risultato del modello di generazione.

Una volta stimata la parte di spostamenti che rimangono all'interno della provincia è necessario stabilire come si distribuiscono nelle diverse destinazioni.

Anche in questo caso sorge un ulteriore problema: le percentuali di spostamenti intrazonali (spostamenti che hanno $o=d$) sono molto alte. Inserire gli spostamenti intrazonali direttamente nel modello di distribuzione, andrebbe a sovrastimare gli spostamenti di destinazioni vicine e con potere di attrazione limitato e ad abbassare notevolmente la stima degli intrazonali.

A titolo di esempio si riporta il caso del comune di Agazzano, mostrando una parte dei risultati di uno dei tentativi realizzati cercando di considerare gli spostamenti intrazonali direttamente nella fase di distribuzione, a dimostrazione delle precedenti affermazioni:

Comuni	Addetti	Distanza	Stima	Reale
Agazzano	1170	1200	17.45%	41.59%
Gazzola	658	3200	12.91%	6.19%
Gragnano Trebbiense	2019	10400	4.95%	6.37%
Piacenza	90350	22800	26.54%	22.83%
Piozzano	165	4200	11.01%	1.95%
Rottofreno	6229	17300	2.21%	6.02%

Tabella 7.4 Esempio di Agazzano con le sue principali destinazioni, compresi gli intrazonali

Oltretutto, per una futura fase di assegnazione, è importante stabilire gli spostamenti diretti all'esterno del comune d'origine, poiché gli spostamenti intrazonali non sono rappresentabili su un ipotetico grafo dell'offerta.

Si preferisce quindi escludere dalla fase di distribuzione i fattori che possano influenzarne negativamente il risultato: per questo motivo si decide di inserire un ulteriore passo aggiuntivo per separare gli spostamenti intrazonali da quelli aventi come destinazione un comune diverso da quello d'origine. Il modello che ne deriva può essere così rappresentato:

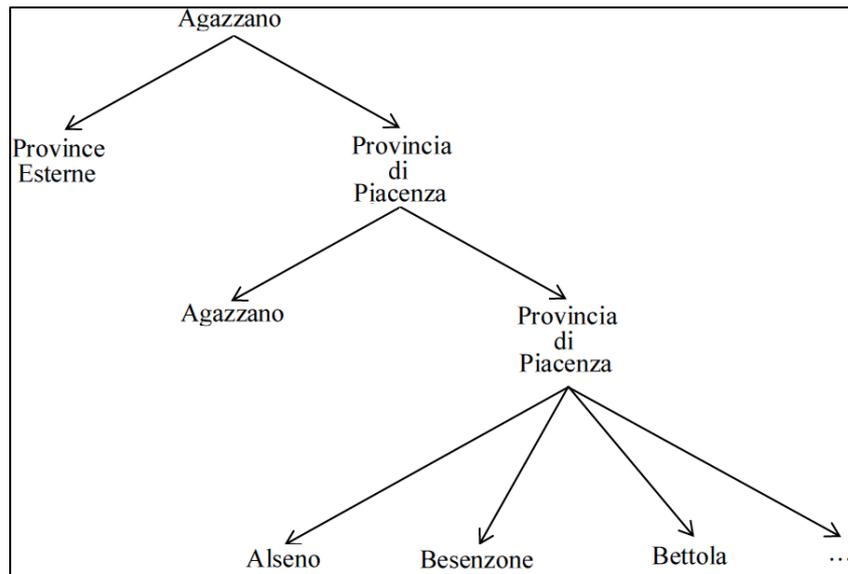


Figura 7.5 Modello di Distribuzione con annesso Logit Esterno e Logit Interno

Anche in questo caso si utilizza un logit binomiale, che verrà denominato “Logit Interno”: la forma rimane esattamente quella citata per il logit esterno e gli attributi utilizzati rimangono addetti e distanze su strada. Le due aliquote avranno la seguente forma:

$$p[\text{Intrazonale}] = \frac{1}{1 + e^{\frac{V_{\text{Altri Comuni}} - V_{\text{Intrazonale}}}{\theta}}}$$

$$p[\text{Altri Comuni}] = \frac{1}{1 + e^{\frac{V_{\text{Intrazonali}} - V_{\text{Altri Comuni}}}{\theta}}}$$

E le due quantità di spostamenti saranno così stabilite:

$$S_{\text{Intrazonali}} = S_{\text{Interno}} \cdot p[\text{Intrazonali}]$$

$$S_{\text{Altri Comuni}} = S_{\text{Interno}} \cdot p[\text{Altri Comuni}]$$

Da qui è possibile procedere con il modello di distribuzione: gli spostamenti originati dalla generica origine o e destinati ad una destinazione d saranno così definiti:

$$S_{\overline{od}} = S_{Altri Comuni} \cdot p^q[d/osh] = S_{Altri Comuni} \cdot \frac{A_d^{\beta_1} \cdot C_{od}^{\beta_2}}{\sum_{d'} A_{d'}^{\beta_1} \cdot C_{od'}^{\beta_2}}$$

Per la calibrazione si è utilizzata la Massima Verosimiglianza, come descritto in precedenza.

L'inserimento dei due passaggi intermedi è stato necessario per ovviare alla mancanza di dati più dettagliati che permettessero di caratterizzare meglio ogni zona, sia dal punto di vista dell'attrattività che da quello dell'impedimento, per poterle inserire tutte all'interno del modello gravitazionale: si pone quindi particolare attenzione alla parte conclusiva di distribuzione, verificando al contempo l'applicabilità dei due logit "sperimentali", provando a trovarne la formulazione migliore.

7.1 Logit Esterno

“Il pendolarismo è un fenomeno che si manifesta in prevalenza a livello locale, con spostamenti concentrati in gran parte su percorsi di limitata estensione territoriale. [...] Circa nell'80% dei casi la distanza percorsa è inferiore ai 50 km giornalieri.” (da “I pendolari italiani “lavorano” un mese e mezzo in più all'anno”, CENSIS).

Gli attributi utilizzati in questa fase vengono scelti partendo da questa affermazione: non conoscendo le reali destinazioni esterne alla provincia di Piacenza, si decide di non considerare interamente le province confinanti, ma per ogni comune della provincia si vanno a considerare solo i comuni delle province esterne che distano al massimo 25 km su strada.

Come destinazioni interne, invece, si considerano i comuni che, in base alla matrice Origine/Destinazione del 2001, risultano essere le destinazioni principali: in particolare si considerano le province che attirano più del 2% degli spostamenti generati complessivamente dall'origine o considerata.

In questo caso non si considerano tutti comuni appartenenti alla provincia di Piacenza, ma, come detto, esclusivamente le destinazioni principali. Questa scelta deriva sempre da quanto scritto da Cascetta: *l'utilità attribuita ad un insieme di scelte* (in questo caso la provincia di Piacenza risulta l'insieme di scelta e i comuni sono le opzioni appartenenti all'insieme stesso) *può essere percepita come l'utilità attribuita ad un'opzione elementare appartenente all'insieme stesso.*

Nel caso degli utenti residenti in un comune, l'utilità percepita della scelta *“rimanere nella provincia di Piacenza”* non risulta quella derivante da tutti i comuni della provincia stessa, ma esclusivamente dalle destinazioni elementari che risultano effettivamente attrattive per la zona

considerata: si sfrutta quindi la matrice a disposizione per individuare le destinazioni principali per ogni zona d'origine.

Si decide quindi di introdurre la seguente ipotesi: per gli utenti di ogni zona l'utilità attribuita alla scelta di rimanere a lavorare nella provincia di residenza si identifica con l'utilità attribuita ad una zona fittizia avente come fattore di attrattività la somma degli addetti delle destinazioni principali della zona considerata e come fattore di impedimento la media delle rispettive distanze su strada.

Si riporta un'immagine in cui viene preso in esame il caso del comune di Alseno con le sue destinazioni principali interne (spostamenti maggiori del 2%) e le sue destinazioni esterne che distano meno di 25 km su strada. Alcuni esempi dei comuni considerati per ogni zona d'origine sono riportati nell'ALLEGATO 8.



Figura 7.6 Esempio di Alseno con i suoi comuni interni ed esterni considerati

Anche per la scelta "lavorare fuori dalla regione di residenza" gli attributi considerati nella determinazione dell'utilità percepita saranno la somma degli addetti delle destinazioni esterne considerate e la distanza sarà una media delle rispettive distanze dall'origine.

Per ogni formulazione si riporta una parte dei risultati, disponibili interamente in ALLEGATO 4.

7.1.1 Prima Formulazione

Come primo tentativo si sceglie di calibrare il modello inserendo nella massima verosimiglianza i dati relativi a tutti i comuni della provincia di Piacenza. I coefficienti che derivano dalla calibrazione sono:

β_{Addetti}	1.844E-05
β_{Distanza}	-5.962E-05

Tabella 7.5 Coefficienti della Prima Formulazione del Logit Esterno

Si riporta una parte dei risultati:

BOBBIO	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reale
	Interno	103961	23040	m	84.64%	96.73%
	Esterno	798	19750	m	15.36%	3.27%

FIORENZUOLA D'ARDA	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reale
	Interno	124839	12156	m	92.55%	89.98%
	Esterno	7389	18080	m	7.45%	10.02%

MORFASSO	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reale
	Interno	117949	30425	m	80.89%	94.86%
	Esterno	1143	18500	m	19.11%	5.14%

OTTONE	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reale
	Interno	92379	33217	m	64.23%	89.00%
	Esterno	709	14680	m	35.77%	11.00%

PECORARA	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reale
	Interno	95431	18050	m	85.20%	90.30%
	Esterno	3370	18927	m	14.80%	9.70%

PIACENZA	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reale
	Interno	153133	15240	m	90.14%	88.89%
	Esterno	39325	17150	m	9.86%	11.11%

PONTENURE	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reale
	Interno	119819	8940	m	93.21%	94.06%
	Esterno	18954	21678	m	6.79%	5.94%

VIGOLZONE	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reale
	Interno	109090	8217	m	95.13%	96.49%
	Esterno	2141	25000	m	4.87%	3.51%

Tabella 7.6 Esempi di Risultati Prima Formulazione Logit Esterno

Come si può vedere dai risultati, si raggiunge una buona approssimazione dei valori reali.

I valori che si allontanano di più da quelli reali di solito appartengono ai paesi più piccoli. Questo per un semplice motivo: la massima verosimiglianza è un metodo che tiene conto del numero reale degli spostamenti e non della percentuali che essi rappresentano all'interno dei generati di ogni zona; eseguendo la calibrazione con paesi aventi dimensioni molto differenti tra di loro, la massima verosimiglianza porta automaticamente a stimare meglio gli spostamenti dei comuni più grandi rispetto a quelli più piccoli.

Nel caso dei paesi di ridotte dimensioni, l'errore di stima rimane comunque marginale in quanto, essendo numeri piccoli di spostamenti, gli errori prodotti in termini di spostamenti sono minimi. A titolo di esempio si riporta il caso del comune di Zerba, in cui si commette un errore del 23% che, però, equivale solo ad un'imprecisione di 2 spostamenti:

ZERBA	Comuni	Addetti	Distanze	Percentuale			Spostamenti		
				Stima	Reale	Errore	Stima	Reale	Errore
	Interno	315	5925 m	67.00%	90.00%	-23.00%	7	9	-2
	Esterno	707	17925 m	33.00%	10.00%	23.00%	3	1	2

Tabella 7.7 Il caso di Zerba nel Logit Esterno

Si fa notare che per alcuni comuni, come ad esempio Travo o Piozzano, si stima il 100% di spostamenti interni, poiché non c'è nessun comune esterno che dista meno di 25 km su strada.

Visti i risultati e fatte queste ultime considerazioni, si può dire di aver già raggiunto una buona precisione.

7.1.2 Seconda Formulazione

Per cercare di aumentare la precisione del logit esterno, date le osservazioni fatte in precedenza sui paesi di dimensioni differenti, si decide di suddividere i paesi in 4 classi differenti in funzione del numero di occupati residenti.

Si stabilisce di mantenere le classi del modello di generazione, ma la seconda classe viene ulteriormente suddivisa in due classi. La nuova suddivisione risulta:

Classe 1	n° occupati < 400
Classe 2	400 < n° occupati < 1500
Classe 3	1500 < n° occupati < 2500
Classe 4	2500 < n° occupati

Tabella 7.8 Classi del modello di Distribuzione

Utilizzando sempre la massima verosimiglianza si trovano i seguenti valori dei coefficienti:

	β_{Addetti}	β_{Distanza}
Classe 1	2.448E-05	-1.408E-05
Classe 2	2.522E-05	-1.321E-06
Classe 3	1.935E-05	-6.181E-05
Classe 4	1.662E-05	-8.705E-05

Tabella 7.9 Coefficienti della Seconda Formulazione del Logit Esterno

Si riporta una parte dei risultati:

- Classe 1:

OTTONE	Comuni	Addetti	Distanze	Stima	Reale	
	Interno	92379	33217	m	87.90%	89.00%
	Esterno	709	14680	m	12.10%	11.00%

PECORARA	Comuni	Addetti	Distanze	Stima	Reale	
	Interno	95431	18050	m	90.60%	90.30%
	Esterno	3370	18927	m	9.40%	9.70%

Tabella 7.10 Esempi di Risultati Prima Classe Seconda Formulazione Logit Esterno

Come si può vedere, con questa suddivisione aumenta anche il grado di precisione di stima per i paesi piccoli. L'unica stima che discosta molto dai valori reali è quella del comune di Zerba, ma, come già osservato nella prima formulazione, in termini di numero di spostamenti rimane comunque un errore contenuto.

- Classe 2:

BOBBIO	Comuni	Addetti	Distanze	Stima	Reale	
	Interno	103961	23040	m	93.13%	96.73%
	Esterno	798	19750	m	6.87%	3.27%

MORFASSO	Comuni	Addetti	Distanze	Stima	Reale	
	Interno	117949	30425	m	95.08%	94.86%
	Esterno	1143	18500	m	4.92%	5.14%

Tabella 7.11 Esempi di Risultati Seconda Classe Seconda Formulazione Logit Esterno

- Classe 3:

PONTENURE	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reale
	Interno	119819	8940	m	93.93%	94.06%
	Esterno	18954	21678	m	6.07%	5.94%

VIGOLZONE	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reale
	Interno	109090	8217	m	95.72%	96.49%
	Esterno	2141	25000	m	4.28%	3.51%

Tabella 7.12 Esempi di Risultati Terza Classe Seconda Formulazione Logit Esterno

- Classe 4:

FIORENZUOLA D'ARDA	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reale
	Interno	124839	12156	m	92.18%	89.98%
	Esterno	7389	18080	m	7.82%	10.02%

PIACENZA	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reale
	Interno	153133	15240	m	88.67%	88.89%
	Esterno	39325	17150	m	11.33%	11.11%

Tabella 7.13 Esempi di Risultati Quarta Classe Seconda Formulazione Logit Esterno

7.1.3 Terza Formulazione

Come terzo ed ultimo tentativo si cerca di andare molto più nel dettaglio: si cercano due coefficienti per ogni comune della provincia di Piacenza.

Ci si aspetta che una formulazione del genere produca una stima perfetta: bisogna però osservare che un modello del genere ha dei limiti che verranno esposti dopo i risultati.

Si riporta una parte dei coefficienti stimati utilizzando sempre la massima verosimiglianza (tutti i coefficienti sono disponibili nell'ALLEGATO 4):

	β_{Addetti}	β_{Distanza}
Bobbio	3.609E-05	-1.020E-04
Fiorenzuola d'Arda	1.386E-05	-9.566E-05
Morfasso	3.584E-05	-1.065E-04
Ottone	4.527E-05	-1.111E-04
Pecorara	2.329E-05	-9.927E-05
Piacenza	1.661E-05	-9.860E-05

Pontenure	2.156E-05	-9.010E-05
Vigolzone	1.733E-05	-8.703E-05

Tabella 7.14 Esempi di Coefficienti della Terza Formulazione del Logit Esterno

In alcuni comuni entrambi i coefficienti sono nulli: questo accade per l'ipotesi iniziale per cui si prendono come comuni esterni solo quelli distanti al massimo 25 km su strada. Non avendo comuni esterni nel raggio considerato, per questi paesi si preferisce annullare i coefficienti e non impostare il logit, affermando solo di stimare che il 100% degli spostamenti rimane all'interno della provincia di Piacenza.

Si fa questa scelta perché il logit ha una formulazione di tipo esponenziale, quindi se si annulla l'esponente non si annulla la percentuale stimata. Questo ragionamento è stato fatto anche nelle formulazioni precedenti: in questo caso però è importante sottolinearlo in quanto ogni comune viene considerato a sé.

Si riporta una parte dei risultati:

		Stimati	Reali
BOBBIO	Interno	96.73%	96.73%
	Esterno	3.27%	3.27%
FIORENZUOLA D'ARDA	Interno	89.98%	89.98%
	Esterno	10.02%	10.02%
MORFASSO	Interno	94.86%	94.86%
	Esterno	5.14%	5.14%
OTTONE	Interno	89.00%	89.00%
	Esterno	11.00%	11.00%
PECORARA	Interno	90.30%	90.30%
	Esterno	9.70%	9.70%
PIACENZA	Interno	88.89%	88.89%
	Esterno	11.11%	11.11%
PONTENURE	Interno	96.52%	94.06%
	Esterno	3.48%	5.94%
VIGOLZONE	Interno	96.49%	96.49%
	Esterno	3.51%	3.51%

Tabella 7.15 Esempi di Risultati Terza Formulazione Logit Esterno

Come si può facilmente notare, gli unici errori che vengono prodotti sono frutto delle ipotesi iniziali sul raggio di 25 km su strada per i comuni esterni. Le restanti stime risultano sempre perfette perché si aumenta drasticamente il numero dei coefficienti.

Un procedimento del genere, a fronte di un grande vantaggio, porta con sé diverse limitazioni:

- difficoltà d'utilizzo: i modelli precedenti producevano dei valori precisi per gruppi di paesi, se non addirittura per il primo metodo, un valore unico per tutti i comuni piacentini. In questo caso i coefficienti prodotti sono due per ogni comune: questo comporta che potrebbe essere utilizzato facilmente dal singolo comune, ma non certo per uno studio sulla mobilità dell'intera provincia;
- i coefficienti stimati si applicano esclusivamente al corrispondente comune: i modelli stimati in precedenza, ovviamente dopo un'adeguata validazione, potrebbero facilmente essere applicati ad altre province, mentre quest'ultimo caso sarebbe applicabile solo alla provincia di Piacenza;
- i coefficienti stimati con la massima verosimiglianza sono gli stessi che si stimerebbero con i minimi quadrati: questo succede perché si utilizzano 3 equazioni e 2 incognite, cioè un sistema praticamente definito. Si può affermare che questo approccio non può essere considerato effettivamente di tipo comportamentale, come quelli precedenti, ma risulta essere esclusivamente analitico.

Date le ultime considerazioni si può dire che la finalità di questa formulazione diventa esclusivamente quella di verificare se ad ogni paese sia possibile associare due semplici valori che permettano di descrivere le scelte di spostamento nel corso degli anni.

7.1.4 Riepilogo

Si considerano i principali vantaggi e svantaggi dei singoli metodi:

- Formulazione 1:
 - Vantaggi:
 - modello applicabile con immediatezza e applicabile su territori diversi da quello di calibrazione.
 - Svantaggi:
 - minore precisione di stima.
- Formulazione 2:
 - Vantaggi:
 - stime migliori del metodo precedente;
 - modello facilmente applicabile una volta stabilite le classi di appartenenza dei singoli paesi;
 - applicabile su altri territori, stabilite le classi di appartenenza è facile applicare gli stessi coefficienti stimati.
 - Svantaggi:

- applicabile solo su territori simili: le classi sono state suddivise guardando il numero di addetti di ogni zona e cercando di raggruppare territori simili. Se questo modello venisse applicato su territori formati da comuni di dimensioni molto differenti da quelli presenti nella provincia di Piacenza, si dovrebbe operare una suddivisione più idonea delle classi e procedere con una nuova calibrazione.
- Formulazione 3:
 - Vantaggi:
 - alta precisione della stima.
 - Svantaggi:
 - modello non utilizzabile su territori diversi da quello della provincia di Piacenza;
 - stima puramente analitica e non “comportamentale” come nei casi precedenti;
 - modello difficile da utilizzare per fare un’analisi della mobilità della provincia a causa della numerosità dei coefficienti.

Fatte queste considerazioni, si può affermare che il secondo metodo risulta essere il miglior compromesso tra precisione di stima, numerosità dei coefficienti e facilità d’utilizzo del modello.

Nell’elaborato si applicheranno comunque tutti i metodi esposti per cercare di verificarne la capacità di stima.

7.2 Logit Interno

Ora si passa al secondo logit, denominato Logit Interno, che crea un’ulteriore divisione tra gli utenti che rimangono all’interno del comune di appartenenza e quelli che escono dal comune rimanendo, però, all’interno della provincia di Piacenza.

Si sceglie di considerare all’esterno del comune esaminato i comuni della provincia di Piacenza che, come nel logit precedente, risultano essere le principali destinazioni (spostamenti maggiori del 2%) per gli occupati della zona di volta in volta considerata, per gli stessi motivi esposti nel logit precedente.

I parametri presi in considerazione saranno sempre il numero di addetti di ogni comune e la distanza stradale tra tutti i comuni.

Non è possibile lasciare nulla la distanza interna ai singoli comuni perché non sarebbe una rappresentazione realistica: si inseriscono delle distanze interne che possano rappresentare al

meglio le singole zone. La scelta di questa grandezza risulta arbitraria, ma variazioni dell'ordine di qualche centinaio di metri non producono significative variazioni nella stima, quindi anche l'inserimento di altre distanze interne da parte di un ipotetico utilizzatore del modello non comportere un grosso problema.

Le formulazioni sono identiche al logit esterno, cambieranno solo i valori degli attributi. Si riporta solo una parte dei risultati: i risultati completi sono disponibili nell'ALLEGATO 4.

7.2.1 Prima Formulazione

Come per il logit esterno, anche qui la Prima Formulazione prevede due soli coefficienti validi per tutti i comuni della provincia di Piacenza. I coefficienti stimati sono i seguenti:

β_{Addetti}	1.021E-05
β_{Distanza}	-7.744E-05

Tabella 7.16 Coefficienti della Prima Formulazione del Logit Interno

Si riporta una parte dei risultati:

		Addetti	Distanze	Stima	Reale
AGAZZANO	Intrazonale	1170	1200	49.15%	41.59%
	Altro Comune	110228	15133	50.85%	58.41%

		Addetti	Distanze	Stima	Reale
ALSENO	Intrazonale	3417	1000	54.14%	51.74%
	Altro Comune	108190	16950	45.86%	48.26%

		Addetti	Distanze	Stima	Reale
CAMINATA	Intrazonale	71	700	60.04%	42.11%
	Altro Comune	103754	19620	39.96%	57.89%

		Addetti	Distanze	Stima	Reale
CASTEL SAN GIOVANNI	Intrazonale	7215	1200	54.05%	60.24%
	Altro Comune	94107	14750	45.95%	39.76%

		Addetti	Distanze	Stima	Reale
FARINI	Intrazonale	576	800	71.97%	60.90%
	Altro Comune	105916	26860	28.03%	39.10%

		Addetti	Distanze	Stima	Reale
PIACENZA	Intrazonale	90350	2100	79.76%	82.62%
	Altro Comune	62783	16179	20.24%	17.38%

		Addetti	Distanze	Stima	Reale
PIOZZANO	Intrazonale	165	350	51.47%	44.22%
	Altro Comune	104183	14817	48.53%	55.78%

		Addetti	Distanze	Stima	Reale
SAN GIORGIO PIACENTINO	Intrazonale	2154	1450	37.97%	39.21%
	Altro Comune	120151	10660	62.03%	60.79%

Tabella 7.17 Esempi di Risultati Prima Formulazione Logit Interno

7.2.2 Seconda Formulazione

Anche per la Seconda Formulazione del Logit Interno, si usano le 4 classi introdotte, in precedenza, in base al numero di occupati di ogni comune piacentino. I coefficienti stimati sono i seguenti, divisi classe per classe:

	β_{Addetti}	β_{Distanza}
Classe 1	8.182E-06	-3.405E-05
Classe 2	1.185E-05	-6.595E-05
Classe 3	6.019E-06	-3.604E-05
Classe 4	8.629E-06	-9.369E-05

Tabella 7.18 Coefficienti della Seconda Formulazione del Logit Interno

Si riporta una parte dei risultati:

- Classe 1:

		Addetti	Distanze	Stima	Reale
CAMINATA	Intrazonale	71	700	44.91%	42.11%
	Altro Comune	103754	19620	55.09%	57.89%

		Addetti	Distanze	Stima	Reale
PIOZZANO	Intrazonale	165	350	41.13%	44.22%
	Altro Comune	104183	14817	58.87%	55.78%

Tabella 7.19 Esempi di Risultati Prima Classe Seconda Formulazione Logit Interno

- Classe 2:

		Addetti	Distanze	Stima	Reale
AGAZZANO	Intrazonale	1170	1200	40.78%	41.59%
	Altro Comune	110228	15133	59.22%	58.41%

		Addetti	Distanze	Stima	Reale
FARINI	Intrazonale	576	800	61.56%	60.90%
	Altro Comune	105916	26860	38.44%	39.10%

Tabella 7.20 Esempi di Risultati Seconda Classe Seconda Formulazione Logit Interno

- Classe 3:

		Addetti	Distanze	Stima	Reale
ALSENO	Intrazonale	3417	1000	48.61%	51.74%
	Altro Comune	108190	16950	51.39%	48.26%

		Addetti	Distanze	Stima	Reale
SAN GIORGIO PIACENTINO	Intrazonale	2154	1450	40.65%	39.21%
	Altro Comune	120151	10660	59.35%	60.79%

Tabella 7.21 Esempi di Risultati Terza Classe Seconda Formulazione Logit Interno

- Classe 4:

		Addetti	Distanze	Stima	Reale
CASTEL SAN GIOVANNI	Intrazonale	7215	1200	62.71%	60.24%
	Altro Comune	94107	14750	37.29%	39.76%

		Addetti	Distanze	Stima	Reale
PIACENZA	Intrazonale	90350	2100	82.59%	82.62%
	Altro Comune	62783	16179	17.41%	17.38%

Tabella 7.22 Esempi di Risultati Quarta Classe Seconda Formulazione Logit Interno

7.2.3 Terza Formulazione

Per la Terza Formulazione del logit interno, si è seguito lo stesso procedimento inserito nel logit esterno, introducendo due parametri per ogni comune piacentino.

Si riporta una parte dei coefficienti stimati utilizzando sempre la massima verosimiglianza (tutti i coefficienti sono disponibili nell'ALLEGATO 4):

	β_{Addetti}	β_{Distanza}
Agazzano	1.724E-05	-1.106E-04
Alseno	1.650E-05	-1.127E-04
Caminata	2.385E-05	-1.139E-04
Castel San Giovanni	1.293E-05	-1.136E-04
Farini	2.512E-05	-1.185E-04
Piacenza	2.503E-05	-6.171E-05
Piozzano	1.773E-05	-1.114E-04
San Giorgio Piacentino	1.206E-05	-1.069E-04

Tabella 7.23 Esempi di Coefficienti della Terza Formulazione del Logit Interno

Si riporta una parte dei risultati:

		Stimate	Reali
AGAZZANO	Intrazonali	41.59%	41.59%
	Altro Comune	58.41%	58.41%
ALSENO	Intrazonali	51.74%	51.74%
	Altro Comune	48.26%	48.26%
CAMINATA	Intrazonali	42.11%	42.11%
	Altro Comune	57.89%	57.89%
CASTEL SAN GIOVANNI	Intrazonali	60.24%	60.24%
	Altro Comune	39.76%	39.76%
FARINI	Intrazonali	60.90%	60.90%
	Altro Comune	39.10%	39.10%
PIACENZA	Intrazonali	82.62%	82.62%
	Altro Comune	17.38%	17.38%
PIOZZANO	Intrazonali	44.22%	44.22%
	Altro Comune	55.78%	55.78%
SAN GIORGIO PIACENTINO	Intrazonali	39.21%	39.21%
	Altro Comune	60.79%	60.79%

Tabella 7.24 Esempi di Risultati Terza Formulazione Logit Interno

7.2.4 Riepilogo

Osservando i risultati ottenuti dalla Prima e dalla Seconda Formulazione, si capisce immediatamente che il modello creato per il Logit Interno è meno preciso rispetto a quello del Logit Esterno.

La minor precisione, però, non significa che i ragionamenti fatti non siano corretti, ma indica solamente che i risultati ottenuti sono i migliori possibili con i dati che si hanno a disposizione. Bisogna, poi, eseguire un'analisi critica comune per comune perché ogni paese è una realtà a se stante con i suoi pregi e difetti. Ad esempio gli errori maggiori avvengono per comuni particolari come Pecorara e Zerba che sono paesi di ridotte dimensioni, Besenzone e Calendasco che sono comuni confinanti con le province esterne, Villanova sull'Arda e Castelvetro Piacentino che confinano con il capoluogo di provincia, Cremona.

Per la Terza Formulazione, invece, le stime vengono perfette, ma si ricorda che si è usato un procedimento del tutto analitico ed è scontato che le stime vengano così precise. In questo caso si cerca solo di verificare se un modello stimato paese per paese possa essere effettivamente rappresentativo per un territorio nel corso del tempo, riconoscendone le evidenti limitazioni di applicabilità.

Dalle osservazioni fatte e tenendo in considerazione quelle già introdotte per il logit esterno, si può affermare che il giusto compromesso tra immediatezza di applicabilità del modello e precisione della stima rimane il secondo metodo. Il terzo metodo stima percentuali perfette, ma risulta sempre troppo lungo da applicare e, soprattutto, rimane ancora da verificare l'effettiva applicabilità di un metodo *analitico* su un'analisi che si potrebbe definire di tipo *comportamentale*.

7.3 Distribuzione

Una volta stabilita la quantità di spostamenti destinati a comuni diversi da quello d'origine, ma interni alla provincia di Piacenza, bisogna stimare, per ogni zona d'origine, come questi si distribuiscono tra le diverse zone di destinazione. Anche in questo caso si hanno a disposizione tre approcci diversi, realizzati con la stessa metodologia dei casi precedenti, usando sempre due coefficienti, uno inerente al numero di addetti per ogni comune e l'altro rappresentate le distanze stradali tra i diversi comuni.

Si ricorda che questa fase viene svolta con un modello di tipo gravitazionale:

$$p^q[d/osh] = \frac{A_d^{\beta_1} \cdot C_{od}^{\beta_2}}{\sum_{d'} A_{d'}^{\beta_1} \cdot C_{od'}^{\beta_2}}$$

Molti manuali tecnici forniscono valori sperimentali di β_1 e β_2 , in base al tipo di addetti:

		β_{Addetti}	β_{Distanza}
Addetti	Industria	1.10	-0.70
	Servizi	0.93	-0.70
	Commercio	1.61	-2.54

Tabella 7.25 Valori sperimentali dei coefficienti presi in considerazione

Questa tabella è tratta da “Metodi quantitativi per la pianificazione dei sistemi di trasporto” (E.Cascetta, 1990).

Per quanto riguarda il coefficiente relativo alla distanza, questa tabella si riferisce alle distanze prese in linea d’aria, ma nel modello si utilizzano le distanze stradali, quindi questi valori tabellati non possono essere presi in considerazione come limiti per verificare la calibrazione. Si tengono comunque come riferimento per verificare l’ordine di grandezza dei coefficienti stimati. In particolare le distanze su strada risulteranno sempre maggiori delle corrispondenti in linea d’aria: quindi ci si aspetta che i valori dell’esponente calibrato per le distanze sia, in valore assoluto, maggiore di quelli della tabella precedente: Ortuzar e Willumsen parlano di valori compresi tra -3.5 e -0.6.

Per quanto concerne il coefficiente relativo agli addetti, si ricorda che, in base ai dati che si hanno a disposizione non si possono fare distinzioni tra le diverse tipologie di addetti, però ci si aspetta che dalla calibrazione risultino dei valori che rispettino le limitazioni date dalla tabella precedente:

	Limite Inferiore	Limite Superiore
β_{Addetti}	0.93	1.61

Tabella 7.26 Limiti del coefficiente inerente al numero di addetti

Per stimare la precisione della fase di distribuzione si confrontano gli andamenti degli spostamenti reali con quelli stimati, utilizzando un piano cartesiano in cui sull’asse delle ascisse si mettono le diverse coppie Origine/Destinazione e sull’asse delle ordinate i rispettivi spostamenti. Questi verranno disposti in ordine crescente in modo tale da poterne stimare un andamento: si troveranno così una curva degli spostamenti reali e dei punti degli spostamenti stimati. Il modello risulterà calibrato correttamente se gli spostamenti stimati risulteranno abbastanza vicini alla curva degli spostamenti reali.

Per ogni formulazione verranno introdotti due grafici, uno inerente a tutte le coppie Origine/Destinazione e l’altro corrispondente alle coppie Origine/Destinazione con più di 300 spostamenti.

Per quanto riguarda il primo grafico, si sceglie di inserire le coppie Origine/Destinazione con più di 100 spostamenti perché si considerano trascurabili gli spostamenti inferiori a quel valore tra due comuni.

Per quanto concerne il secondo grafico, si decide di inserire solo le coppie Origine/Destinazione con più di 300 spostamenti per fare uno zoom sulle principali destinazioni.

7.3.1 Prima Formulazione

I coefficienti stimati sono i seguenti:

β_{Addetti}	1.015
β_{Distanza}	-1.964

Tabella 7.27 Coefficienti della Prima Formulazione della Distribuzione

L'andamento degli spostamenti reali e di quelli stimati, mantenendo lo stesso ordine delle coppie Origine/Destinazione risulta quello delle figure seguenti, considerando prima solo gli spostamenti maggiori di 100 e dopo solo gli spostamenti maggiori di 300:

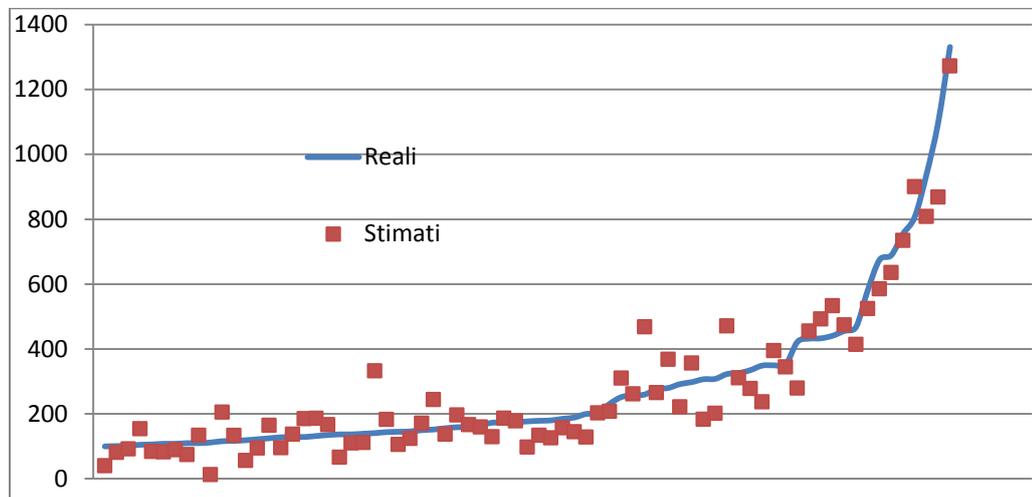


Figura 7.7 Andamento degli spostamenti reali e stimati per la parte di Distribuzione

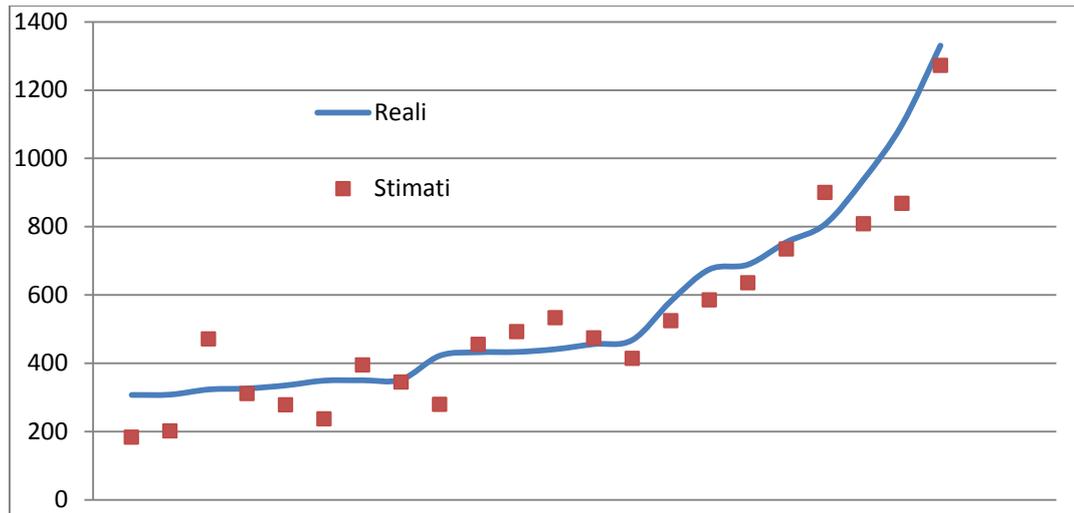


Figura 7.8 Andamento degli spostamenti principali reali e stimati per la parte di Distribuzione

Tenendo in considerazione che si sono utilizzati due soli coefficienti per cercare di approssimare al meglio 48 zone d'origine aventi ciascuna altrettante zone di destinazione, si può affermare, dai grafici appena osservati, che il grado di precisione del modello gravitazionale è molto buono. Infine si osserva che i coefficienti stimati rientrano perfettamente nei limiti dati dai manuali.

7.3.2 Seconda Formulazione

I coefficienti stimati, classe per classe, sono i seguenti:

	$\beta_{Addetti}$	$\beta_{Distanza}$
Classe 1	0.958	-2.347
Classe 2	0.988	-2.054
Classe 3	1.019	-1.970
Classe 4	1.036	-1.864

Tabella 7.28 Coefficienti della Seconda Formulazione della Distribuzione

I grafici sull'andamento degli spostamenti stimati e reali sono i seguenti, sempre divisi per spostamenti maggiori di 100 e spostamenti maggiori di 300:

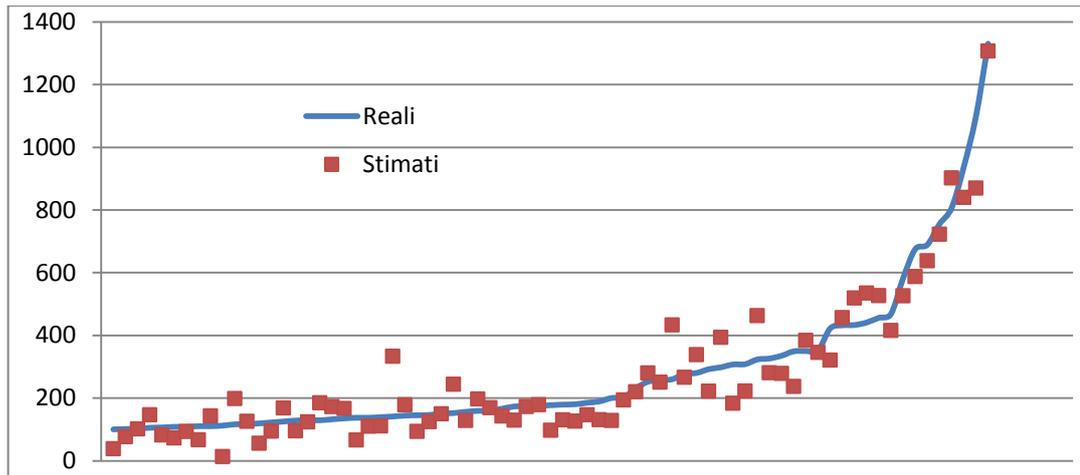


Figura 7.9 Andamento degli spostamenti reali e stimati per la parte di Distribuzione

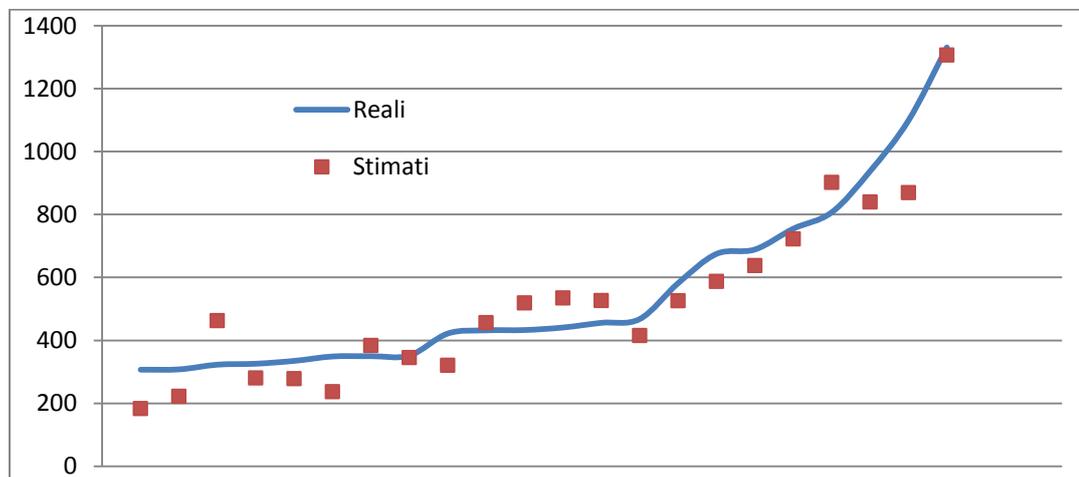


Figura 7.10 Andamento degli spostamenti principali reali e stimati per la parte di Distribuzione

Come si può notare il grado di precisione della stima aumenta rispetto al primo metodo. Oltretutto, guardando la tabella dei coefficienti stimati, si può notare una precisa tendenza:

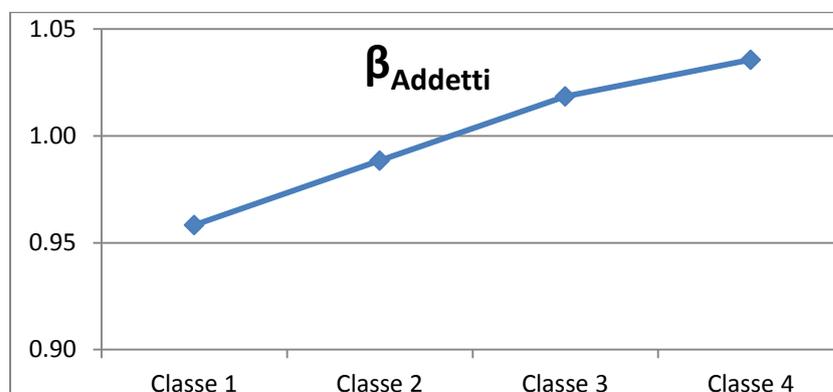


Figura 7.11 Tendenza del coefficiente relativo al numero di addetti

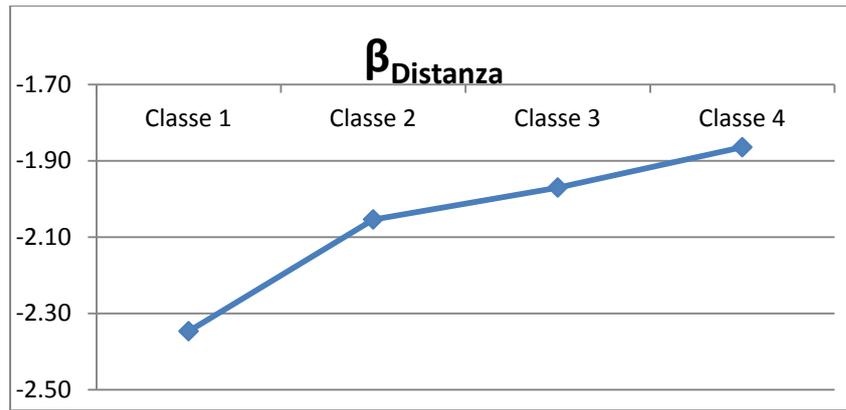


Figura 7.12 Tendenza del coefficiente relativo alla distanza stradale

Entrambi i coefficienti crescono con l'aumentare della classe, quindi con l'aumentare del numero di occupati residenti. Questo andamento può essere così spiegato: gli occupati residenti nei grandi centri (Classe 4) hanno molte più possibilità di trovare lavoro nel comune di residenza, come si può vedere dai risultati del logit interno. Se questo non avviene, difficilmente i comuni di dimensioni minori riescono a dare alternative di lavoro che non siano già presenti nei grandi centri. Gli occupati di queste zone tenderanno, quindi, a raggiungere centri di dimensioni simili, a prescindere dalla distanza.

Come si nota dai valori stimati, rispetto alle altre classi risulterà più incidente il potere di attrazione di una zona (addetti) piuttosto che la sua distanza. Per la Classe 1 ovviamente vale il ragionamento opposto.

7.3.3 Terza Formulazione

Si riporta una parte dei coefficienti stimati utilizzando sempre la massima verosimiglianza (tutti i coefficienti sono disponibili nell'ALLEGATO 4):

	$\beta_{Addetti}$	$\beta_{Distanza}$
Agazzano	0.996	-1.979
Alseno	0.937	-1.968
Besenzone	1.025	-1.717
Bettola	1.206	-3.258
Bobbio	1.120	-2.439
Borgonovo Val Tidone	0.833	-1.798
Cadeo	1.060	-2.057
Piacenza	1.227	-1.633

Tabella 7.29 Esempi di Coefficienti della Terza Formulazione della Distribuzione

I grafici sull'andamento degli spostamenti stimati e reali sono i seguenti, sempre divisi per spostamenti maggiori di 100 e spostamenti maggiori di 300:

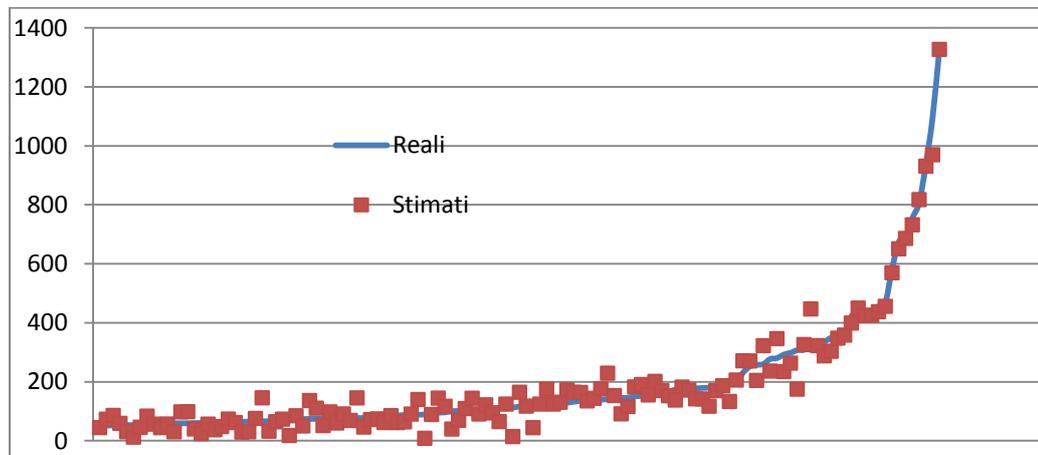


Figura 7.13 Andamento degli spostamenti reali e stimati per la parte di Distribuzione

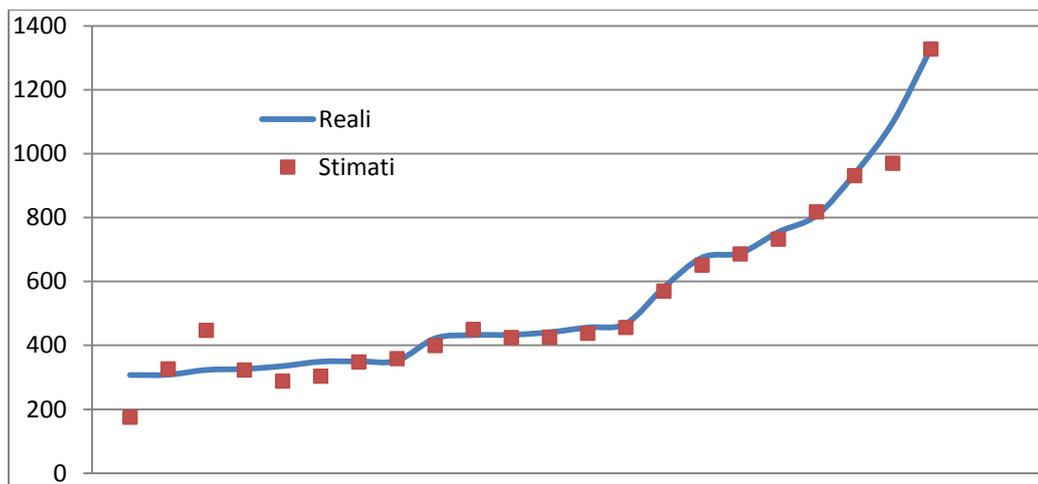


Figura 7.14 Andamento degli spostamenti principali reali e stimati per la parte di Distribuzione

Come nei casi precedenti, la stima effettuata prendendo singolarmente ogni zona produce un'approssimazione migliore. In questo caso, a differenza dei due logit, non si tratta di una stima puramente analitica, ma rimane, come i due modelli di distribuzione precedenti, un'analisi rigorosa: in linea pratica si è passati da un campionamento casuale stratificato dei casi precedenti ad un campionamento casuale semplice di quest'ultima formulazione. Quindi può essere considerato un modello ugualmente valido, tenendo conto però delle stesse difficoltà di applicabilità della *Formulazione 3* dei due logit a causa della numerosità dei coefficienti e dell'esclusivo utilizzo sul territorio della provincia di Piacenza.

7.3.4 Riepilogo

Avendo osservato i risultati delle tre differenti formulazioni, si può affermare che tutti i modelli stimati sono validi ed applicabili. La terza formulazione, questa volta, può essere considerata da subito un'alternativa valida, per le considerazioni fatte in precedenza.

Il secondo metodo rimane comunque il giusto compromesso tra precisione della stima e applicabilità del modello.

7.4 Validazione Distribuzione: Piacenza 1991

Finita la calibrazione dei diversi modelli, si procede con la loro validazione: verranno utilizzati i dati demografici - economici della provincia di Piacenza del 1991 e verrà verificata l'effettiva capacità di stima delle diverse formulazioni. Si cercherà di verificare la precisione delle singole fasi, confrontando passo per passo i valori stimati.

I dati utilizzati nei diversi step sono gli stessi usati per la calibrazione, ovviamente risalenti all'anno 1991.

Si riporta solo una parte dei risultati, disponibili completamente nell'ALLEGATO 5.

7.4.1 Logit Esterno

7.4.1.1 Prima Formulazione

I coefficienti calibrati in precedenza ed utilizzati ora sono i seguenti:

β_{Addetti}	1.844E-05
β_{Distanza}	-5.962E-05

Tabella 7.30 Coefficienti utilizzati nella Prima Formulazione del Logit Esterno

Una parte dei risultati:

BOBBIO	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reale
	Interno	89747	23040	m	80.82%	95.33%
	Esterno	1129	19750	m	19.18%	4.67%

FIORENZUOLA D'ARDA	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reale
	Interno	111675	12156	m	90.72%	91.46%
	Esterno	7165	18080	m	9.28%	8.54%

MORFASSO	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reale
	Interno	105701	30425	m	77.05%	94.96%
	Esterno	1475	18500	m	22.95%	5.04%

OTTONE	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reale
	Interno	81058	33217	m	59.20%	94.08%
	Esterno	944	14680	m	40.80%	5.92%

PECORARA	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reale
	Interno	83896	18050	m	82.12%	86.59%
	Esterno	4059	18927	m	17.88%	13.41%

PIACENZA	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reale
	Interno	135097	15240	m	87.80%	90.94%
	Esterno	34234	17150	m	12.20%	9.06%

PONTENURE	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reale
	Interno	105069	8940	m	91.54%	95.26%
	Esterno	17100	21678	m	8.46%	4.74%

VIGOLZONE	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reale
	Interno	93871	8217	m	93.72%	94.86%
	Esterno	1528	25000	m	6.28%	5.14%

Tabella 7.31 Esempi di Risultati Prima Formulazione Logit Esterno Piacenza 1991

7.4.1.2 Seconda Formulazione

I coefficienti calibrati in precedenza ed utilizzati ora sono i seguenti, divisi classe per classe:

	β_{Addetti}	β_{Distanza}
Classe 1	2.448E-05	-1.408E-05
Classe 2	2.522E-05	-1.321E-06
Classe 3	1.935E-05	-6.181E-05
Classe 4	1.662E-05	-8.705E-05

Tabella 7.32 Coefficienti utilizzati nella Seconda Formulazione del Logit Esterno

Una parte dei risultati:

- Classe 1:

OTTONE	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reale
	Interno	81058	33217	m	84.56%	94.08%
	Esterno	944	14680	m	15.44%	5.92%

PECORARA	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reale
	Interno	83896	18050	m	87.73%	86.59%
	Esterno	4059	18927	m	12.27%	13.41%

Tabella 7.33 Esempi di Risultati Prima Classe Seconda Formulazione Logit Esterno Piacenza 1991

- Classe 2:

BOBBIO	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reale
	Interno	89747	23040	m	90.37%	95.33%
	Esterno	1129	19750	m	9.63%	4.67%

MORFASSO	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reale
	Interno	105701	30425	m	93.37%	94.96%
	Esterno	1475	18500	m	6.63%	5.04%

Tabella 7.34 Esempi di Risultati Seconda Classe Seconda Formulazione Logit Esterno Piacenza 1991

- Classe 3:

PONTENURE	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reale
	Interno	105069	8940	m	92.34%	95.26%
	Esterno	17100	21678	m	7.66%	4.74%

VIGOLZONE	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reale
	Interno	93871	8217	m	94.40%	94.86%
	Esterno	1528	25000	m	5.60%	5.14%

Tabella 7.35 Esempi di Risultati Terza Classe Seconda Formulazione Logit Esterno Piacenza 1991

- Classe 4:

FIORENZUOLA D'ARDA	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reale
	Interno	111675	12156	m	90.49%	91.46%
	Esterno	7165	18080	m	9.51%	8.54%

PIACENZA	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reale
	Interno	135097	15240	m	86.32%	90.94%
	Esterno	34234	17150	m	13.68%	9.06%

Tabella 7.36 Esempi di Risultati Quarta Classe Seconda Formulazione Logit Esterno Piacenza 1991

7.4.1.3 Terza Formulazione

Si riporta una parte dei coefficienti calibrati in precedenza ed utilizzati ora (tutti i coefficienti sono disponibili nell'ALLEGATO 5):

	β_{Addetti}	β_{Distanza}
Bobbio	3.609E-05	-1.020E-04
Fiorenzuola d'Arda	1.386E-05	-9.566E-05
Morfasso	3.584E-05	-1.065E-04
Ottone	4.527E-05	-1.111E-04
Pecorara	2.329E-05	-9.927E-05
Piacenza	1.661E-05	-9.860E-05
Pontenure	2.156E-05	-9.010E-05
Vigolzone	1.733E-05	-8.703E-05

Tabella 7.37 Esempi di Coefficienti utilizzati nella Terza Formulazione del Logit Esterno

Una parte dei risultati:

		Stimate	Reali
BOBBIO	Interno	94.60%	95.33%
	Esterno	5.40%	4.67%
	Esterno	13.17%	8.14%
FIORENZUOLA D'ARDA	Interno	88.24%	91.46%
	Esterno	11.76%	8.54%
MORFASSO	Interno	92.16%	94.96%
	Esterno	7.84%	5.04%
OTTONE	Interno	82.74%	94.08%
	Esterno	17.26%	5.92%
PECORARA	Interno	87.51%	86.59%
	Esterno	12.49%	13.41%
PIACENZA	Interno	86.58%	90.94%
	Esterno	13.42%	9.06%
PODENZANO	Interno	93.01%	95.96%
	Esterno	6.99%	4.04%
VIGOLZONE	Interno	95.53%	94.86%
	Esterno	4.47%	5.14%

Tabella 7.38 Esempi di Risultati Terza Formulazione Logit Esterno Piacenza 1991

7.4.2 Logit Interno

I risultati completi sono disponibili nell'ALLEGATO 5.

7.4.2.1 Prima Formulazione

I coefficienti calibrati in precedenza ed utilizzati ora sono i seguenti:

β_{Addetti}	1.021E-05
β_{Distanza}	-7.744E-05

Tabella 7.39 Coefficienti utilizzati nella Prima Formulazione del Logit Interno

Una parte dei risultati:

		Addetti	Distanze	Stima	Reale
AGAZZANO	Intrazonale	883	1200	52.53%	55.05%
	Altro Comune	96677	15133	47.47%	44.95%

		Addetti	Distanze	Stima	Reale
ALSENO	Intrazonale	2804	1000	56.99%	60.86%
	Altro Comune	96242	16950	43.01%	39.14%

		Addetti	Distanze	Stima	Reale
CAMINATA	Intrazonale	72	700	62.76%	46.15%
	Altro Comune	92506	19620	37.24%	53.85%

		Addetti	Distanze	Stima	Reale
CASTEL SAN GIOVANNI	Intrazonale	7545	1200	48.56%	64.42%
	Altro Comune	89801	14750	51.44%	35.58%

		Addetti	Distanze	Stima	Reale
FARINI	Intrazonale	901	800	74.88%	72.83%
	Altro Comune	91617	26860	25.12%	27.17%

		Addetti	Distanze	Stima	Reale
PIACENZA	Intrazonale	78888	2100	78.95%	86.06%
	Altro Comune	56209	16179	21.05%	13.94%

		Addetti	Distanze	Stima	Reale
PIOZZANO	Intrazonale	210	350	55.08%	52.22%
	Altro Comune	90015	14817	44.92%	47.78%

		Addetti	Distanze	Stima	Reale
SAN GIORGIO PIACENTINO	Intrazonale	1882	1450	41.35%	45.66%
	Altro Comune	106005	10660	58.65%	54.34%

Tabella 7.40 Esempi di Risultati Prima Formulazione Logit Interno Piacenza 1991

7.4.2.2 *Seconda Formulazione*

I coefficienti calibrati in precedenza ed utilizzati ora sono i seguenti, divisi classe per classe:

	β_{Addetti}	β_{Distanza}
Classe 1	8.182E-06	-3.405E-05
Classe 2	1.185E-05	-6.595E-05
Classe 3	6.019E-06	-3.604E-05
Classe 4	8.629E-06	-9.369E-05

Tabella 7.41 Coefficienti utilizzati nella Seconda Formulazione del Logit Interno

Una parte dei risultati:

- Classe 1

		Addetti	Distanze	Stima	Reale
CAMINATA	Intrazonale	72	700	47.20%	46.15%
	Altro Comune	92506	19620	52.80%	53.85%

		Addetti	Distanze	Stima	Reale
PIOZZANO	Intrazonale	210	350	43.97%	52.22%
	Altro Comune	90015	14817	56.03%	47.78%

Tabella 7.42 Esempi di Risultati Prima Classe Seconda Formulazione Logit Interno Piacenza 1991

- Classe 2:

		Addetti	Distanze	Stima	Reale
AGAZZANO	Intrazonale	883	1200	44.62%	55.05%
	Altro Comune	96677	15133	55.38%	44.95%

		Addetti	Distanze	Stima	Reale
FARINI	Intrazonale	901	800	65.56%	72.83%
	Altro Comune	91617	26860	34.44%	27.17%

Tabella 7.43 Esempi di Risultati Seconda Classe Seconda Formulazione Logit Interno Piacenza 1991

- Classe 3:

		Addetti	Distanze	Stima	Reale
ALSENO	Intrazonale	2804	1000	49.78%	60.86%
	Altro Comune	96242	16950	50.22%	39.14%

		Addetti	Distanze	Stima	Reale
SAN GIORGIO PIACENTINO	Intrazonale	1882	1450	41.77%	45.66%
	Altro Comune	106005	10660	58.23%	54.34%

Tabella 7.44 Esempi di Risultati Terza Classe Seconda Formulazione Logit Interno Piacenza 1991

- Classe 4:

		Addetti	Distanze	Stima	Reali
CASTEL SAN GIOVANNI	Intrazonale	7545	1200	48.56%	64.42%
	Altro Comune	89801	14750	51.44%	35.58%

		Addetti	Distanze	Stima	Reali
PIACENZA	Intrazonale	78888	2100	81.98%	86.06%
	Altro Comune	56209	16179	18.02%	13.94%

Tabella 7.45 Esempi di Risultati Quarta Classe Seconda Formulazione Logit Interno Piacenza 1991

7.4.2.3 Terza Formulazione

Si riporta una parte dei coefficienti calibrati in precedenza ed utilizzati ora (tutti i coefficienti sono disponibili nell'ALLEGATO 5):

	β_{Addetti}	β_{Distanza}
Agazzano	1.724E-05	-1.106E-04
Alseno	1.650E-05	-1.127E-04
Caminata	2.385E-05	-1.139E-04
Castel San Giovanni	1.293E-05	-1.136E-04
Farini	2.512E-05	-1.185E-04
Piacenza	2.503E-05	-6.171E-05
Piozzano	1.773E-05	-1.114E-04
San Giorgio Piacentino	1.206E-05	-1.069E-04

Tabella 7.46 Esempi di Coefficienti utilizzati nella Terza Formulazione del Logit Interno

Una parte dei risultati:

		Stima	Reali
AGAZZANO	Intrazonale	47.23%	55.05%
	Altro Comune	52.77%	44.95%
ALSENO	Intrazonale	56.38%	60.86%
	Altro Comune	43.62%	39.14%
CAMINATA	Intrazonale	48.75%	46.15%
	Altro Comune	51.25%	53.85%
CASTEL SAN GIOVANNI	Intrazonale	61.67%	64.42%
	Altro Comune	38.33%	35.58%
FARINI	Intrazonale	69.22%	72.83%
	Altro Comune	30.78%	27.17%
	Altro Comune	8.99%	13.84%
PIACENZA	Intrazonale	80.79%	86.06%
	Altro Comune	19.21%	13.94%
PIOZZANO	Intrazonale	50.49%	52.22%
	Altro Comune	49.51%	47.78%
SAN GIORGIO PIACENTINO	Intrazonale	43.26%	45.66%
	Altro Comune	56.74%	54.34%

Tabella 7.47 Esempi di Risultati Terza Formulazione Logit Interno Piacenza 1991

7.4.3 Distribuzione

7.4.3.1 Prima Formulazione

I coefficienti calibrati in precedenza ed utilizzati ora sono i seguenti:

β_{Addetti}	1.015
β_{Distanza}	-1.964

Tabella 7.48 Coefficienti utilizzati nella Prima Formulazione della Distribuzione

I risultati ottenuti sono i seguenti, rappresentati sempre con l'andamento degli spostamenti stimati e reali per ogni coppia Origine/Destinazione per più di 100 spostamenti e per più di 300 spostamenti:

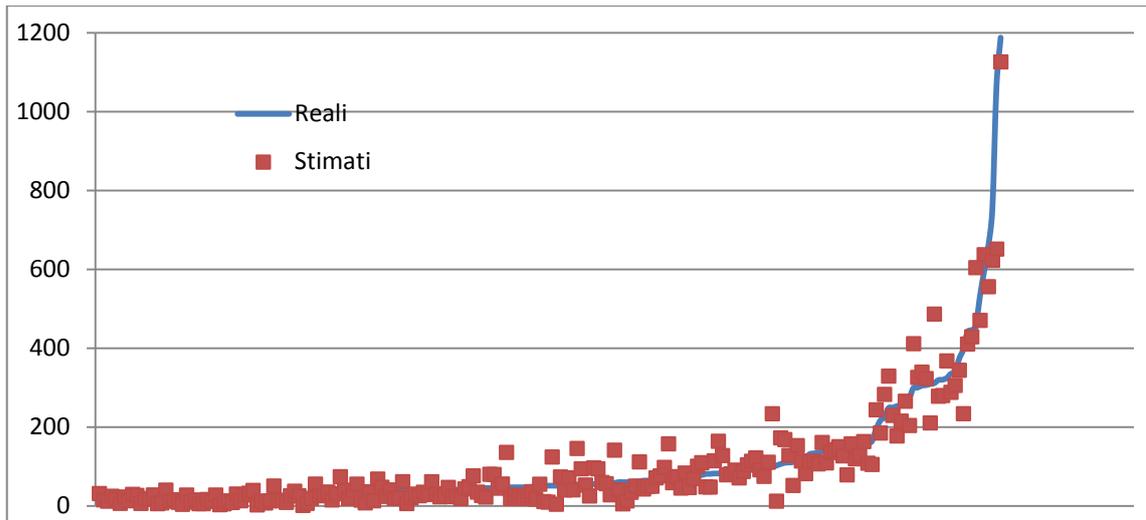


Figura 7.15 Andamento degli spostamenti reali e stimati per la Prima Formulazione della Distribuzione di Piacenza 1991

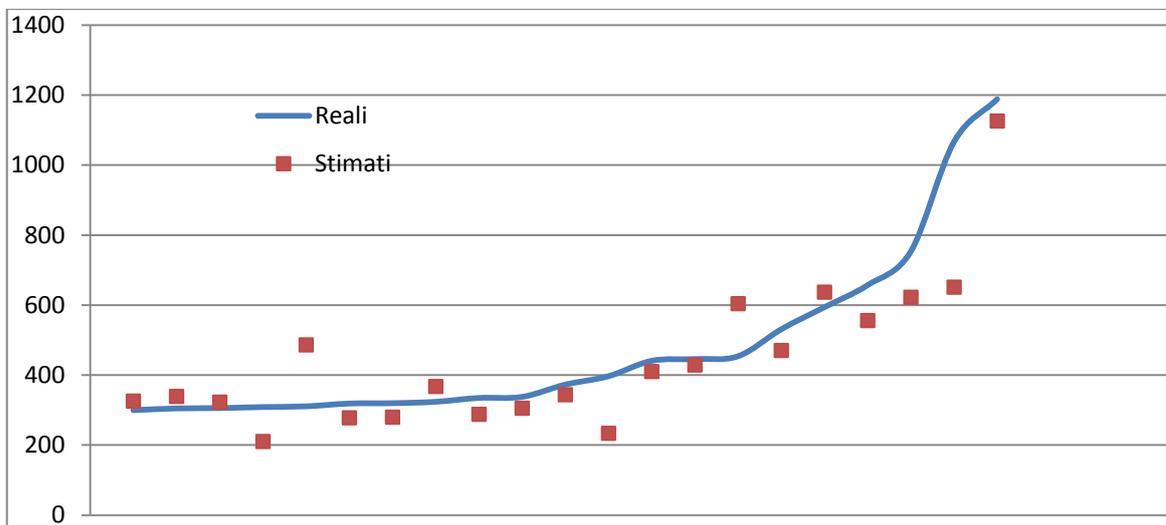


Figura 7.16 Andamento degli spostamenti principali reali e stimati per la Prima Formulazione della Distribuzione di Piacenza 1991

7.4.3.2 Seconda Formulazione

I coefficienti calibrati in precedenza ed utilizzati ora sono i seguenti, divisi classe per classe:

	β_{Addetti}	β_{Distanza}
Classe 1	0.958	-2.347
Classe 2	0.988	-2.054
Classe 3	1.019	-1.970
Classe 4	1.036	-1.864

Tabella 7.49 Coefficienti utilizzati nella Seconda Formulazione della Distribuzione

I risultati ottenuti sono i seguenti:

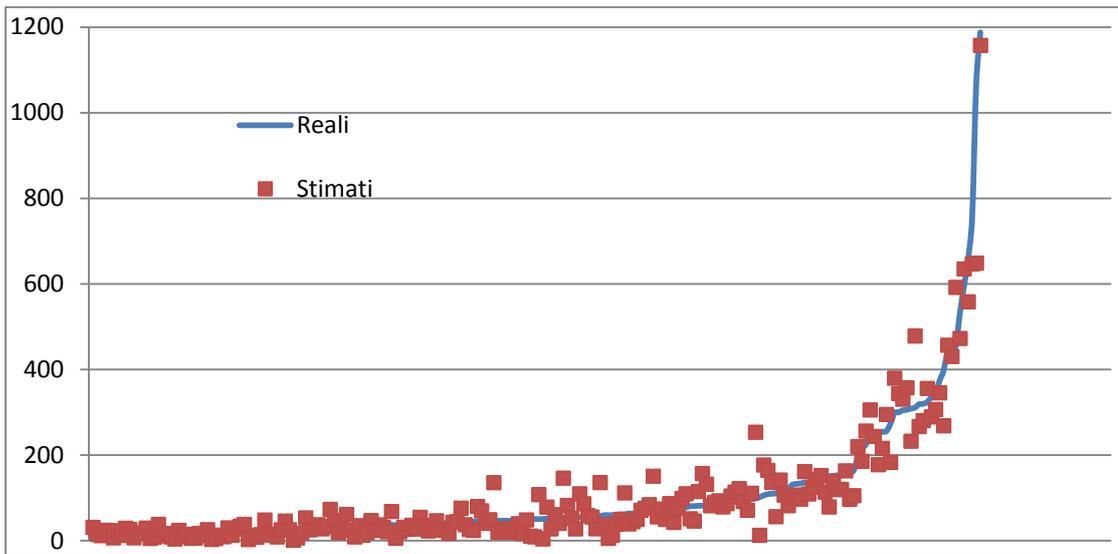


Figura 7.17 Andamento degli spostamenti reali e stimati per Seconda Formulazione della Distribuzione di Piacenza 1991

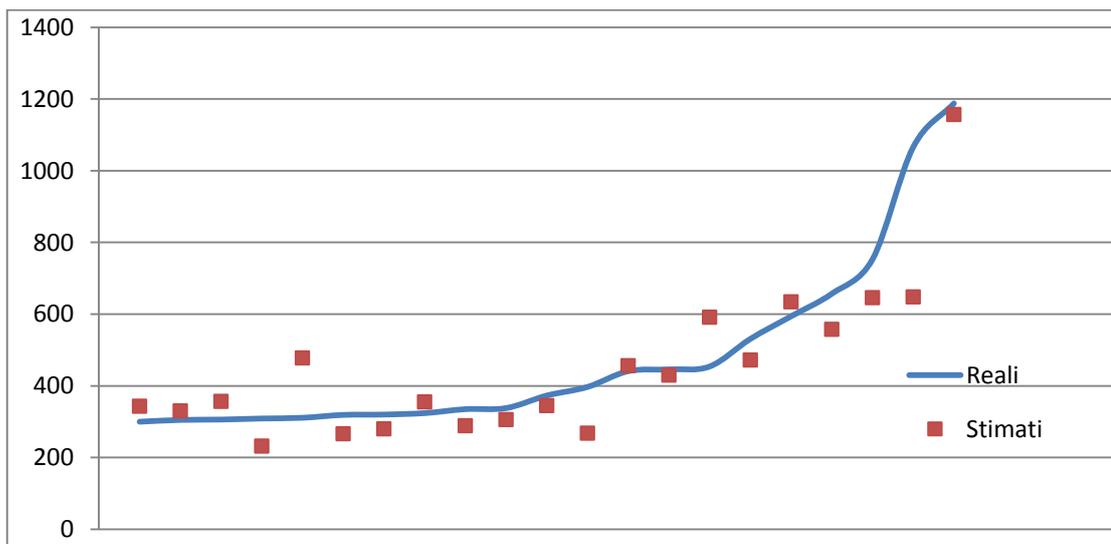


Figura 7.18 Andamento degli spostamenti principali reali e stimati per Seconda Formulazione della Distribuzione di Piacenza 1991

7.4.3.3 Terza Formulazione

Si riporta una parte dei coefficienti calibrati in precedenza ed utilizzati ora (tutti i coefficienti sono disponibili nell'ALLEGATO 5):

	$\beta_{Addetti}$	$\beta_{Distanza}$
Agazzano	0.996	-1.979
Alseno	0.937	-1.968
Besenzone	1.025	-1.717
Bettola	1.206	-3.258
Bobbio	1.120	-2.439
Borgonovo Val Tidone	0.833	-1.798
Cadeo	1.060	-2.057
Piacenza	1.227	-1.633

Tabella 7.50 Esempi di Coefficienti utilizzati nella Terza Formulazione della Distribuzione

I risultati ottenuti sono i seguenti:

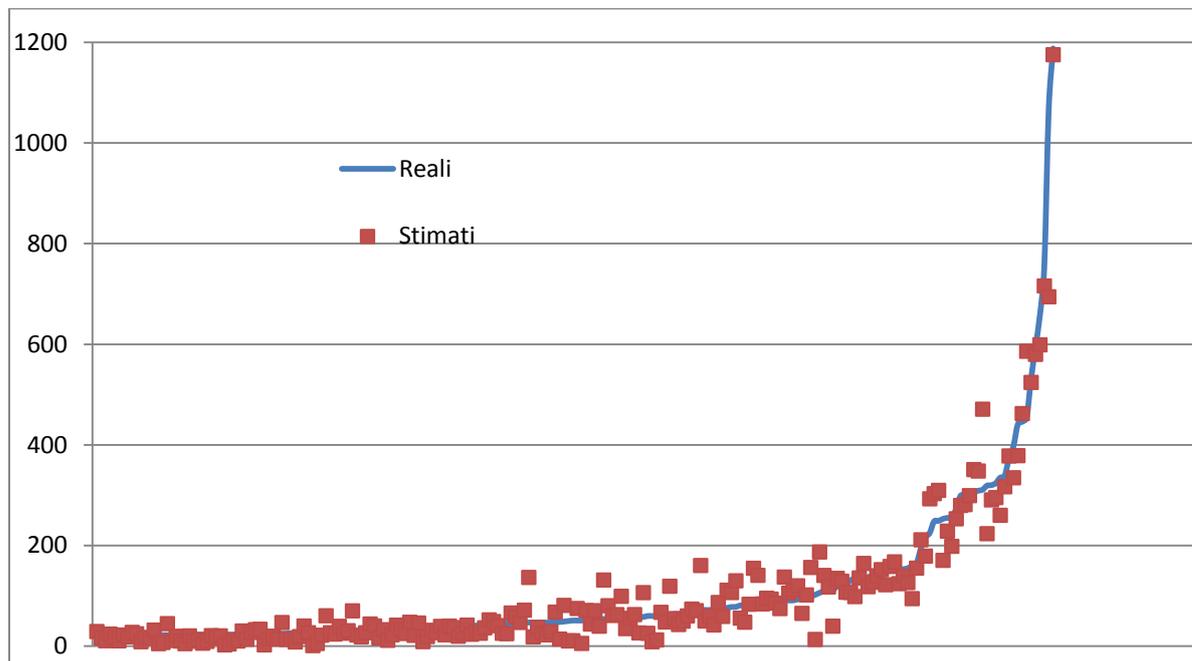


Figura 7.19 Andamento degli spostamenti reali e stimati per la Terza Formulazione della Distribuzione di Piacenza 1991

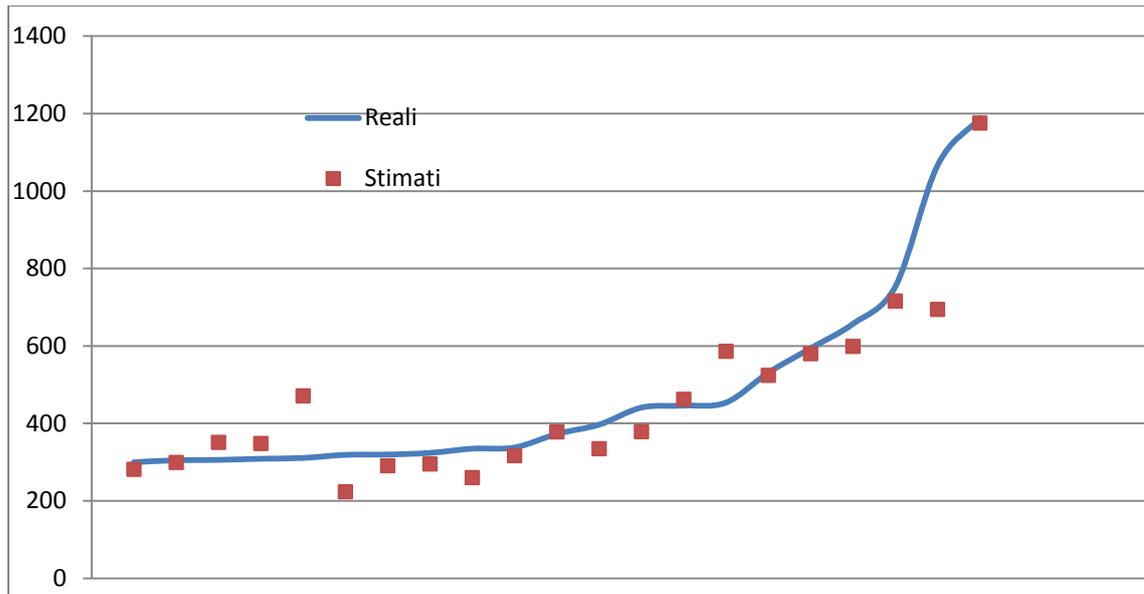


Figura 7.20 Andamento degli spostamenti principali reali e stimati per la Terza Formulazione della Distribuzione di Piacenza 1991

Si rimanda alle conclusioni di questa parte per le osservazioni sui risultati.

7.4.4 Metodo dei fattori di crescita: Furness

Date le numerose soluzioni proposte in letteratura si tenta di elaborare una soluzione che sfrutti il metodo dei fattori di crescita proposto da Ortuzar e Willumsen in “*Pianificazione dei sistemi di trasporto*”, come descritto nella parte introduttiva.

Come sottolineato dai due autori, questo metodo ha una utilizzabilità che difficilmente si può discostare di oltre due anni dall’*anno zero*, cioè l’anno a cui risale la matrice di base.

Considerando che si cerca di applicare il metodo a dieci anni di distanza e che i metodi a fattore di crescita costante o singolarmente vincolato sono già difficilmente applicabili dopo pochi anni, si sceglie di utilizzare un metodo che sia vincolato sia alle origini che alle destinazioni.

Dato il grande intervallo di tempo che separa l’*anno zero* (2001) dall’anno di applicazione (1991) si decide innanzitutto di verificare l’effettiva applicabilità del metodo anche dopo tutti questi anni.

Si ricorda che la relazione di base da utilizzare è quella proposta sempre da Ortuzar e Willumsen:

$$T_{ij} = t_{ij} \cdot \tau_i \cdot \Gamma_j \cdot A_i \cdot B_j = t_{ij} \cdot a_i \cdot b_j$$

Ipotizzando di avere una perfetta previsione dei fattori di crescita τ_i e Γ_j , e quindi di conoscere esattamente gli spostamenti totali generati e attratti da ogni zona, utilizzando il metodo di Furness si stimano i seguenti fattori:

	a_i	b_j
Agazzano	0.926	1.326
Alseno	0.799	1.324
Besenzone	0.795	2.29
Bettola	0.797	1.077
Bobbio	0.769	1.408
Borgonovo Val Tidone	0.909	0.926
Cadeo	0.96	0.906
Calendasco	1.063	1.16
Caminata	1.111	1.046
Caorso	1.034	0.921
Carpaneto Piacentino	0.826	1.116
Castel San Giovanni	0.99	1.015
Castell'Arquato	0.883	1.015
Castelvetro Piacentino	1.234	0.921
Cerignale	0.612	3.605
Coli	1.106	1.553
Corte Brugnatella	0.647	2.664
Cortemaggiore	0.99	1.217
Farini	1.085	1.408
Ferriere	0.995	0.988
Fiorenzuola d'Arda	0.964	1.011
Gazzola	0.884	1.391
Gossolengo	0.812	1.009
Gragnano Trebbiense	0.862	0.796
Gropparello	0.857	0.972
Lugagnano Val d'Arda	0.858	0.994
Monticelli d'Ongina	1.191	1.008
Morfasso	1.333	1.513
Nibbiano	0.853	1.016
Ottone	1.166	1.603
Pecorara	1.229	1.466
Piacenza	1.151	1.001
Pianello Val Tidone	0.857	1.009
Piozzano	1.128	1.42
Podenzano	0.891	0.886
Ponte dell'Olio	1.059	0.81

Pontenure	0.989	0.923
Rivergaro	0.922	1.006
Rottofreno	1.004	0.652
San Giorgio Piacentino	0.966	0.871
San Pietro in Cerro	0.829	1.21
Sarmato	0.893	1.192
Travo	0.734	0.819
Vernasca	0.956	1.034
Vigolzone	0.894	0.738
Villanova sull'Arda	0.95	0.994
Zerba	1.058	1.506
Ziano Piacentino	0.956	1.066

Tabella 7.51 Fattori di crescita del metodo di Furness

Confrontando l'andamento degli spostamenti previsto con quello reale, lasciando le coppie *od* sull'asse delle ascisse sempre nello stesso ordine, il risultato è il seguente:

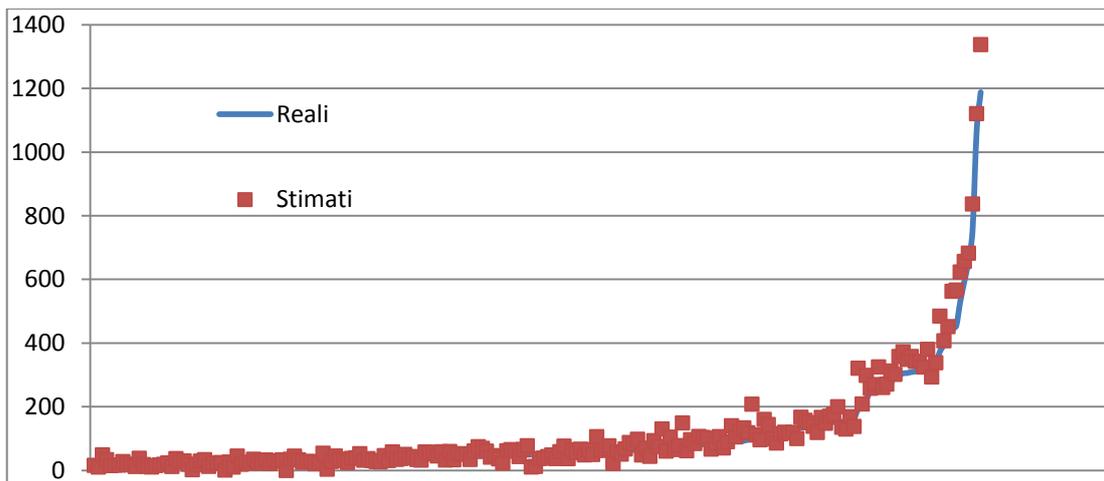


Figura 7.21 Stima degli spostamenti col metodo di Furness

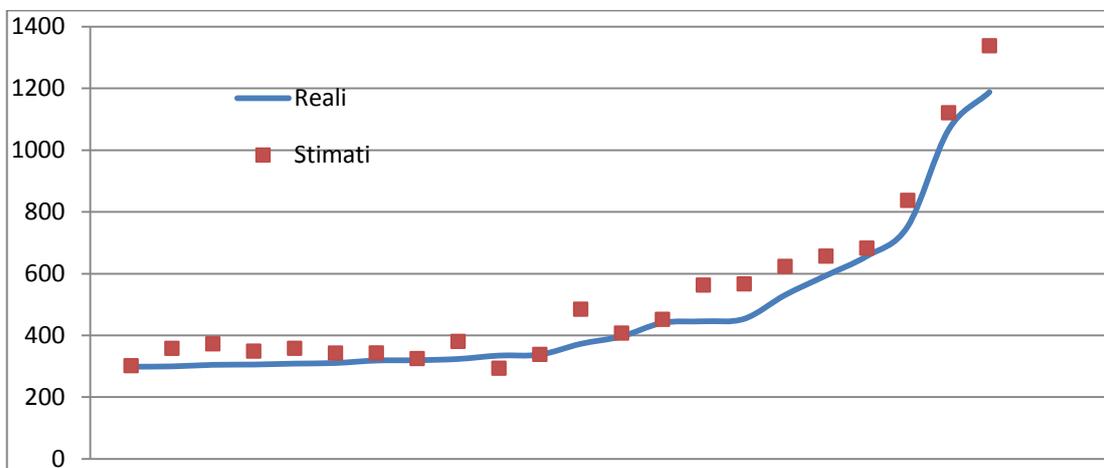


Figura 7.22 Stima degli spostamenti principali col metodo di Furness

La stima effettuata col metodo di Furness risulta valida anche dopo dieci anni.

Verificata l'applicabilità è necessario fare delle ipotesi per stimare i fattori di crescita da applicare alle singole righe e colonne della matrice.

La prima ipotesi, molto semplificativa, è stimare che gli incrementi percentuali di spostamenti generati e attratti da ogni zona siano pari agli incrementi percentuali rispettivamente degli occupati e degli addetti della zona stessa.

Ne derivano i seguenti risultati:

	2001		1991		Incrementi		a _i	b _j
	Occupati	Addetti	Occupati	Addetti	Occupati	Addetti		
Agazzano	772	1170	750	883	-2.85%	-24.53%	2.872	0.281
Alseno	2079	3417	1970	2804	-5.24%	-17.94%	2.355	0.346
Besenzone	449	242	471	243	4.90%	0.41%	2.728	0.375
Bettola	1222	1385	1322	1635	8.18%	18.05%	2.549	0.456
Bobbio	1348	1755	1385	1945	2.74%	10.83%	2.309	0.451
Borgonovo VT	2846	3757	2601	3444	-8.61%	-8.33%	2.010	0.436
Cadeo	2424	3455	2353	2957	-2.93%	-14.41%	2.627	0.324
Calendasco	1001	2105	932	2122	-6.89%	0.81%	2.722	0.355
Caminata	100	71	108	72	8.00%	1.41%	2.040	0.479
Caorso	1945	3029	1820	2781	-6.43%	-8.19%	2.733	0.322
Carpaneto Piac.	3029	3787	2727	3761	-9.97%	-0.69%	2.186	0.421
Castel S. Giov.	4966	7215	4787	7545	-3.60%	4.57%	2.028	0.484
Castell'Arquato	1885	1894	1796	2038	-4.72%	7.60%	2.092	0.486
Castelvetro Piac.	2093	2759	2015	2251	-3.73%	-18.41%	2.914	0.283
Cerignale	67	57	104	81	55.22%	42.11%	4.115	0.323
Coli	328	432	380	455	15.85%	5.32%	3.048	0.364
Corte Brugnatella	257	246	295	249	14.79%	1.22%	2.850	0.360
Cortemaggiore	1795	2590	1975	2484	10.03%	-4.09%	2.944	0.338
Farini	623	576	753	901	20.87%	56.42%	1.793	0.795
Ferriere	573	451	822	658	43.46%	45.90%	2.401	0.589
Fiorenzuola	5649	12491	5684	12359	0.62%	-1.06%	2.411	0.401
Gazzola	738	658	606	595	-17.89%	-9.57%	2.350	0.359
Gossolengo	1778	1948	1281	1628	-27.95%	-16.43%	2.247	0.309
Gragnano Treb.	1565	2019	1281	1326	-18.15%	-34.32%	2.563	0.251
Gropparello	859	1166	976	1173	13.62%	0.60%	3.061	0.342
Lugagnano VA	1718	2351	1622	1971	-5.59%	-16.16%	2.183	0.379
Monticelli	2120	2485	2127	2522	0.33%	1.49%	2.683	0.368
Morfasso	440	327	549	465	24.77%	42.20%	2.264	0.629
Nibbiano	982	1116	1029	1332	4.79%	19.35%	1.839	0.611
Ottone	174	274	247	225	41.95%	-17.88%	9.454	0.095
Pecorara	223	208	358	232	60.54%	11.54%	3.893	0.317
Piacenza	39873	90350	42787	78888	7.31%	-12.69%	3.400	0.279

Pianello Val T.	922	1316	843	1297	-8.57%	-1.44%	1.737	0.507
Piozzano	276	165	343	210	24.28%	27.27%	3.049	0.433
Podenzano	3298	9019	2878	6452	-12.73%	-28.46%	2.894	0.244
Ponte dell'Olio	1938	2739	1942	2545	0.21%	-7.08%	2.844	0.330
Pontenure	2315	4504	2131	4413	-7.95%	-2.02%	2.570	0.359
Rivergaro	2334	2405	1960	2007	-16.02%	-16.55%	2.572	0.309
Rottofreno	3892	6229	3381	4879	-13.13%	-21.67%	2.671	0.285
San Giorgio Piac.	2334	2154	1996	1882	-14.48%	-12.63%	2.453	0.338
San Pietro in Cerro	445	311	417	260	-6.29%	-16.40%	2.647	0.306
Sarmato	1088	1620	992	1500	-8.82%	-7.41%	2.207	0.406
Travo	756	434	716	503	-5.29%	15.90%	2.415	0.456
Vernasca	954	722	1022	1040	7.13%	44.04%	1.808	0.737
Vigolzone	1535	2423	1414	2097	-7.88%	-13.45%	2.793	0.306
Villanova	853	1389	852	1263	-0.12%	-9.07%	2.765	0.328
Zerba	27	41	38	53	40.74%	29.27%	7.070	0.189
Ziano Piacentino	1050	924	984	1090	-6.29%	17.97%	1.565	0.679

Tabella 7.52 Fattori di crescita pari all'incremento percentuale di occupati e addetti

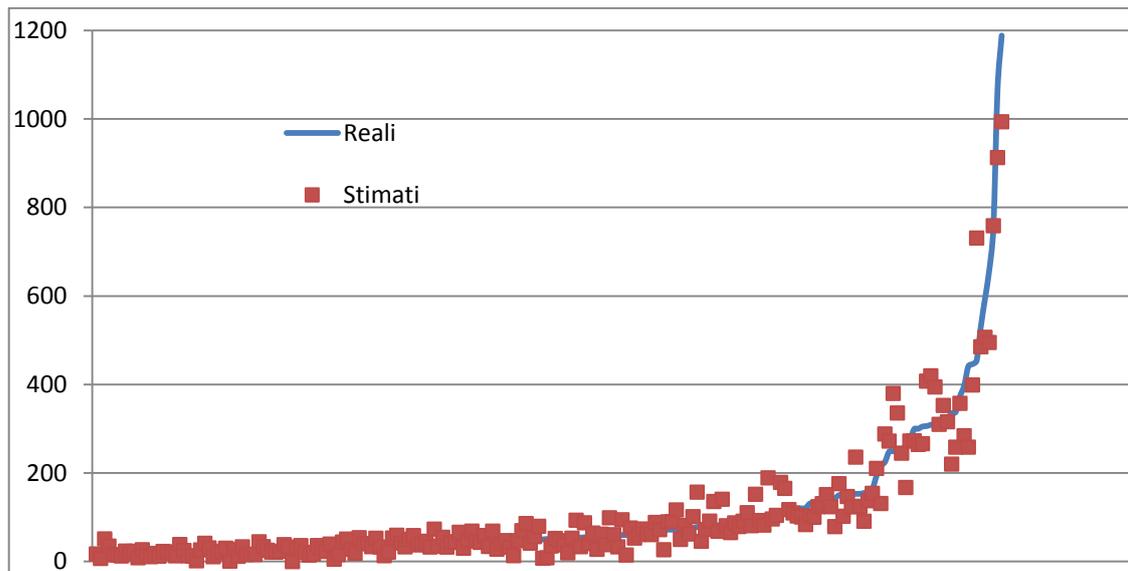


Figura 7.23 Stima degli spostamenti coi fattori di crescita ipotizzati

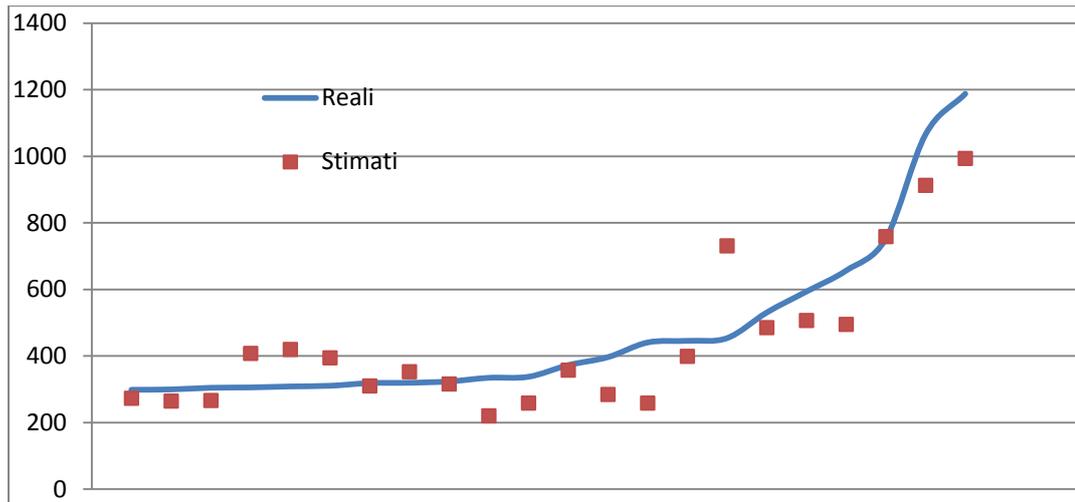


Figura 7.24 Stima degli spostamenti principali coi fattori di crescita ipotizzati

L'ipotesi fatta sugli incrementi è estremamente semplicistica, ma proprio per questa semplicità e per l'approssimazione che ne deriva, il metodo risulta dare una buona approssimazione. Tra tutti i metodi visti finora, questo è il più veloce, in quanto servono esclusivamente due dati per ogni comune, e non perde eccessivamente in efficacia.

Dato che le diverse categorie di lavoratori, come descrive Ricci in *“Tecnica ed economia dei Trasporti”*, contribuiscono in misura diversa alla generazione ed all'attrazione degli spostamenti, avendo a disposizione dei dati che permettano di distinguere le diverse categorie di occupati in ogni zona, si potrebbe rendere molto più preciso anche un metodo basato su ipotesi così semplici.

Il metodo proposto da Ortuzar e Willumsen richiede la conoscenza dei fattori di crescita: questi derivano ovviamente da una stima degli spostamenti generati e attratti da ogni zona che verranno confrontati con i corrispondenti spostamenti all'anno di base. Ipotizziamo che questa stima derivi direttamente dall'applicazione del modello calibrato in precedenza, dalla fase di generazione a quelle di distribuzione utilizzando la prima formulazione di ogni fase.

Si stima:

	τ_i	Γ_i	a_i	b_i
Agazzano	0.938	1.035	0.846	1.202
Alseno	0.851	1.069	0.813	1.194
Besenzone	1.359	2.795	1.102	2.562
Bettola	1.134	1.359	0.938	1.418
Bobbio	0.926	0.937	0.807	1.159
Borgonovo Val Tidone	0.851	0.882	0.817	1.052
Cadeo	1.000	1.159	0.954	1.194
Calendasco	0.827	1.127	0.800	1.235
Caminata	0.918	1.806	0.479	3.166
Caorso	0.924	0.884	1.038	0.846
Carpaneto Piacentino	0.908	0.950	0.869	1.070

Castel San Giovanni	0.901	0.874	0.884	0.996
Castell'Arquato	0.949	1.192	0.804	1.436
Castelvetro Piacentino	1.047	0.828	1.522	0.600
Cerignale	1.948	3.115	0.600	5.079
Coli	1.262	1.906	0.701	2.604
Corte Brugnatella	1.151	1.943	0.541	3.435
Cortemaggiore	1.097	1.013	1.219	0.887
Farini	1.589	1.844	1.150	1.593
Ferriere	2.544	2.586	1.723	1.615
Fiorenzuola d'Arda	1.005	0.767	1.196	0.719
Gazzola	0.795	0.920	0.752	1.158
Gossolengo	0.649	1.335	0.594	1.592
Gragnano Trebbiense	0.717	0.827	0.709	1.024
Gropparello	1.164	1.224	1.040	1.217
Lugagnano Val d'Arda	0.781	1.153	0.570	1.683
Monticelli d'Ongina	0.870	0.878	1.064	0.789
Morfasso	1.344	1.873	0.733	2.536
Nibbiano	0.809	0.877	0.771	1.070
Ottone	1.030	1.053	0.849	1.212
Pecorara	1.256	1.231	1.094	1.185
Piacenza	1.060	0.945	1.128	0.909
Pianello Val Tidone	0.963	0.825	0.974	0.921
Piozzano	1.483	1.612	1.196	1.464
Podenzano	0.866	0.893	0.898	0.939
Ponte dell'Olio	1.023	0.931	1.052	0.924
Pontenure	0.873	1.380	0.719	1.594
Rivergaro	0.842	1.026	0.778	1.216
Rottofreno	0.824	0.953	0.820	1.061
San Giorgio Piacentino	0.817	0.921	0.796	1.063
San Pietro in Cerro	0.696	1.453	0.637	1.724
Sarmato	0.796	1.091	0.692	1.362
Travo	1.002	1.680	0.703	2.219
Vernasca	1.068	1.290	0.771	1.712
Vigolzone	0.840	0.970	0.831	1.061
Villanova sull'Arda	0.942	0.791	1.301	0.647
Zerba	1.288	0.892	3.060	0.330
Ziano Piacentino	0.814	0.923	0.734	1.197

Tabella 7.53 Fattori di crescita in seguito all'utilizzo del modello

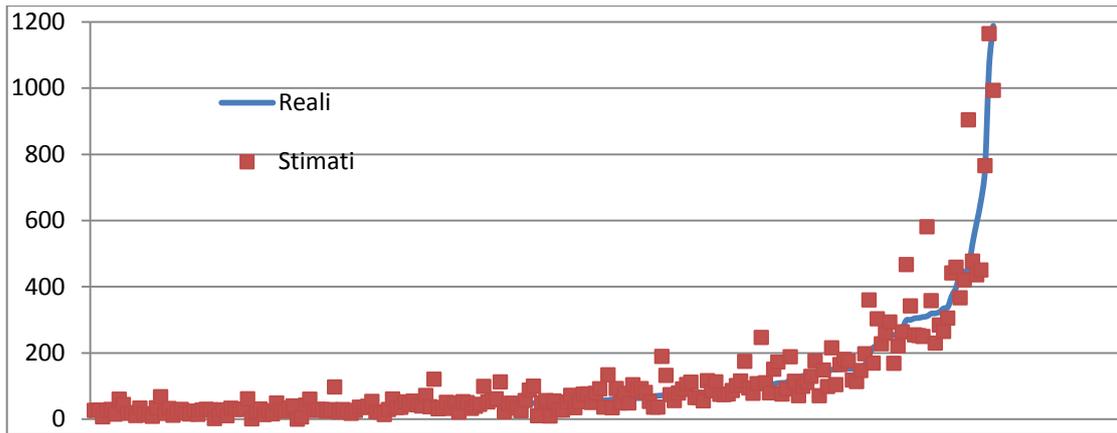


Figura 7.25 Stima degli spostamenti col metodo di Furness applicato in seguito al modello

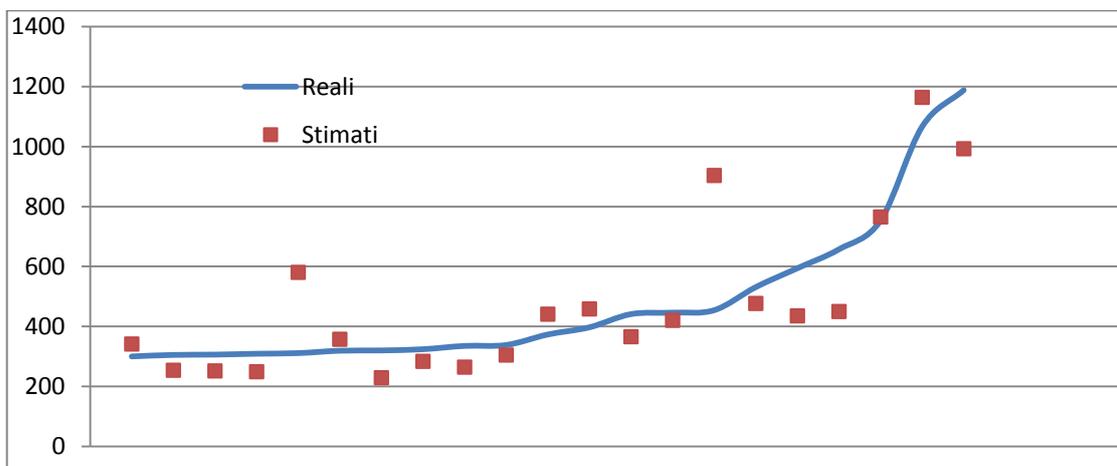


Figura 7.26 Stima degli spostamenti principali col metodo di Furness applicato in seguito al modello

Come si può vedere dai risultati ottenuti, a parte tre valori che si discostano significativamente dai corrispondenti reali, la stima risulta molto buona. Ovviamente un utilizzo di questo tipo del metodo di Furness, usato come metodo integrativo del modello precedente, comporta un utilizzo esclusivo di tutto il modello sul territorio di Piacenza.

A testimonianza del fatto che il problema risulta essere sempre il logit interno, si riportano anche i risultati di questo metodo ipotizzando di utilizzare la terza formulazione del logit interno al posto della prima:

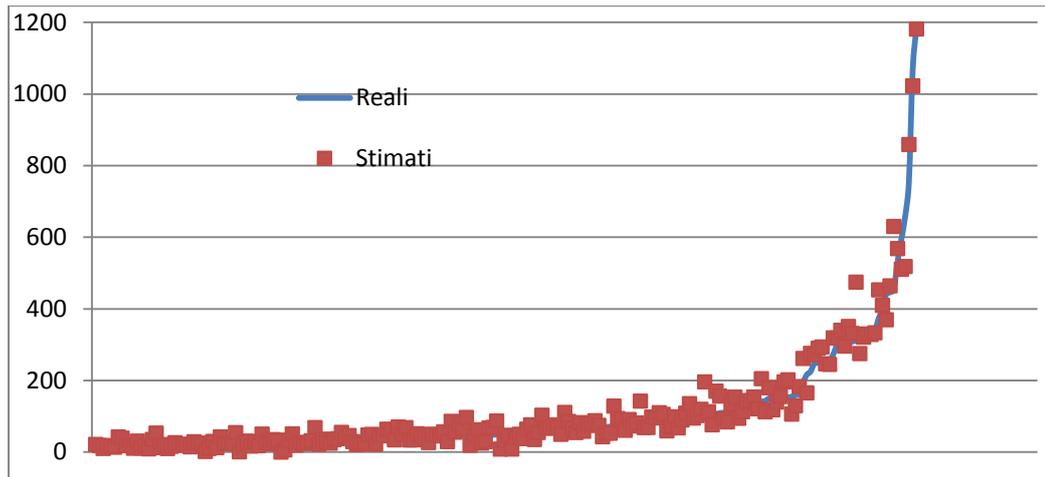


Figura 7.27 Stima degli spostamenti col metodo di Furness applicato in seguito al modello (terza formulazione del Logit Interno)

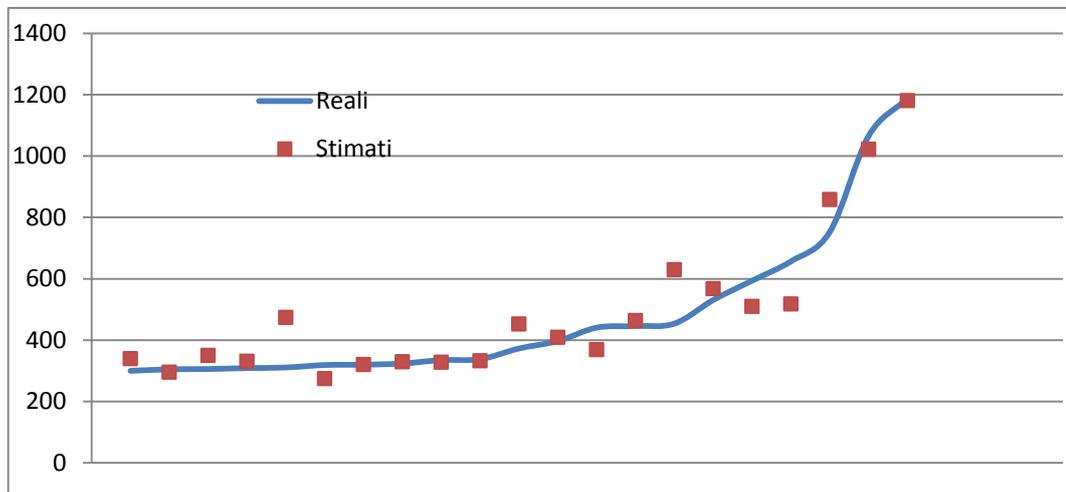


Figura 7.28 Stima degli spostamenti principali col metodo di Furness applicato in seguito al modello (terza formulazione del Logit Interno)

Dato che un metodo del genere sarebbe comunque utilizzabile esclusivamente sul territorio di Piacenza, l'utilizzo della terza formulazione del logit esterno, in cui si stimano due coefficienti per ogni zona, non influenza in alcun modo l'applicabilità del modello.

Una stima del genere rende il modello estremamente valido per il territorio considerato. Automaticamente, però, ne esclude la possibilità di utilizzo su altre zone di studio.

7.5 Conclusioni “Piacenza 2001 – Piacenza 1991”

Partendo dalla calibrazione effettuata per i comuni della provincia di Piacenza all’anno 2001, si può notare che il modello costruito è in generale molto valido perché gli spostamenti stimati si avvicinano molto a quelli reali. Di questa parte, la porzione della Generazione, del Logit Esterno e della Distribuzione danno risultati molto precisi, con errori limitati. La parte che introduce le maggiori approssimazioni è quella del Logit Interno, che stima spostamenti meno pertinenti, ma comunque sempre accettabili.

Nelle comuni formulazioni, come può essere un modello a quattro stadi, i modelli sono formati da una parte di Generazione e da una seguente di Distribuzione. Avendo a disposizione una maggiore quantità di dati si sarebbero potute caratterizzare meglio tutte le zone di destinazione, comprese le province esterne, e comprendendole direttamente nella fase di Distribuzione, ricorrendo quindi ad un modello composto essenzialmente da due uniche fasi.

L’introduzione di due passaggi aggiuntivi (Logit Esterno e Logit Interno) è stata resa obbligatoria per tre motivi:

- mancata conoscenza delle principali destinazioni esterne;
- mancanza di dati sufficientemente dettagliati per individuare le zone effettivamente attrattive per ogni zona d’origine;
- impossibilità di introdurre parametri per esprimere meglio i fattori d’impedimento tra le zone: per esempio sarebbero stati utili informazioni sui collegamenti presenti tra comuni appartenenti a province diverse.

In conclusione, mancando la possibilità di una maggiore caratterizzazione delle zone si è deciso di introdurre i due passaggi aggiuntivi per cercare di ovviare alla mancanza di dati.

Nelle fasi “comuni” alla formulazione di questi tipi di modelli (Generazione e Distribuzione) si sono ottenuti ottimi risultati.

Nelle due fasi “sperimentali” (Logit) si sono ottenuti buoni risultati. Nel Logit Esterno si sono ottenute ottime approssimazioni. Il Logit Interno dovrebbe essere sviluppato ulteriormente: gli ottimi risultati ottenuti nella Distribuzione spingono a pensare che, in mancanza di dati, l’utilizzo di un passaggio che possa dividere gli spostamenti intrazonali tra quelli diretti verso altri comuni della stessa provincia sia la soluzione ottimale.

L’introduzione di 3 diverse formulazioni per le fasi successive alla Generazione permette di avere diversi gradi di precisione e di utilizzo. Ogni formulazione ha una sua logica, nessuna delle 3 è meno valida di altre.

In linea pratica si può dire che le prime due formulazioni potrebbero essere utilizzate per studi e pianificazioni a livello provinciale, richiedendo al massimo l’utilizzo di una classificazione dei paesi molto semplice, chiara ed immediata. La terza formulazione, in cui ogni comune ha i suoi valori dei parametri β , potrebbe essere utilizzata per pianificazioni a livello locale, considerando pochi comuni alla volta e non richiedendo nessun eccessivo sforzo di individuazione dei coefficienti corretti.

Passando alla parte di validazione, effettuata tramite i comuni della provincia di Piacenza all'anno 1991, si sono seguiti fedelmente tutti i passaggi fatti nella calibrazione, usando i coefficienti ottenuti. Grazie ai risultati ottenuti dalla validazione, si può affermare che il modello costruito risulta essere molto efficace perché fornisce gli spostamenti stimati molto simili a quelli reali.

I risultati ottenuti nella fase di Generazione permettono di affermare che il modello, nella sua semplicità, risulta molto efficace. Molto probabilmente questo avviene anche perché la provincia di Piacenza non ha cambiato radicalmente le proporzioni tra le diverse categorie lavorative presenti al suo interno. Come scrive Stefano Ricci in *“Tecnica ed Economia dei Trasporti”*, ogni categoria lavorativa è caratterizzata da un proprio indice di mobilità, quindi un cambio radicale delle diverse categorie all'interno della stessa provincia porterebbe probabilmente il modello ad allontanarsi dai valori reali: anche questo è il motivo per cui i modelli devono comunque essere aggiornati. Visto però che un cambio così radicale richiederebbe molto tempo, il modello applicato sullo stesso territorio risulta molto efficace.

Queste osservazioni portano però a pensare che la fase di Generazione non possa essere applicata con la stessa efficacia su altre zone, a meno che non venga applicata a territori con le stesse caratteristiche nelle categorie lavorative. Ma questo si verificherà solo nella seconda parte dell'elaborato.

L'integrazione del modello col metodo di Furness permette un miglioramento della stima. Questo rimane comunque uno strumento che presenta dei limiti:

- non può essere utilizzato con l'applicazione di pochi valori come il modello precedente, ma si deve ogni volta sviluppare tutto il procedimento iterativo;
- risulta un passaggio aggiuntivo oltre a quelli già svolti per il modello stimato;
- eventuali errori nella matrice di partenza o nella stima dei totali attratti o generati da ogni zona, nel momento dell'espansione della matrice porterebbe automaticamente ad un'espansione degli errori;
- può essere utilizzato esclusivamente su territori che dispongono di una matrice di partenza ad un anno di riferimento.

Anche nella fase di validazione gli errori maggiori si riscontrano nella parte del Logit Interno, come è avvenuto per la calibrazione: nel seguente paragrafo, *Sviluppi Futuri*, si espongono dei suggerimenti per un'implementazione di questa parte.

7.5.1 Sviluppi Futuri “Piacenza 2001 – Piacenza 1991”

Il lavoro svolto ha come scopo la creazione di modelli che siano più semplici e più precisi possibili. Avendo a disposizione le matrici Origine/Destinazione risalenti al 2001 e al 1991, una grande difficoltà è stata quella di reperire i dati in entrambi gli anni che potessero descrivere compiutamente il territorio in funzione della finalità dell'analisi.

Potendo lavorare su matrici più recenti la caratterizzazione del territorio, attraverso dati più aggiornati, renderebbe il lavoro più dettagliato: questo non comporta necessariamente una maggiore precisione del modello, ma certo permetterebbe di provare nuove formulazioni.

Un esempio abbastanza immediato è la distanza su strada: nell'analisi precedente la distanza su strada è stata mantenuta costante nel passaggio dal 2001 al 1991. Come approssimazione può essere credibile e realistica: lavorando su matrici più recenti, però, si potrebbe caratterizzare meglio anche questo attributo, aggiornando le distanze.

Bisogna considerare che le distanze non devono essere considerate necessariamente su strada: la fase di generazione stabilisce tutti gli spostamenti che vengono generati da una zona, senza specificarne il mezzo di trasporto. La distanza tra due zone potrebbe essere considerata come quella più conveniente in termini di costo sia di tempo che monetario: lavorando su anni più recenti si avrebbero a disposizione informazioni riguardanti le strade, le ferrovie, eventuali TPL. Avendo a disposizione questi dati si potrebbe sviluppare una funzione di costo che rappresenti meglio della distanza l'impedimento che intercorre tra due zone.

Per quanto riguarda le strade si potrebbero avere a disposizione informazioni sullo stato del traffico giornaliero, il prezzo della benzina, la categoria delle diverse strade e la realizzazione di nuove infrastrutture.

Per quanto riguarda le ferrovie si potrebbero avere disponibili informazioni sulla frequenza delle linee ferroviarie, sulle tariffe, sulla velocità di percorrenza della linea ed eventuali nuove tratte servite. Allo stesso modo per i TPL.

Considerando che il modello di generazione sembra non aver bisogno di un maggior grado di dettaglio, tutte queste informazioni permetterebbero di elaborare sicuramente meglio la fase di distribuzione, permettendo una scelta più accurata della funzione di costo.

Un altro sviluppo che potrebbe portare ad un miglioramento del modello è una maggior caratterizzazione degli addetti nelle zone di destinazione: come visto nella fase di calibrazione della distribuzione, i manuali tecnici forniscono già dei valori per i coefficienti da applicare al modello gravitazionale per addetti e distanze. Questi valori vengono divisi per diverse tipologie di addetti.

La possibilità di raccogliere dati disaggregati permetterebbe di applicare ad ogni categoria i corrispondenti coefficienti, consentendo anche una prima stima delle aliquote dovute alle diverse tipologie di addetti.

Altri dati che potrebbero essere utilizzati sono:

- reddito medio di una zona;
- tasso di incremento della popolazione rispetto all'anno di calibrazione;
- tasso di incremento/decremento dell'occupazione rispetto all'anno di calibrazione.

I modelli appena sviluppati possono essere considerati un ottimo punto di partenza per cercare di incrementarne la precisione inserendo nuovi parametri e tentare una nuova calibrazione.

Ovviamente l'incremento del numero di parametri non permetterà più un utilizzo immediato: vista la precisione raggiunta si può affermare che le prime due formulazioni elaborate possono essere considerate un buono strumento per una prima stima.

Per quanto riguarda il logit interno, si può notare come sia la fase che introduce, in tutte le formulazioni, il maggior grado di approssimazione: un maggior dettaglio dei collegamenti tra i paesi della provincia permetterebbe di caratterizzare meglio l'utilità da inserire nel logit.

Anche un maggior dettaglio delle tipologie di imprese presenti sul territorio, del settore d'impiego dei lavoratori e del loro grado di specializzazione permetterebbe di individuare meglio le zone che risultano essere effettivamente maggiormente attrattive per ogni comune.

Come già sottolineato in precedenza, l'utilizzo dell'utilità sistematica proposta da Cascetta che comprende anche un fattore di numerosità n delle scelte porterebbe questo passaggio del modello ad essere molto complicato. Si sono fatti numerosi tentativi anche inserendo un fattore che potesse ricondurre al numero di alternative esterne che si andavano di volta in volta a considerare, ma non hanno portato a nessun tipo di miglioramento nei risultati.

		Addetti	Distanze	n	Stima
CASTEL SAN GIOVANNI	Intrazonale	7215	1200	0	50.72%
	Altro Comune	20576	14750	5	49.28%

Tabella 7.54 Esempio di Logit Interno con fattore di numerosità delle alternative

	Prima Formulazione	Fattore n	Reale
CASTEL SAN GIOVANNI	54.05%	50.72%	60.24%
	45.95%	49.28%	39.76%

Tabella 7.55 Confronto dei valori stimati con e senza il fattore di numerosità

Come già sottolineato nelle conclusioni, una quantità ed una qualità maggiore dei dati permetterebbe di ricorrere esclusivamente a due fasi: Generazione e Distribuzione.

Lo svolgimento di indagini che permettano di individuare al meglio anche le destinazioni principali appartenenti a province esterne, permetterebbe di creare un modello più completo e rigoroso. Le ipotesi introdotte nei due Logit, seppur logiche e realistiche, potrebbero aver influenzato in parte la precisione di questi due passaggi aggiuntivi.

Dato che l'obiettivo originario era l'implementazione di un modello di Generazione e di uno di Distribuzione, si può affermare che la precisione raggiunta in queste due fasi risulta ottimale.

Si può quindi concludere che i modelli calibrati ed utilizzati su uno stesso territorio sono strumenti molto validi, in grado di sostituire con efficacia le indagini per lunghi periodi.

Per i pochi dati a disposizione, è stata raggiunta una buona precisione della stima e il modello prodotto, come richiesto in partenza, risulta semplice, immediato e il più preciso possibile.

MODELLO DI STIMA DELLA DOMANDA PIACENZA 2001 – MANTOVA 1991

8. Introduzione

Con la prima parte di questa trattazione si è voluto dimostrare che i modelli di aggiornamento delle fasi di generazione e di distribuzione di una matrice Origine/Destinazione per la stessa provincia hanno una validità completa. Infatti, dopo aver calibrato il modello della provincia di Piacenza con i dati del 2001, si è realizzata la validazione sempre per la provincia di Piacenza con i dati aggiornati all'anno 1991. I risultati ottenuti hanno una precisione elevata poiché gli spostamenti stimati distano in maniera limitata da quelli reali, commettendo degli errori di bassissimo livello.

A questo punto si è voluto vedere se gli stessi modelli di aggiornamento potessero andare bene, oltre che per la stessa provincia in anni diversi, anche per province diverse con territori simili in anni differenti.

In questo caso si è sempre eseguita la calibrazione del modello sulla provincia di Piacenza con i dati aggiornati all'anno 2001 e si è provato a svolgere la validazione su una provincia territorialmente simile a quella di Piacenza. La scelta è ricaduta sulla provincia di Mantova, avendo a disposizione i suoi dati demografici - economici e la sua matrice Origine/Destinazione, entrambi aggiornati all'anno 1991.

Si ricorda che l'analisi è sempre stata realizzata per la mobilità quotidiana, determinata da ragioni di lavoro. Si sono studiati gli spostamenti originati dalla popolazione residente nelle suddette province, esclusi solo gli spostamenti verso l'estero, cioè fuori dal paese italiano.

Gli spostamenti quotidiani qui considerati sono quelli determinati dalla necessità di raggiungere il luogo di lavoro e non esauriscono tutti i flussi perché vengono esclusi gli spostamenti per studio, svago, turismo, commissioni, spese varie, ecc.. Tuttavia, proprio in ragione di tale specificità, sono estremamente utili per individuare i ruoli che i diversi comuni hanno all'interno della provincia di appartenenza.

8.1 La Provincia di Mantova

La provincia di Mantova è una provincia italiana della regione Lombardia. Confina a nord-est con la Provincia di Verona e a est con quella di Rovigo, entrambe nella regione Veneto, a sud con Ferrara, Modena, Reggio-Emilia e Parma (regione Emilia-Romagna), a ovest con la provincia di Cremona e a nord-ovest con quella di Brescia.

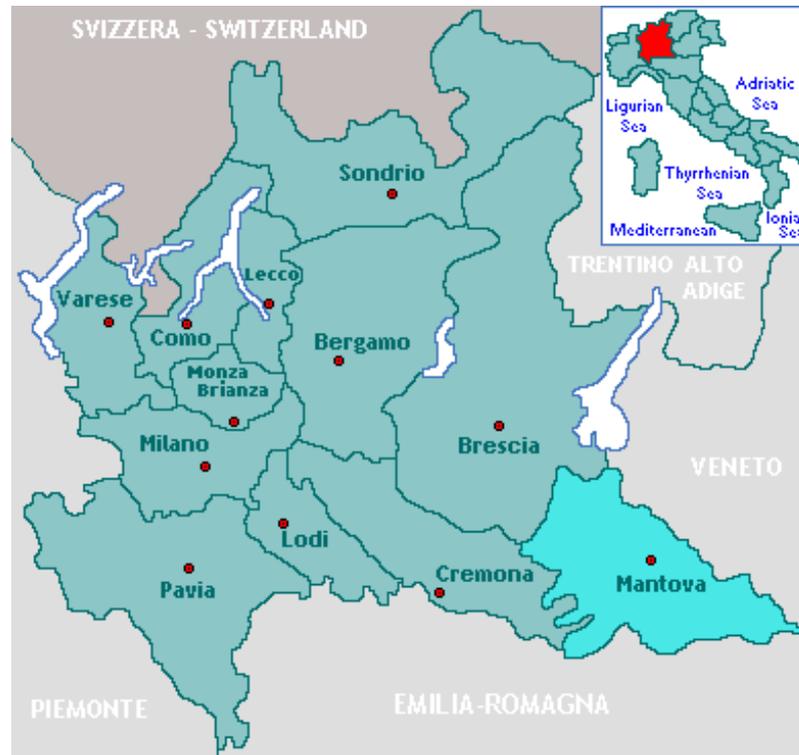


Figura 8.1 Cartina Provincia di Mantova

La provincia mantovana costituisce la propaggine sud-est della regione Lombardia, incuneata tra Veneto ed Emilia-Romagna, la cui forma sembra rassomigliante ad un triangolo rettangolo.

Il territorio della provincia di Mantova è prevalentemente pianeggiante; a nord è presente una zona collinare costituita dall'anfiteatro morenico del Lago di Garda degradante verso la Pianura Padana. L'area orientale a sinistra del Po è caratterizzata da una zona pianeggiante dolcemente ondulata, mentre la pianura a ridosso del Po, che sulla riva destra costituisce l'Oltrepò Mantovano, è totalmente piatta.

Caratteristica geografica peculiare è la ricchezza di acque. Diversi sono i fiumi che l'attraversano: il Po, il tratto finale dell'Oglio e del Chiese suo affluente, il tratto finale del Mincio, il tratto finale del Secchia, la parte nord-est della provincia rientra nel bacino del fiume Tione, affluente di destra del Tartaro che raccoglie le acque di risorgiva (detti fontanili) di quell'area. Il Mincio attorno a Mantova crea dei laghi (Laghi di Mantova), unici laghi di rilievo estesi interamente in Pianura Padana. Moltissimi sono i canali, dedicati all'irrigazione o alla bonifica.

Appartengono alla provincia di Mantova i seguenti 70 comuni, visualizzati nella cartina sottostante:

Acquanegra sul Chiese	Gazzuolo	Revere
Asola	Goito	Rivarolo Mantovano
Bagnolo San Vito	Gonzaga	Rodigo
Bigarello	Guidizzolo	Roncoferraro
Borgoforte	Magnacavallo	Roverbella
Borgofranco sul Po	Mantova	Sabbioneta
Bozzolo	Marcaria	San Benedetto Po
Canneto sull'Oglio	Mariana Mantovana	San Giacomo delle Segnate
Carbonara di Po	Marmiolo	San Giorgio di Mantova
Casalmoro	Medole	San Giovanni del Dosso
Casaloldo	Moglia	San Martino dall'Argine
Casalromano	Monzambano	Schivenoglia
Castel d'Ario	Motteggiana	Sermide
Castel Goffredo	Ostiglia	Serravalle a Po
Castelbelforte	Pegognaga	Solferino
Castellucchio	Pieve di Coriano	Sustinente
Castiglione delle Stiviere	Piubega	Suzzara
Cavriana	Poggio Rusco	Viadana
Ceresara	Pomponesco	Villa Poma
Commessaggio	Ponti sul Mincio	Villimpenta
Curtatone	Porto Mantovano	Virgilio
Dosolo	Quingentole	Volta Mantovana
Felonica	Quistello	
Gazoldo degli Ippoliti	Redondesco	

Tabella 8.1 Comuni della Provincia di Mantova



Figura 8.2 Cartina dei Comuni della Provincia di Mantova

9. Dati a disposizione

Come per la provincia di Piacenza, anche per quella di Mantova si hanno a disposizione gli stessi dati, ovvero la matrice Origine/Destinazione, i dati demografici ed economici e le distanze.

Per quanto riguarda la matrice Origine/Destinazione della provincia di Mantova, si possiede quella aggiornata all'anno 1991, inerente agli spostamenti quotidiani per motivi di lavoro, impostata come quella rappresentante la provincia di Piacenza.

Per i dati demografici ed economici, come per la provincia di Piacenza, anche per quella di Mantova, si è riuscito a trovare gli elementi di cui si necessita per applicare il modello. Questi dati sono:

- Popolazione;
- Superficie;
- Densità Abitativa;
- Occupati Residenti (ALLEGATO 2);
- Imprese Presenti;
- Addetti (ALLEGATO 2).

Per quanto concerne le distanze, queste sono state ricavate anche per tutta la provincia di Mantova, sempre distinguendo le due tipologie:

- distanza in linea d'aria tra tutti i comuni;
- distanza stradale tra tutti i comuni (ALLEGATO 3).

Anche in questo caso le distanze più attendibili sono quelle stradali perché rappresentano a pieno la realtà a differenza di quelle in linea d'aria che approssimano grossolanamente cosa avviene nella pratica degli spostamenti pendolari. La figura sottostante chiarirà meglio ogni dubbio.

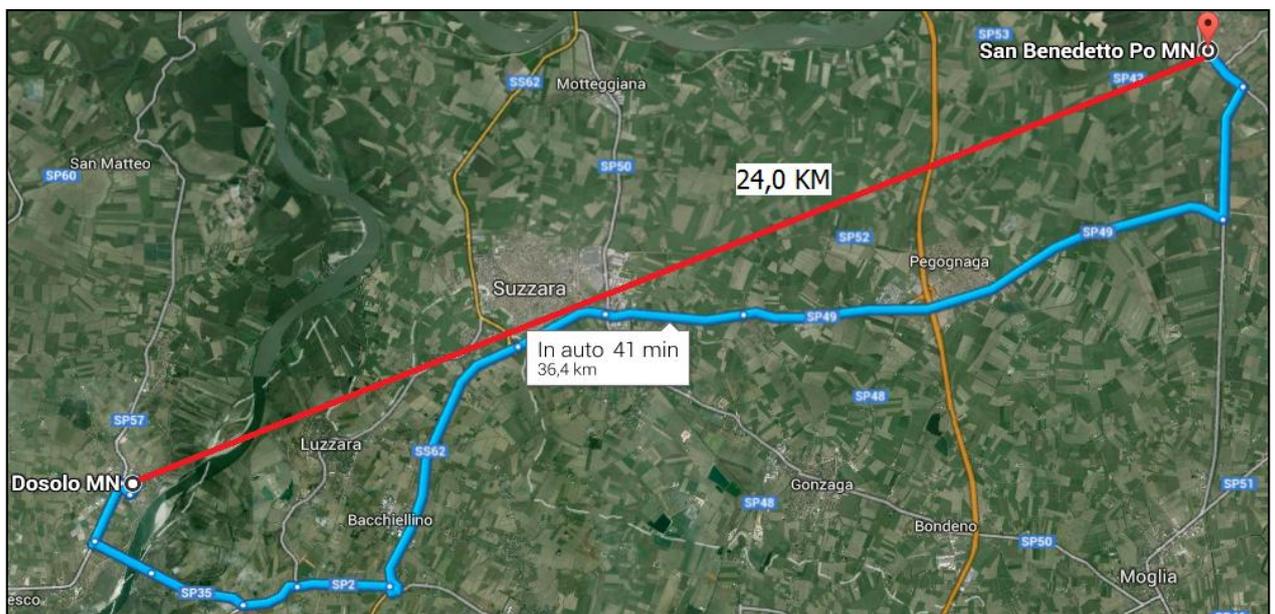


Figura 9.1 Esempio del Confronto tra distanze in linea d'aria e distanze stradali

10. Modello di Generazione

Per quanto concerne la calibrazione del modello di Generazione, si usa quello già utilizzato nella parte precedente “modello di stima della domanda: Piacenza 2001 – Piacenza 1991”.

10.1 Divisione in Classi

Si usufruisce dello stesso modello, considerando la stessa suddivisione in classi in base al numero di occupati residenti in ogni comune, ovvero:

- Classe 1: n° occupati < 400;
- Classe 2: 400 < n° occupati < 2500;
- Classe 3: n° occupati > 2500.

Nel caso della provincia di Mantova, di ogni classe vengono riportati in tabella i comuni appartenenti e vengono visualizzati sulla cartina i comuni presi in considerazione.

10.1.1 Classe 1

Classe	Comuni	Occupati
1	Mariana Mantovana	239
1	Pieve di Coriano	344
1	Borgofranco sul Po	372

Tabella 10.1 Comuni della Prima Classe

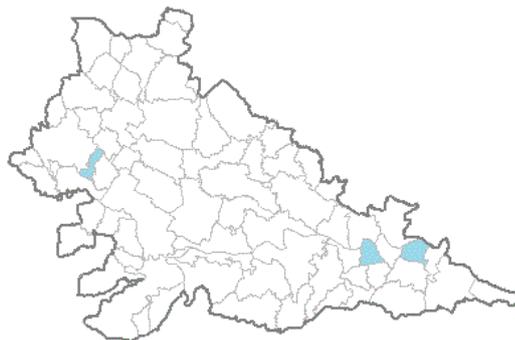


Figura 10.1 Comuni della Prima Classe

10.1.2 Classe 2

Classe	Comuni	Occupati
2	Commessaggio	472
2	Quingentole	517
2	Schivenoglia	537
2	Carbonara di Po	543
2	San Giovanni del Dosso	559
2	Redondesco	571
2	Casalromano	578
2	Pomponesco	616
2	Serravalle a Po	667
2	Piubega	700
2	Felonica	748
2	Ponti sul Mincio	771
2	Motteggiana	777
2	Casalmoro	782
2	San Giacomo delle Segnate	785
2	San Martino dall'Argine	795
2	Magnacavallo	799
2	Bigarello	805
2	Villa Poma	891
2	Sustinente	929
2	Villimpenta	932
2	Casaloldo	935
2	Solferino	979
2	Gazzuolo	1061
2	Rivarolo Mantovano	1098
2	Gazoldo degli Ippoliti	1102
2	Ceresara	1104
2	Revere	1122
2	Castelbelforte	1167
2	Acquanegra sul Chiese	1220
2	Borgoforte	1404
2	Dosolo	1410
2	Medole	1533
2	Cavriana	1662
2	Castel d'Ario	1691
2	Monzambano	1735
2	Bozzolo	1854
2	Sabbioneta	1920
2	Rodigo	2015
2	Canneto sull'Oglio	2057
2	Castellucchio	2217
2	Guidizzolo	2221
2	Bagnolo San Vito	2244
2	Moglia	2380

Tabella 10.2 Comuni della Seconda Classe

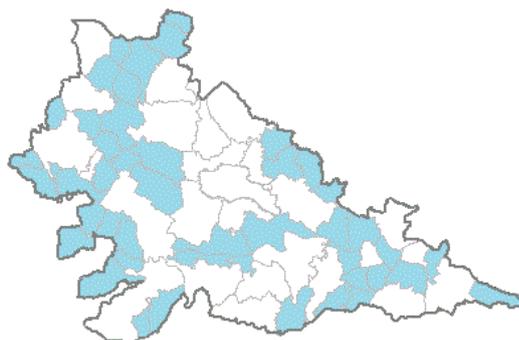


Figura 10.2 Comuni della Seconda Classe

10.1.3 Classe 3

Classe	Comuni	Occupati
3	Volta Mantovana	2606
3	Poggio Rusco	2644
3	San Giorgio di Mantova	2650
3	Quistello	2675
3	Pegognaga	2758
3	Ostiglia	2807
3	Roncoferraro	2868
3	Sermide	2958
3	Marcaria	3032
3	Marmirolo	3040
3	San Benedetto Po	3127
3	Roverbella	3260
3	Gonzaga	3316
3	Asola	3848
3	Goito	4133
3	Castel Goffredo	4220
3	Virgilio	4307
3	Curtatone	4588
3	Porto Mantovano	5611
3	Viadana	7189
3	Suzzara	7494
3	Castiglione delle Stiviere	7901
3	Mantova	22406

Tabella 10.3 Comuni della Terza Classe

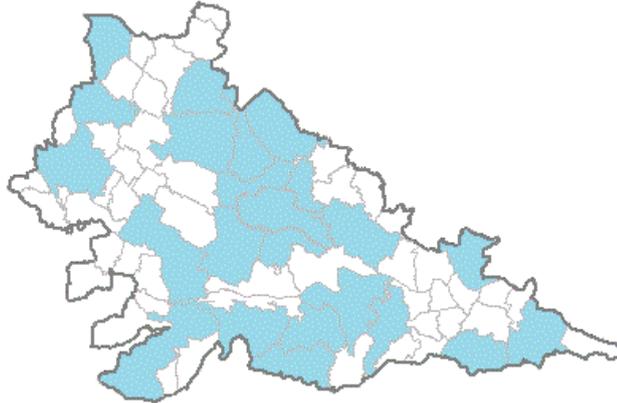


Figura 10.3 Comuni della Terza Classe

10.2 Applicazione Generazione Mantova 1991

A questo punto, avendo a disposizione il modello calibrato con i dati della provincia di Piacenza aggiornati all'anno 2001 e avendo diviso i comuni mantovani nelle 3 classi soprastanti in base al numero di occupati residenti in ogni comune, si può utilizzare il modello, prestando attenzione al fatto che ogni classe avrà i suoi coefficienti β e k .

Una volta calibrato il modello di Generazione per la provincia di Piacenza all'anno 2001, si applica alla provincia di Mantova all'anno 1991 per controllare quanto sia efficace e realistico per territori simili fra loro. Usando i coefficienti β e k calibrati e il modello costruito, si ricavano gli spostamenti stimati della provincia di Mantova all'anno 1991 che possono essere confrontati con i movimenti reali che provengono dalla matrice Origine/Destinazione sempre dell'anno 1991.

Di ogni classe si riportano in tabella gli spostamenti stimati e gli spostamenti reali per ogni comune appartenente alla propria categoria.

Si riporta, anche, un grafico in cui in ordinata viene rappresentato il numero degli spostamenti di ogni singolo comune mantovano, mentre in ascissa il valore del dato demografico, cioè il numero di occupati, dello stesso comune. Nel grafico è presente in rosso la retta di tendenza appartenente alla calibrazione fatta per la provincia di Piacenza all'anno 2001.

Si inserisce, anche, una tabella in cui si ricordano i valori dei coefficienti β e k per ogni classe e si ricalcola il valore del coefficiente di determinazione R^2 , che indica la bontà del modello.

10.2.1 Classe 1

Comuni	Spost. Reali	Spost. Stimati
Borgofranco sul Po	196	237
Mariana Mantovana	135	150
Pieve di Coriano	207	219

Tabella 10.4 Risultati Generazione Prima Classe

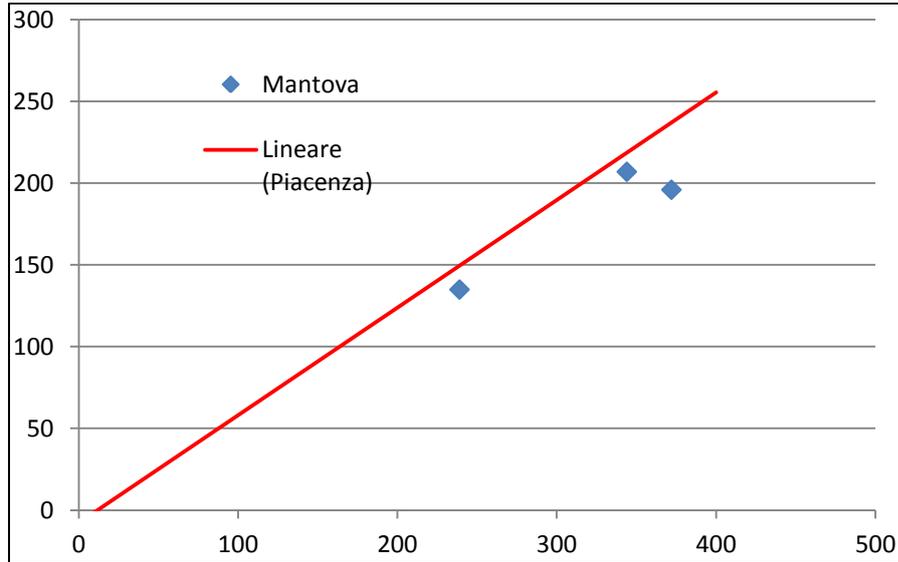


Figura 10.4 Confronto Generazione Mantova/Piacenza Prima Classe

Classe 1	
β	0.6579
k	-7.6591
R^2	0.7069

Tabella 10.5 Coefficienti Generazione Prima Classe

10.2.2 Classe 2

Comuni	Spost. Reali	Spost. Stimati
Acquanegra sul Chiese	797	940
Bagnolo San Vito	1459	1835
Bigarello	564	578
Borgoforte	953	1101
Bozzolo	1373	1495
Canneto sull'Oglio	1476	1672
Carbonara di Po	345	349
Casalmoro	660	558
Casaloldo	597	691
Casalromano	435	379
Castel d'Ario	1253	1352

Castelbelforte	787	894
Castellucchio	1672	1812
Cavriana	1064	1327
Ceresara	702	839
Commessaggio	314	287
Dosolo	1037	1106
Felonica	509	528
Gazoldo degli Ippoliti	811	837
Gazzuolo	600	802
Guidizzolo	1595	1815
Magnacavallo	449	573
Medole	1094	1214
Moglia	1528	1954
Monzambano	1234	1391
Motteggiana	510	553
Piubega	427	486
Pomponesco	403	413
Ponti sul Mincio	506	548
Quingentole	313	326
Redondesco	336	373
Revere	831	855
Rivarolo Mantovano	720	834
Rodigo	1340	1635
Sabbioneta	1077	1552
San Giacomo delle Segnate	498	560
San Giovanni del Dosso	316	363
San Martino dall'Argine	629	569
Schivenoglia	328	344
Serravalle a Po	441	457
Solferino	623	730
Sustinente	642	686
Villa Poma	714	653
Villimpenta	599	689

Tabella 10.6 Risultati Generazione Seconda Classe

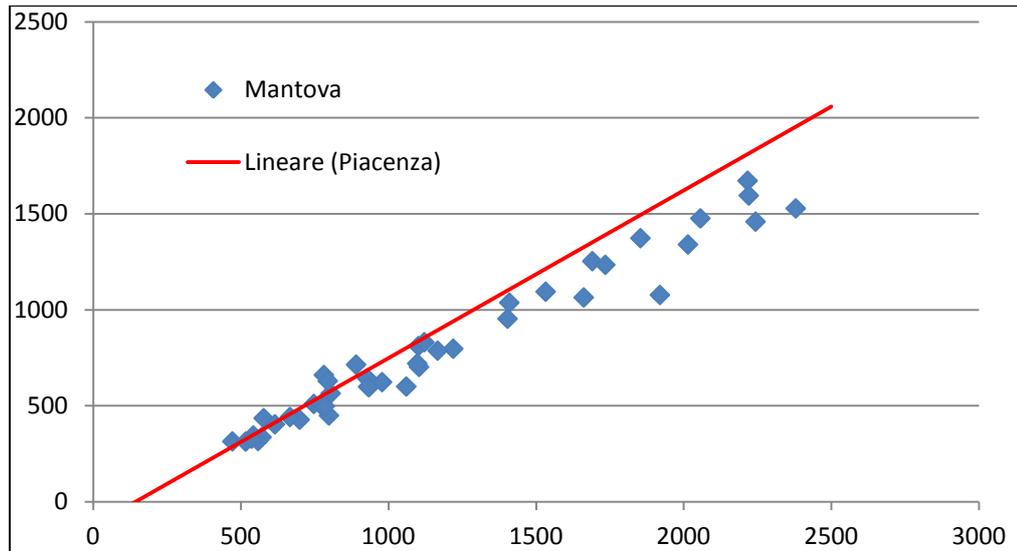


Figura 10.5 Confronto Generazione Mantova/Piacenza Seconda Classe

Classe 2	
β	0.8739
k	-125.7
R^2	0.6610

Tabella 10.7 Coefficienti Generazione Seconda Classe

10.2.3 Classe 3

Comuni	Spont. Reali	Spont. Stimati
Asola	2754	3218
Castel Goffredo	3486	3530
Castiglione delle Stiviere	6511	6612
Curtatone	3524	3838
Goito	2836	3457
Gonzaga	2298	2772
Mantova	19012	18758
Marcaria	1990	2535
Marmirolo	2227	2541
Ostiglia	2058	2346
Pegognaga	1874	2305
Poggio Rusco	1958	2210
Porto Mantovano	4862	4694
Quistello	1578	2236
Roncoferraro	2151	2397
Roverbella	2156	2726
San Benedetto Po	2016	2614
San Giorgio di Mantova	2056	2215

Sermide	2031	2473
Suzzara	5897	6271
Viadana	5153	6016
Virgilio	3645	3602
Volta Mantovana	1784	2178

Tabella 10.8 Risultati Generazione Terza Classe

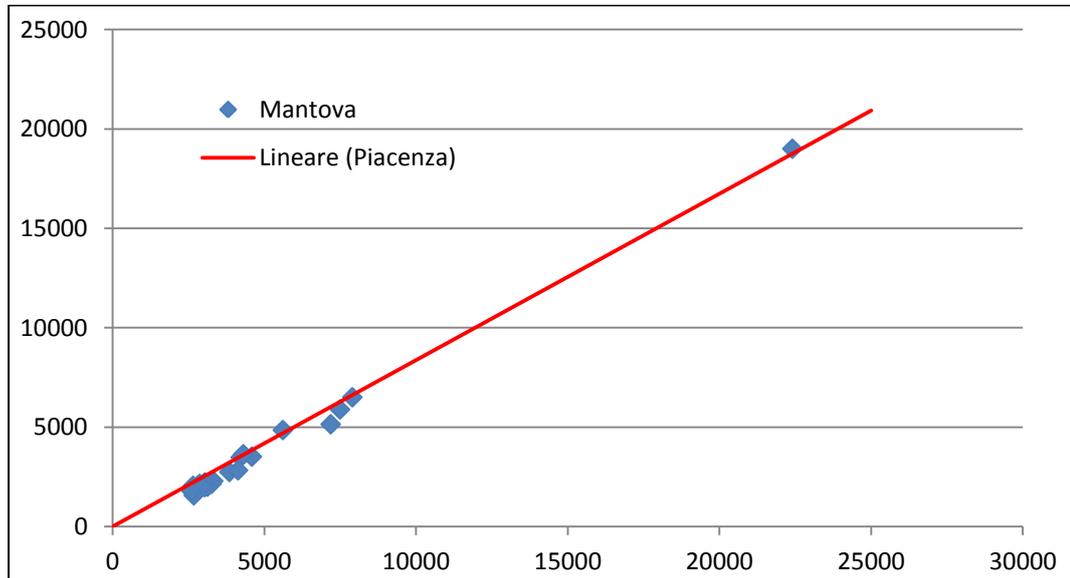


Figura 10.6 Confronto Generazione Mantova/Piacenza Terza Classe

Classe 3	
β	0.8374
k	-4.3231
R^2	0.9261

Tabella 10.9 Coefficienti Generazione Terza Classe

10.2.4 Risultati Applicazione Generazione Mantova 1991

Come si può notare dalle tabelle e dai grafici precedenti, l'applicazione effettuata nella provincia di Mantova aggiornata all'anno 1991 non è molto valida.

Infatti, prendendo come parametro di bontà del modello il coefficiente di determinazione R^2 , si nota che gli spostamenti stimati per le classi 1 e 2 sono molto diversi rispetto a quelli reali. Solo per la classe 3 si ha un R^2 che si avvicina parecchio al valore 1.

Questi risultati poco soddisfacenti sono facilmente giustificabili.

Innanzitutto, non bisogna dimenticare che, anche in questo caso, la calibrazione è stata eseguita all'anno 2001, mentre l'applicazione all'anno 1991: 10 anni di differenza sono parecchi

perché ogni singolo comune in questo intervallo di tempo può essere radicalmente cambiato, soprattutto dal punto di vista degli occupati residenti.

Successivamente, va tenuto in considerazione il fatto che la calibrazione è stata fatta sulla provincia di Piacenza, mentre l'applicazione su quella di Mantova. Le due province sono molto simili tra loro per territorio, posizione, economia, dimensione, gravitazione sul capoluogo. Questa similitudine, però, per quanto possa essere marcata, non potrà mai essere considerata una piena uguaglianza, quindi gran parte della differenza tra spostamenti reali e spostamenti stimati dal modello è da rapportare a questo fatto.

Come già anticipato nelle osservazioni sul modello di Generazione della provincia di Piacenza, tale modello potrebbe essere applicato solo a territori aventi le stesse proporzioni tra le diverse categorie lavorative al suo interno.

Come sottolineato da Stefano Ricci in *“Tecnica ed Economia dei Trasporti”*, ogni categoria di lavoratori incide diversamente sugli spostamenti totali. Il fatto di non avere a disposizione dati con questo grado di disaggregazione non permette di elaborare un modello che tenga conto del contributo delle diverse categorie. Una qualità simile nei dati permetterebbe di calibrare un modello che stimi gli effettivi indici di mobilità di ogni categoria evitando di inserire la costante k , che per la seconda classe risulta molto elevata, nella regressione lineare.

Quindi uno dei possibili motivi della mancata applicabilità sul territorio della provincia di Mantova potrebbe essere una diversa proporzione delle diverse categorie lavorative all'interno dei due territori considerati.

11. Il Modello di Distribuzione

La finalità del modello di distribuzione è l'applicabilità su territori diversi da quello di calibrazione: si vuole verificare se un modello calibrato su una zona di studio sia applicabile a zone territorialmente simili.

11.1 Applicazione Distribuzione “Piacenza 2001 - Piacenza 1991”

Avendo già calibrato e validato con successo il modello di distribuzione “Piacenza 2001 - Piacenza 1991”, la cosa più spontanea da fare è quella di applicarlo alla provincia di Mantova aggiornata all'anno 1991 per vedere se tale modello può essere valido anche per territori simili.

La prima cosa da notare è che non si presenta il problema di Milano, come avveniva per la provincia di Piacenza, quindi verranno considerate solo le province confinanti:

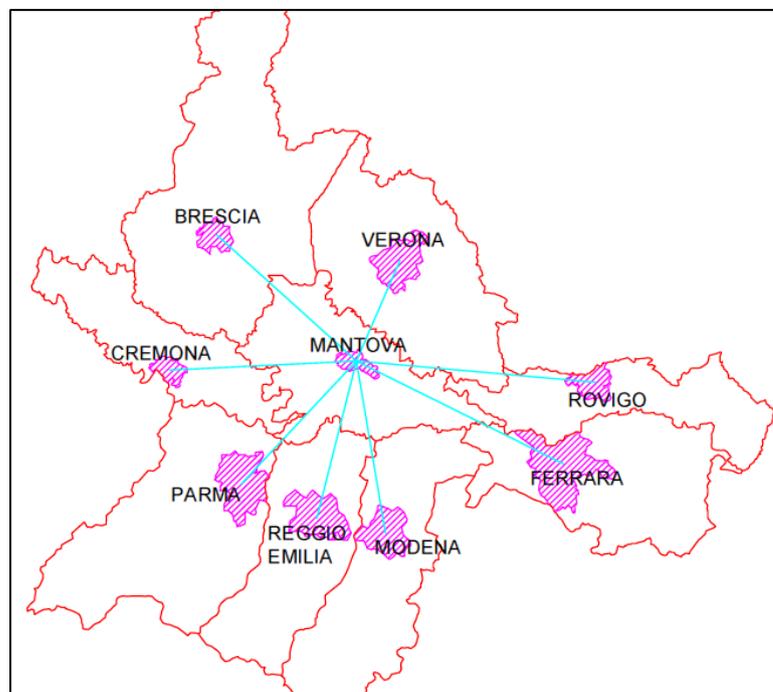


Figura 11.1 Mantova e le sue province confinanti

Dopo questa osservazione, nasce il problema della scelta delle destinazioni principali per ogni zona d'origine, passo iniziale su cui si basano i due logit. A questo proposito si possono fare diverse ipotesi.

Per quanto riguarda il logit esterno si decide di mantenere l'ipotesi dei 50 km giornalieri percorsi dai pendolari, quindi si tengono come destinazioni esterne i paesi che distano massimo 25 km su strada. Per quanto concerne le principali destinazioni interne, non potendo conoscerle a priori, si decide di applicare la stessa ipotesi appena citata, mantenendo quindi una distanza su strada di 25 km anche per le destinazione interne alla provincia.

Durante l'analisi della provincia di Piacenza, si è notato come il capoluogo non rispetti necessariamente queste ipotesi: un grande potere di attrazione e la possibilità di un maggior numero di collegamenti, porta gli utenti a percorrere anche maggiori distanze per raggiungere il capoluogo.

Come primo tentativo, si decide quindi di utilizzare il modello di distribuzione calibrato per "Piacenza 2001 – Piacenza 1991", inserendo per la provincia di Mantova le seguenti ipotesi:

- destinazioni principali esterne alla provincia: paesi che distano massimo 25 km su strada;
- destinazioni principali interne alla provincia: paesi che distano massimo 25 km su strada aggiungendo anche il capoluogo di provincia, Mantova.

Si ipotizza tutto ciò, senza dimenticare che i coefficienti β , che verranno usati per stimare gli spostamenti della provincia di Mantova, provengono da una calibrazione della provincia di Piacenza effettuata usando, al posto delle destinazioni interne inferiori ai 25 km, le destinazioni principali interne che derivano dalla matrice Origine/Destinazione.

Si comprende che questa ipotesi sia molto forte e soprattutto poco rigorosa, perciò, a prescindere dalla bontà dei risultati che si otterranno, si decide che l'applicazione del modello di distribuzione "Piacenza 2001 – Piacenza 1991" deve limitarsi alla provincia di Piacenza, senza essere attuata per altre province simili, come quella di Mantova, perché in quel caso verrebbe considerata sbagliata poiché le forze in gioco sono diverse.

A tal proposito, si pensi al comune di Felonica in provincia di Mantova che è molto più vicino al capoluogo di provincia, Ferrara, rispetto al capoluogo mantovano. Però, secondo l'impostazione di questo modello, il comune di Mantova verrà preso in considerazione nell'analisi poiché è il capoluogo di provincia del territorio considerato, mentre Ferrara non verrà analizzato poiché dista più di 25 km su strada da Felonica. Tutto ciò dimostra che questo modello non può essere applicato a province diverse da quella di Piacenza perché distorce la realtà.

Per completezza, si decide di riportare alcuni risultati di questa applicazione poco veritiera sulla provincia di Mantova.

Si è usufruito solo della Prima Formulazione del Logit Esterno e del Logit Interno, ovvero solamente di due coefficienti (addetti e distanze) per tutti i comuni della provincia.

11.1.1 Logit Esterno

Si riportano solo i risultati dei primi 3 comuni della provincia di Mantova:

ACQUANEGRA SUL CHIESE	Comuni	Addetti	Distanze	Stima	Reali	
	Interno	115853	14309	m	87.04%	91.72%
	Esterno	25073	18179	m	12.96%	8.28%

ASOLA	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reali
	Interno	132733	15447	m	85.94%	91.39%
	Esterno	44088	18388	m	14.06%	8.61%

BAGNOLO SAN VITO	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reali
	Interno	140113	17861	m	94.13%	97.67%
	Esterno	7842	23500	m	5.87%	2.33%

Tabella 11.1 Esempio Applicazione Logit Esterno modello “Piacenza 2001/Piacenza 1991”

Osservando i risultati si può notare che non si raggiunge la precisione del logit esterno del modello di Piacenza: un inconveniente che poteva essere anche prevedibile in quanto cambiano le condizioni in cui il logit viene applicato.

In primo luogo, la zona di calibrazione e la zona di applicazione sono diverse: questo spiega il fatto che ci si avvicina alla stima corretta, ma difficilmente si raggiunge un valore ottimale.

In secondo luogo, se si osservano attentamente i risultati, si potrà notare come la stima degli spostamenti che hanno origine e destinazione interni alla provincia risulti sempre più bassa dei valori reali: questo potrebbe essere spiegato con la mancata considerazione di alcuni territori effettivamente attrattivi per le singole origini all'interno della provincia, o con una selezione di un numero eccessivo di comuni esterni. Tutto questo è conferma della non-applicabilità di questo modello a province non coincidenti con quella di Piacenza.

Ovviamente la causa potrebbe anche essere una errata formulazione del modello, che potrebbe non adattarsi bene alla situazione reale. Nel caso della provincia di Piacenza, però, il logit esterno dava risultati molto buoni, soprattutto per i paesi di grandi dimensioni, quindi si ritiene che il motivo sia da ricercare nella selezione delle destinazioni interne ed esterne.

11.1.2 Logit Interno

Ricordando che si continuano ad usare i valori calibrati sulla provincia di Piacenza al 2001, si riportano solo i risultati dei primi 3 paesi della provincia di Mantova:

ACQUANEGRA SUL CHIESE	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reali
	Intrazonale	2012	1300	m	47.85%	58.41%
	Altro Comune	113841	14929	m	52.15%	41.59%

ASOLA	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reali
	Intrazonale	6501	1500	m	47.68%	71.91%
	Altro Comune	126232	16082	m	52.32%	28.09%

BAGNOLO SAN VITO	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reali
	Intrazonale	2697	2800	m	45.96%	42.25%
	Altro Comune	137416	18464	m	54.04%	57.75%

Tabella 11.2 Esempio Applicazione Logit Interno modello “Piacenza 2001/Piacenza 1991”

Anche in questo caso i risultati ottenuti sono molto poco soddisfacenti. Le cause potrebbero essere le stesse elencate per il logit precedente.

Tutto ciò conferma il fatto che il modello di distribuzione “Piacenza 2001 – Piacenza 1991” debba essere applicato solo alla medesima provincia, non a province simili come quella di Mantova, poiché non si conoscono a priori le sue destinazioni principali. Questa mancanza, seppur possa essere superata con ipotesi forti e razionali, è sicuramente una grossa fonte di errore, come dimostrano i risultati ottenuti.

11.2 Ricalibrazione dei Logit

Per come sono stati pensati, i modelli calibrati in precedenza non sono utilizzabili su territori diversi da quelli della provincia di Piacenza perché non sono più utilizzabili le ipotesi di partenza con cui sono stati elaborati i due logit, esterno ed interno.

Nel modello realizzato per Piacenza si presuppone la conoscenza, all’interno della zona di studio, delle principali destinazioni per ciascuna origine, disponendo di una matrice Origine/Destinazione di partenza.

Dovendo applicare il modello su un territorio diverso da quello della provincia di Piacenza e di cui non si dispone di una matrice delle osservazioni, è necessario cercare di generalizzare le ipotesi di partenza dei due logit.

Non potendo disporre di osservazioni dirette sul territorio di Mantova, non è possibile conoscere per ogni comune le destinazioni principali interne alla provincia. Fare delle ipotesi a priori su quelle che potrebbero essere le zone maggiormente attrattive è risultato azzardato e probabilmente errato.

Bisogna, quindi, seguire un’altra via che vada bene per territori simili.

Se per la provincia di Piacenza, il capoluogo risultava essere un grande polo attrattore, nettamente più grande di tutti gli altri comuni, nel territorio della provincia di Mantova non è così. Sul territorio si trovano altri comuni di dimensioni considerevoli che potrebbero attrarre gli spostamenti. Per evidenziare questo aspetto si riportano i seguenti dati:

	Addetti		Addetti
Piacenza	90350	Mantova	60764
Fiorenzuola d'Arda	12491	Castiglione delle Stiviere	16988
		Viadana	13860
		Suzzara	12547

Tabella 11.3 Confronto Piacenza/Mantova per comuni con più di 10.000 addetti

Nel territorio di Piacenza l'unico comune che supera i 10.000 addetti è Fiorenzuola d'Arda. Nella provincia di Mantova, invece, i comuni che superano questo valore sono 3 e, mediamente, all'interno del territorio i comuni hanno un numero di addetti maggiore rispetto ai comuni della provincia di Piacenza.

Notando che, al contrario dei comuni delle rispettive province, Piacenza è più grande rispetto a Mantova, non si può dare per scontata una così netta superiorità del potere di attrazione del capoluogo, tanto da doverlo sempre considerare all'interno delle destinazioni principali di ogni comune della sua provincia, come fatto nel tentativo precedente.

Si nota anche che il capoluogo non è necessariamente in una posizione baricentrica rispetto all'intera provincia: in questi casi considerare il capoluogo come destinazione principale indistintamente per ogni zona non sarebbe verosimile.

Si decide, quindi, di applicare anche all'interno della provincia considerata, una distanza di 25 km su strada, senza fare distinzioni per il capoluogo: questo, magari, non sarà rappresentativo per qualsiasi provincia d'Italia, ma dovendo cercare di creare un modello "universalmente" utilizzabile, è necessario fare delle ipotesi che siano altrettanto "universalmente" applicabili.

Poiché la statistica del CENSIS citata in precedenza è stata realizzata a livello nazionale, utilizzandola, si cerca di rendere il modello applicabile a più territori possibili.

La generalizzazione delle ipotesi potrebbe provocare delle "distorsioni" all'interno del modello: si verificherà solo alla fine se verranno stimati dei coefficienti generalmente utilizzabili.

La mancata considerazione del capoluogo come destinazione principale per ogni luogo verrà parzialmente "coperta" dall'inserimento di zone che nella realtà non sono realmente attrattive per il comune considerato, ma che hanno una distanza su strada inferiore ai 25 km.

Si decide in definitiva di provare a ricalibrare un modello di distribuzione per la provincia di Piacenza, prendendo in considerazione i comuni interni ed esterni che distano al massimo 25 km su strada da ogni comune considerato, senza tener conto necessariamente del capoluogo.

Si procede quindi con una ricalibrazione dei due logit, mentre la fase di distribuzione si mantiene uguale a quella calibrata in precedenza.

Nella figura seguente si riporta l'esempio dei comuni interni ed esterni distanti meno di 25 km selezionati per il comune di Castelbelforte nella provincia di Mantova (altri esempi sono riportati nell'ALLEGATO 8):

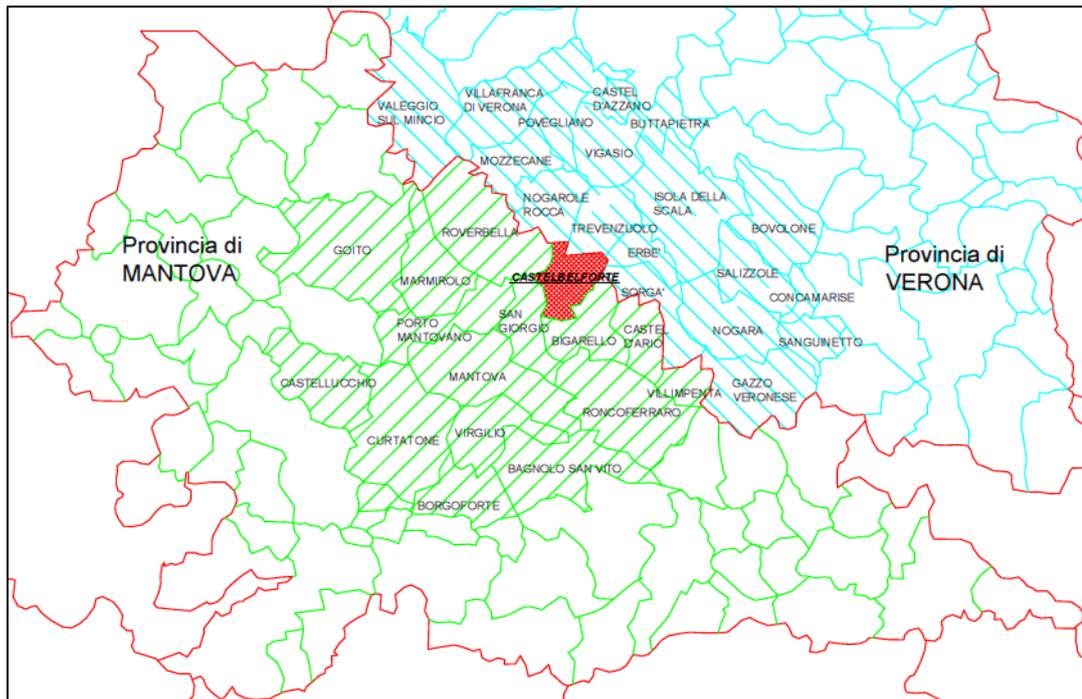


Figura 11.2 Esempio di Castelbelforte con i suoi comuni interni ed esterni che distano meno di 25 km su strada

Dovendo generare un modello applicabile su più territori, non si può più utilizzare una formulazione come la terza del caso precedente perché non ci sarebbe un modo rigoroso con cui associare due comuni di diverse province.

È necessario considerare contemporaneamente tutti i comuni della provincia o, al massimo, suddividerli in gruppi di paesi di dimensioni simili. Si ricorre quindi alla prima e alla seconda formulazione realizzate per il modello precedente, ricalibrandole con i nuovi attributi.

Per ogni formulazione si riporta una parte dei risultati, disponibili interamente in ALLEGATO 6.

11.2.1 Logit Esterno

11.2.1.1 Prima Formulazione

Coefficienti stimati:

β_{Addetti}	1.410E-05
β_{Distanza}	-2.701E-04

Tabella 11.4 Coefficienti Stimati per la Prima Formulazione del nuovo Logit Esterno

Parte dei risultati ottenuti:

BOBBIO	Comuni	Addetti	Distanze	Stima	Reali
	Interno	3132	14533 m	80.87%	96.73%
	Esterno	798	19750 m	19.13%	3.27%

FIORENZUOLA D'ARDA	Comuni	Addetti	Distanze	Stima	Reali
	Interno	53840	13938 m	85.49%	89.98%
	Esterno	7389	18080 m	14.51%	10.02%

MORFASSO	Comuni	Addetti	Distanze	Stima	Reali
	Interno	38245	14885 m	81.75%	94.86%
	Esterno	1143	18500 m	18.25%	5.14%

OTTONE	Comuni	Addetti	Distanze	Stima	Reali
	Interno	618	11837 m	68.27%	89.00%
	Esterno	709	14680 m	31.73%	11.00%

PECORARA	Comuni	Addetti	Distanze	Stima	Reali
	Interno	8388	13357 m	82.85%	90.30%
	Esterno	3370	18927 m	17.15%	9.70%

PIACENZA	Comuni	Addetti	Distanze	Stima	Reali
	Interno	153418	16481 m	85.68%	88.89%
	Esterno	39325	17150 m	14.32%	11.11%

PONTENURE	Comuni	Addetti	Distanze	Stima	Reali
	Interno	163521	16691 m	96.72%	94.06%
	Esterno	18954	21678 m	3.28%	5.94%

VIGOLZONE	Comuni	Addetti	Distanze	Stima	Reali
	Interno	128450	14507 m	99.02%	96.49%
	Esterno	2141	25000 m	0.98%	3.51%

Tabella 11.5 Risultati Prima Formulazione Logit Esterno Piacenza 2001

11.2.1.2 Seconda Formulazione

Si mantengono le stesse classi stabilite per il modello precedente:

Classe 1	n° occupati < 400
Classe 2	400 < n° occupati < 1500
Classe 3	1500 < n° occupati < 2500
Classe 4	2500 < n° occupati

Tabella 11.6 Classi in base al numero di occupati

Coefficienti stimati:

	β_{Addetti}	β_{Distanza}
Classe 1	1.784E-05	-6.112E-04
Classe 2	4.483E-06	-3.253E-04
Classe 3	7.848E-06	-2.583E-04
Classe 4	1.687E-05	-1.966E-04

Tabella 11.7 Coefficienti Stimati per la Seconda Formulazione del nuovo Logit Esterno

Parte dei risultati ottenuti:

- Classe 1:

OTTONE	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reali
	Interno	618	11837.5	m	85.01%	89.00%
	Esterno	709	14680	m	14.99%	11.00%

PECORARA	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reali
	Interno	8388	13357	m	97.05%	90.30%
	Esterno	3370	18927	m	2.95%	9.70%

Tabella 11.8 Risultati Prima Classe Seconda Formulazione Logit Esterno Piacenza 2001

- Classe 2:

BOBBIO	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reali
	Interno	3132	14533	m	84.65%	96.73%
	Esterno	798	19750	m	15.35%	3.27%

MORFASSO	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reali
	Interno	38245	14885	m	79.29%	94.86%
	Esterno	1143	18500	m	20.71%	5.14%

Tabella 11.9 Risultati Seconda Classe Seconda Formulazione Logit Esterno Piacenza 2001

- Classe 3:

PONTENURE	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reali
	Interno	163521	16691	m	91.85%	94.06%
	Esterno	18954	21678	m	8.15%	5.94%

VIGOLZONE	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reali
	Interno	128450	14507	m	97.59%	96.49%
	Esterno	2141	25000	m	2.41%	3.51%

Tabella 11.10 Risultati Terza Classe Seconda Formulazione Logit Esterno Piacenza 2001

- Classe 4:

FIORENZUOLA D'ARDA	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reali
	Interno	53840	13938	m	83.17%	89.98%
	Esterno	7389	18080	m	16.83%	10.02%

PIACENZA	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reali
	Interno	153418	16480	m	88.65%	88.89%
	Esterno	39325	17150	m	11.35%	11.11%

Tabella 11.11 Risultati Quarta Classe Seconda Formulazione Logit Esterno Piacenza 2001

Guardando i risultati si può notare come la generalizzazione delle ipotesi porta ad un peggioramento della stima.

La suddivisione in classi permette un miglioramento della precisione, ma la precisione raggiunta non è pari a quella del modello precedente. La mancata considerazione delle effettive destinazioni principali per ogni zona potrebbe aver influenzato la stima.

11.2.2 Logit Interno

11.2.2.1 Prima Formulazione

Coefficienti stimati:

β_{Addetti}	9.215E-06
β_{Distanza}	-6.412E-05

Tabella 11.12 Coefficienti Stimati per la Prima Formulazione del nuovo Logit Interno

Parte dei risultati ottenuti:

		Addetti	Distanze	Stima	Reali
AGAZZANO	Intrazonale	1170	1200	44.94%	41.59%
	Altro Comune	138667	17790	55.06%	58.41%

		Addetti	Distanze	Stima	Reali
ALSENO	Intrazonale	3417	1000	65.10%	51.74%
	Altro Comune	32347	14880	34.90%	48.26%

		Addetti	Distanze	Stima	Reali
CAMINATA	Intrazonale	71	700	69.76%	42.11%
	Altro Comune	15706	15986	30.24%	57.89%

		Addetti	Distanze	Stima	Reali
CASTEL SAN GIOVANNI	Intrazonale	7215	1200	50.91%	60.24%
	Altro Comune	113448	17036	49.09%	39.76%

		Addetti	Distanze	Stima	Reali
FARINI	Intrazonale	576	800	72.45%	60.90%
	Altro Comune	4902	16500	27.55%	39.10%

		Addetti	Distanze	Stima	Reali
PIACENZA	Intrazonale	90350	2100	77.20%	82.62%
	Altro Comune	63068	17200	22.80%	17.38%

		Addetti	Distanze	Stima	Reali
PIOZZANO	Intrazonale	165	350	67.42%	44.22%
	Altro Comune	37302	17031	32.58%	55.78%

		Addetti	Distanze	Stima	Reali
SAN GIORGIO PIACENTINO	Intrazonale	2154	1450	41.03%	39.21%
	Altro Comune	157319	18091	58.97%	60.79%

Tabella 11.13 Risultati Prima Formulazione Logit Interno Piacenza 2001

11.2.2.2 Seconda Formulazione

Coefficienti stimati:

	β_{Addetti}	β_{Distanza}
Classe 1	2.191E-05	-3.174E-05
Classe 2	7.466E-06	-1.508E-05
Classe 3	2.824E-06	-5.085E-06
Classe 4	1.057E-05	-8.537E-05

Tabella 11.14 Coefficienti Stimati per la Seconda Formulazione del nuovo Logit Interno

Parte dei risultati ottenuti:

- Classe 1:

		Addetti	Distanze	Stima	Reali
CAMINATA	Intrazonale	71	700	53.56%	42.11%
	Altro Comune	15706	15986	46.44%	57.89%

		Addetti	Distanze	Stima	Reali
PIOZZANO	Intrazonale	165	350	42.94%	44.22%
	Altro Comune	37302	17031	57.06%	55.78%

Tabella 11.15 Risultati Prima Classe Seconda Formulazione Logit Interno Piacenza 2001

- Classe 2:

		Addetti	Distanze	Stima	Reali
AGAZZANO	Intrazonale	1170	1200	31.51%	41.59%
	Altro Comune	138667	17790	68.49%	58.41%

		Addetti	Distanze	Stima	Reali
FARINI	Intrazonale	576	800	55.09%	60.90%
	Altro Comune	4902	16500	44.91%	39.10%

Tabella 11.16 Risultati Seconda Classe Seconda Formulazione Logit Interno Piacenza 2001

- Classe 3:

		Addetti	Distanze	Stima	Reali
ALSENO	Intrazonale	3417	1000	49.72%	51.74%
	Altro Comune	32347	14880	50.28%	48.26%

		Addetti	Distanze	Stima	Reali
SAN GIORGIO PIACENTINO	Intrazonale	2154	1450	41.25%	39.21%
	Altro Comune	157319	18091	58.75%	60.79%

Tabella 11.17 Risultati Terza Classe Seconda Formulazione Logit Interno Piacenza 2001

- Classe 4:

		Addetti	Distanze	Stima	Reali
CASTEL SAN GIOVANNI	Intrazonale	7215	1200	55.69%	60.24%
	Altro Comune	113448	17036	44.31%	39.76%

		Addetti	Distanze	Stima	Reali
PIACENZA	Intrazonale	90350	2100	82.89%	82.62%
	Altro Comune	63068	17200	17.11%	17.38%

Tabella 11.18 Risultati Quarta Classe Seconda Formulazione Logit Interno Piacenza 2001

Osservando i risultati si può vedere come il logit interno, che già introduceva le approssimazioni più grandi anche nel modello precedente, non raggiunge una precisione ottimale. Il fatto di confrontare due grandezze non omogenee e di considerare destinazioni che nella realtà non risultano realmente attrattive può introdurre delle distorsioni nella stima.

Si cercherà di applicare il modello appena stimato alla provincia di Mantova: solo in seguito a questi risultati se ne valuterà l'effettiva qualità.

11.3 Applicazione Distribuzione Mantova 1991

A questo punto si applica tutto il modello di distribuzione appena calibrato alla provincia di Mantova.

Per ogni formulazione si riporta una parte dei risultati, disponibili interamente in ALLEGATO 7.

11.3.1 Logit Esterno

11.3.1.1 Prima Formulazione

BORGOFRANCO SUL PO	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reali
	Interno	28496	12620	m	80.06%	91.84%
	Esterno	11362	16871	m	19.94%	8.16%

CASTELLUCCHIO	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reali
	Interno	149337	16755	m	97.10%	97.13%
	Esterno	4307	22183	m	2.90%	2.87%

CERESARA	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reali
	Interno	98912	15518	m	94.87%	96.72%
	Esterno	17765	22088	m	5.13%	3.28%

GOITO	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reali
	Interno	155621	17150	m	94.29%	95.20%
	Esterno	30067	20980	m	5.71%	4.80%

MANTOVA	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reali
	Interno	141826	15659	m	95.92%	96.61%
	Esterno	32496	21643	m	4.08%	3.39%

MARIANA MANTOVANA	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reali
	Interno	66526	14275	m	88.74%	94.81%
	Esterno	19190	19450	m	11.26%	5.19%

SABBIONETA	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reali
	Interno	30906	14200	m	63.43%	75.39%
	Esterno	58748	17692	m	36.57%	24.61%

SAN GIACOMO DELLE SEGNATE	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reali
	Interno	40434	13716	m	72.67%	82.93%
	Esterno	61945	18460	m	27.33%	17.07%

Tabella 11.19 Risultati Prima Formulazione Logit Esterno Mantova 1991

11.3.1.2 Seconda Formulazione

- Classe 1:

BORGOFRANCO SUL PO	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reali
	Interno	28496	12619	m	94.81%	91.84%
	Esterno	11362	16871	m	5.19%	8.16%

MARIANA MANTOVANA	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reali
	Interno	66526	14275	m	98.21%	94.81%
	Esterno	19190	19450	m	1.79%	5.19%

Tabella 11.20 Risultati Prima Classe Seconda Formulazione Logit Esterno Mantova 1991

- Classe 2:

CERESARA	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reali
	Interno	98912	15517	m	92.42%	96.72%
	Esterno	17765	22088	m	7.58%	3.28%

SAN GIACOMO DELLE SEGNATE	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reali
	Interno	40434	13715	m	80.95%	82.93%
	Esterno	61945	18460	m	19.05%	17.07%

Tabella 11.21 Risultati Seconda Classe Seconda Formulazione Logit Esterno Mantova 1991

- Classe 3:

CASTELLUCCHIO	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reali
	Interno	149337	16755	m	92.69%	97.13%
	Esterno	4307	22183	m	7.31%	2.87%

SABBIONETA	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reali
	Interno	30906	14200	m	66.45%	75.39%
	Esterno	58748	17692	m	33.55%	24.61%

Tabella 11.22 Risultati Terza Classe Seconda Formulazione Logit Esterno Mantova 1991

- Classe 4:

GOITO	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reali
	Interno	155621	17150	m	94.64%	95.20%
	Esterno	30067	20980	m	5.36%	4.80%

MANTOVA	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reali
	Interno	141826	15659	m	95.35%	96.61%
	Esterno	32496	21643	m	4.65%	3.39%

Tabella 11.23 Risultati Quarta Classe Seconda Formulazione Logit Esterno Mantova 1991

11.3.2 Logit Interno

11.3.2.1 Prima Formulazione

ASOLA	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reali
	Intrazonale	6501	1500	m	58.16%	71.91%
	Altro Comune	65468	15110	m	41.84%	28.09%

BAGNOLO SAN VITO	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reali
	Intrazonale	2697	2800	m	44.10%	42.25%
	Altro Comune	137416	18464	m	55.90%	57.75%

BORGOFRANCO SUL PO	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reali
	Intrazonale	395	1000	m	62.92%	40.00%
	Altro Comune	28101	13231	m	37.08%	60.00%

CARBONARA DI PO	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reali
	Intrazonale	618	2500	m	63.22%	44.95%
	Altro Comune	27878	14863	m	36.78%	55.05%

CAVRIANA	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reali
	Intrazonale	1819	1500	m	56.48%	44.96%
	Altro Comune	70302	15406	m	43.52%	55.04%

MANTOVA	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reali
	Intrazonale	60764	2500	m	66.58%	79.43%
	Altro Comune	81062	16165	m	33.42%	20.57%

MARIANA MANTOVANA	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reali
	Intrazonale	142	800	m	57.23%	19.53%
	Altro Comune	66384	14861	m	42.77%	80.47%

PIUBEGA	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reali
	Intrazonale	1063	1500	m	50.10%	32.67%
	Altro Comune	92781	14742	m	49.90%	67.33%

Tabella 11.24 Risultati Prima Formulazione Logit Interno Mantova 1991

11.3.2.2 Seconda Formulazione

- Classe 1:

BORGOFRANCO SUL PO	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reali
	Intrazonale	395	1000	m	44.55%	40.00%
	Altro Comune	28101	13231	m	55.45%	60.00%

MARIANA MANTOVANA	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reali
	Intrazonale	142	800	m	26.80%	19.53%
	Altro Comune	66384	14861	m	73.20%	80.47%

Tabella 11.25 Risultati Prima Classe Seconda Formulazione Logit Interno Mantova 1991

- Classe 2:

CARBONARA DI PO	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reali
	Intrazonale	618	2500	m	49.57%	44.95%
	Altro Comune	27878	14863	m	50.43%	55.05%

PIUBEGA	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reali
	Intrazonale	1063	1500	m	38.11%	32.67%
	Altro Comune	92781	14742	m	61.89%	67.33%

Tabella 11.26 Risultati Seconda Classe Seconda Formulazione Logit Interno Mantova 1991

- Classe 3:

BAGNOLO SAN VITO	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reali
	Intrazonale	2697	2800	m	42.54%	42.25%
	Altro Comune	137416	18464	m	57.46%	57.75%

CAVRIANA	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reali
	Intrazonale	1819	1500	m	46.94%	44.96%
	Altro Comune	70302	15406	m	53.06%	55.04%

Tabella 11.27 Risultati Terza Classe Seconda Formulazione Logit Interno Mantova 1991

- Classe 4:

ASOLA	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reali
	Intrazonale	6501	1500	m	63.14%	71.91%
	Altro Comune	65468	15110	m	36.86%	28.09%

	Comuni	Addetti	Distanze		Stima	Reali
MANTOVA	Intrazonale	60764	2500	m	72.15%	79.43%
	Altro Comune	81062	16165	m	27.85%	20.57%

Tabella 11.28 Risultati Quarta Classe Seconda Formulazione Logit Interno Mantova 1991

In entrambi i tentativi e nelle due rispettive formulazioni la stima non raggiunge la precisione sperata. I motivi potrebbero essere innumerevoli: da un errore nella formulazione del modello all'introduzione di ipotesi poco veritiere.

Ma il motivo principale è quello che un modello di distribuzione calibrato su una provincia difficilmente sarà valido per una provincia simile per diversi motivi che potrebbero essere considerati per tentare nuove formulazioni: le dimensioni dei comuni, la posizione all'interno della propria provincia, le opportunità di lavoro offerte dai comuni limitrofi, la necessità di percorrere più di 25 km per recarsi al posto di lavoro, ecc.

Si rimanda alle conclusioni per le considerazioni a riguardo.

11.3.3 Distribuzione

Visti gli scarsi risultati ottenuti dalle fasi precedenti, risulta superfluo applicare tutto il modello nel tentativo di stimare una matrice degli spostamenti di Mantova. Si cerca esclusivamente di verificare la bontà del modello di distribuzione applicando i coefficienti stimati nel modello di Piacenza.

11.3.3.1 Prima Formulazione

L'andamento degli spostamenti stimati per la provincia di Mantova, inerenti alle coppie Origine/Destinazione con più di 100 spostamenti e con più di 300 spostamenti, risultano nei grafici seguenti:

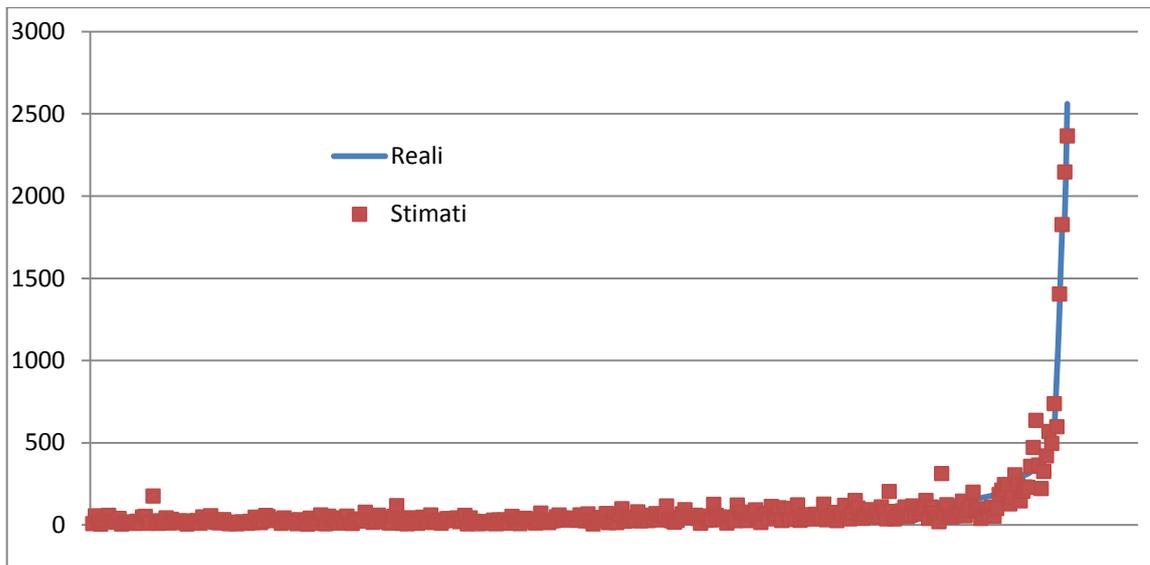


Figura 11.3 Confronto spostamenti reali/stimati Prima Formulazione Distribuzione

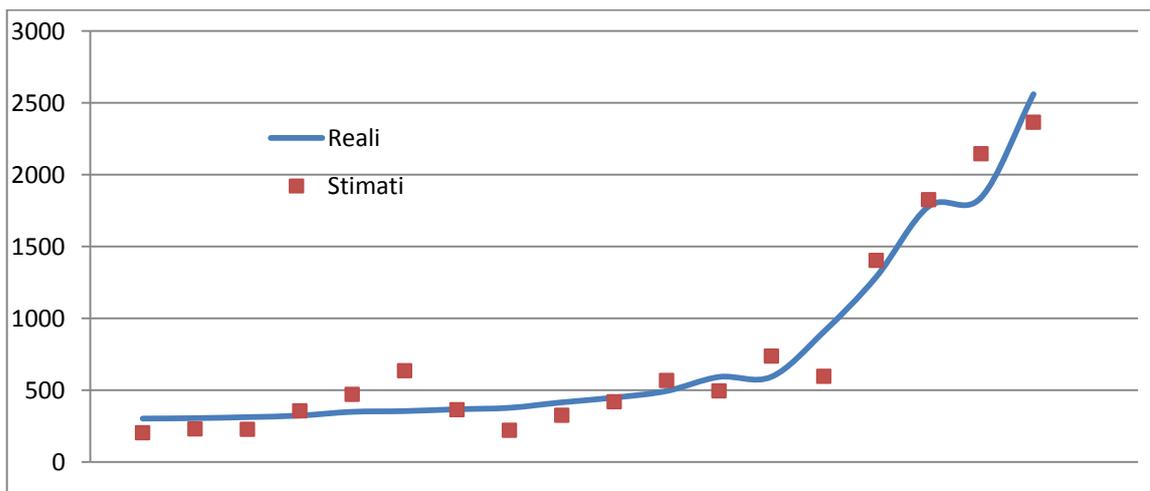


Figura 11.4 Confronto spostamenti principali reali/stimati Prima Formulazione Distribuzione

11.3.3.2 Seconda Formulazione

L'andamento degli spostamenti stimati per la provincia di Mantova, inerenti alle coppie Origine/Destinazione con più di 100 spostamenti e con più di 300 spostamenti, risultano nei grafici seguenti:

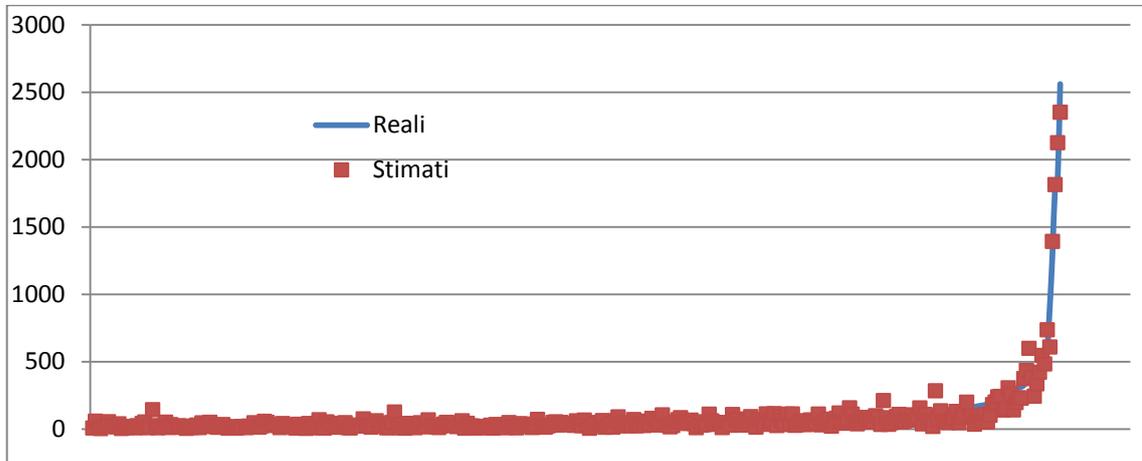


Figura 11.5 Confronto spostamenti reali/stimati Seconda Formulazione Distribuzione

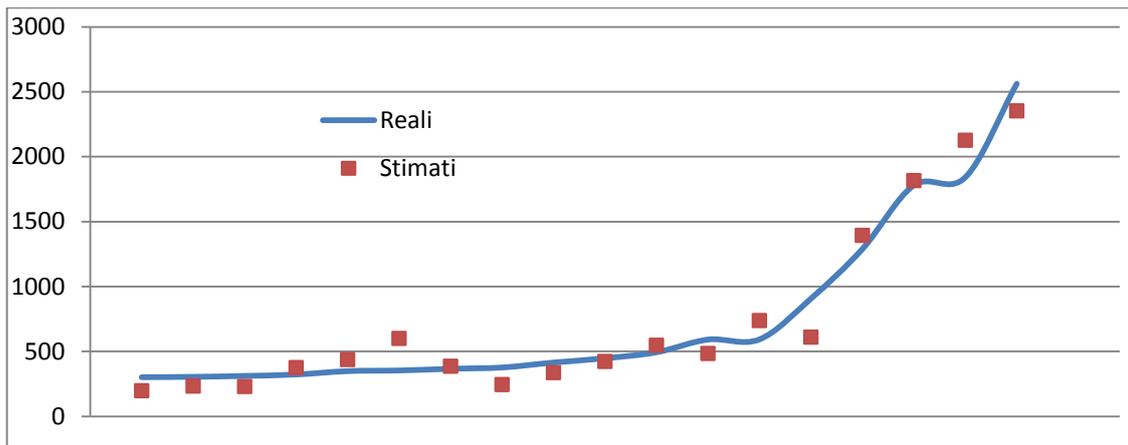


Figura 11.6 Confronto spostamenti principali reali/stimati Seconda Formulazione Distribuzione

Dai risultati ottenuti si può affermare che, a differenza dei passaggi precedenti, in questo caso, si hanno delle ottime approssimazioni. Guardando i grafici, si può notare che i risultati stimati siano molto vicini all'andamento degli spostamenti reali. La calibrazione del modello fatta per Piacenza risulta ottima anche per l'applicazione sul territorio di Mantova.

La suddivisione dei paesi in classi a seconda della dimensione permette di migliorare anche i pochi valori che si discostano significativamente dai valori reali. Data però l'ottima approssimazione già del primo modello si può affermare che, per semplicità di utilizzo, risulta essere una soluzione efficace ed applicabile.

11.4 Conclusioni “Piacenza 2001 – Mantova 1991”

L’obiettivo di questa parte di elaborato era quello di cercare di stimare un modello che potesse essere applicato su più territori con caratteristiche simili tra loro.

Una parte fondamentale per l’effettivo utilizzo era la semplicità del modello stesso: senza cercare procedure dettagliate e di difficile riproduzione, si è tentato di realizzare un modello che potesse essere realmente utilizzato. Nonostante ci siano stati dei tentativi a riguardo, si è cercato di evitare rapporti o grandezze che non fossero direttamente rilevabili anche da eventuali utilizzatori del modello stesso.

La raccolta, l’organizzazione e la rielaborazione dei dati ha richiesto molto tempo per ogni tentativo. Era necessario, quindi, concentrarsi su un’ipotesi e cercare di verificarne la validità. Si è deciso di verificare se paesi di dimensioni simili potessero avere comportamenti simili: da qui la divisione in classi in funzione della dimensione. Una classificazione del genere è di facile interpretazione ed utilizzo anche per eventuali tecnici comunali che volessero ricorrere al modello. L’eventuale scelta di classificazioni più complesse avrebbe potuto portare anche a modelli più precisi, ma con un’alta probabilità di errore durante il suo utilizzo.

Le ipotesi su altre possibili suddivisioni sono state numerose, ma il lungo tempo richiesto per la raccolta e la riorganizzazione dei dati non ha permesso di realizzare tutti i tentativi.

Si riportano comunque delle osservazioni nella parte degli *Sviluppi Futuri* qualora si volesse sviluppare ulteriormente il modello.

Si ripercorrono tutte le fasi realizzate, riepilogando i risultati ottenuti.

Generazione

Come già osservato, questa parte del modello non risulta applicabile a territori diversi da quello di calibrazione.

Il caso più evidente è quello della seconda classe di comuni: la retta calibrata su Piacenza va ad approssimare bene solo una parte dei paesi. I comuni con un numero di occupati residenti maggiore restano ampiamente sotto la retta di regressione: essendo paesi di medie dimensioni ed essendo abbastanza numerosi, questo può portare ad errori anche considerevoli.

L’unica classe che stima al meglio gli spostamenti risulta essere la terza.

I motivi di questa mancata applicabilità possono essere diversi e sono stati descritti nel dettaglio in precedenza.

Queste considerazioni portano a concludere che il modello calibrato su Piacenza non sia pienamente applicabile al caso della provincia di Mantova.

Nelle conclusioni complessive dell’elaborato, in seguito, viene dimostrato che le ipotesi fatte in precedenza sulla possibilità di sviluppo di un modello più preciso risultano corrette.

Logit Esterno

La precisione ottenuta non raggiunge quella trovata per il modello di Piacenza e le motivazioni possono essere innumerevoli:

- le destinazioni principali ipotizzate all'interno e all'esterno della provincia non sono destinazioni realmente attrattive per la zona di volta in volta considerata;
- la configurazione del sistema dei trasporti tra la provincia di Mantova e le province confinanti potrebbe rendere più facili o più complicati i collegamenti con l'esterno rispetto al sistema che, invece, si trova nella provincia di Piacenza;
- l'ipotesi dei 25 km su strada potrebbe non essere rappresentativa per il caso particolare di Mantova: potrebbe essere necessario considerare nelle destinazioni principali anche i paesi di dimensioni maggiori anche se ad una distanza più elevata.

Le ipotesi sono tante e potrebbero essere tutte dei suggerimenti per un'implementazione del modello. Non si può sapere quale sia la scelta migliore: l'unico modo è procedere per tentativi partendo da ipotesi realistiche.

Logit Interno

Questa fase introduceva le maggiori approssimazioni all'interno del modello della provincia di Piacenza: difficilmente ci si poteva aspettare ottimi risultati.

L'applicazione di entrambi i metodi non raggiunge delle stime accettabili.

Le cause della mancanza di precisione potrebbero essere molte. I tentativi di diverse suddivisioni per cercare la soluzione migliore sono stati diversi.

Una valida alternativa era quella di suddividere i comuni in funzione del rapporto tra occupati residenti e addetti della zona, nella logica che nei paesi con un maggior numero di addetti rispetto a quello degli occupati, gli utenti tenderanno con molta più probabilità a trovare lavoro nel comune di residenza. Anche questa suddivisione non risulta rappresentativa: il fatto che un utente rimanga o meno a lavorare nel comune di residenza non dipende strettamente dal numero di addetti, ma maggiormente dal grado di specializzazione del lavoratore e dalla tipologia di imprese presenti nella sua zona. Questi dati però non sono reperibili negli anni considerati, quindi si mantiene la prima suddivisione come la migliore utilizzabile coi dati disponibili.

Questo ci permette di mantenere anche una certa continuità di ragionamento all'interno del modello, senza cambiamenti di classificazioni che potrebbero portare ad errori durante il suo utilizzo: sarebbe giustificato solo da un netto miglioramento dei risultati, ma se le altre suddivisioni producono risultati equivalenti o peggiori si preferisce continuare a mantenere le stesse tipologie di classi.

In conclusione, per i risultati ottenuti si può affermare che questa parte del modello non è applicabile al caso di Mantova poichè introduce evidenti approssimazioni.

Distribuzione

A differenza delle fasi precedenti, questa parte del modello produce degli ottimi risultati anche applicata alla provincia di Mantova.

Data la precisione della stima, si può affermare che la calibrazione del modello sia stata fatta in maniera ottimale.

Come verifica si possono prendere a confronto i coefficienti dei manuali tecnici, come fatto notare in precedenza. Il fatto che i valori stimati siano molto vicini a quelli della letteratura porta a pensare ad una buona calibrazione. Poiché i coefficienti dati nei manuali sono considerati applicabili in generale a qualsiasi zona, ci si doveva aspettare che il modello stimato potesse essere valido anche per la provincia di Mantova: gli ottimi risultati ottenuti confermano le aspettative.

11.4.1 Sviluppi Futuri

Fatte le dovute considerazioni non si può certo concludere che in assoluto non sia possibile creare un modello applicabile su province territorialmente simili.

Gli ottimi risultati ottenuti con la fase di Distribuzione portano a pensare che, avendo a disposizione matrici e dati aggiornati e disaggregati nel modo giusto, si potrebbe sviluppare un modello senza l'introduzione di passaggi aggiuntivi tra Generazione e Distribuzione. Per esempio sarebbe molto utile la conoscenza per ogni comune della provincia considerata delle principali destinazioni appartenenti ad altre province.

Per sviluppare dei modelli più precisi utilizzando gli stessi dati elaborati in questo lavoro, sarebbe necessario tentare ulteriori tipi di suddivisioni.

Per generalizzare la trattazione bisognerebbe introdurre nuove ipotesi che possano descrivere meglio le singole situazioni, considerando, per esempio, degli attributi derivanti direttamente dal sistema dei trasporti che possano rappresentare meglio il fattore d'impedimento tra le diverse zone.

Per sviluppare ulteriormente i due Logit, un altro tentativo possibile è quello di considerare nelle destinazioni principali per ogni zona anche i paesi di dimensioni maggiori, nell'ipotesi che l'utente sia disposto a percorrere una distanza maggiore per paesi con una maggiore attrattività lavorativa.

CONCLUSIONI

Tramite questa tesi si è cercato di rispondere principalmente a due domande relative ai modelli di aggiornamento delle matrici Origine/Destinazione:

- Sono validi i modelli di stima della domanda per la stessa provincia in anni diversi ?
- Sono validi i modelli di stima della domanda per province simili in anni diversi ?

Partendo da queste due domande iniziali, si è deciso di costruire questa tesi con lo scopo di dare una risposta efficace a questi due quesiti.

Si è stabilito di non andare a considerare tutte le fasi del modello a 4 stadi, ma di concentrarsi solo sulle prime due fasi, ovvero generazione e distribuzione, poiché questa tesi fa parte di un progetto più ampio che servirà come punto di partenza per successive implementazioni.

Poiché questa tesi deve rispondere a due domande differenti, si è deciso di suddividere l'elaborato in due macrosezioni, che rispondono indipendentemente ai due quesiti posti:

- Modello di stima della domanda: Piacenza 2001 – Piacenza 1991;
- Modello di stima della domanda: Piacenza 2001 – Mantova 1991.

Per ogni sezione, dopo vari tentativi, si è creato un modello di stima che potesse valutare al meglio le matrici Origine/Destinazione prese in considerazione.

12. Modello di stima della domanda: Piacenza 2001 – Piacenza 1991

Con questo modello si è cercato di rispondere alla prima domanda, ovvero se i modelli di stima della domanda fossero validi per la stessa provincia in anni diversi.

In questo caso si è scelto la provincia di Piacenza, andando a calibrare il modello con i dati dell'anno 2001 e a validarlo con i dati del 1991.

Il risultato finale permette di dare una risposta affermativa alla domanda iniziale, poiché gli spostamenti stimati, calibrati al 2001 e validati al 1991, si avvicinano molto agli spostamenti reali delle matrici Origine/Destinazione che si hanno a disposizione.

Questa sezione è stata suddivisa in 4 porzioni, utili ai fini della stima finale:

- Generazione;
- Logit Esterno;
- Logit Interno;
- Distribuzione.

Di seguito vengono espone le 4 parti con i risultati dettagliati.

Generazione

Si è deciso di dividere i comuni piacentini in 3 classi in base al numero di occupati residenti. Tramite una regressione lineare, si sono calibrati i coefficienti all'anno 2001 e si è andato a validare il modello di generazione con i dati del 1991, sempre per la provincia di Piacenza.

I risultati ottenuti sono molto soddisfacenti perché gli spostamenti stimati sono quasi coincidenti con quelli reali, sia per la calibrazione al 2001 sia per la validazione al 1991.

Logit Esterno

Questo passaggio rappresenta la divisione fra gli utenti che decidono di spostarsi all'interno o all'esterno della provincia. E' una suddivisione fondamentale da svolgere poiché l'interesse maggiore deve essere dato agli spostamenti interni alla provincia.

Per questa parte si è usufruito di 3 diverse formulazioni, ognuna coi suoi pregi e difetti, considerando due coefficienti, relativi al numero di addetti e alla distanza stradale:

- Prima Formulazione: 2 coefficienti per tutti i comuni;
- Seconda Formulazione: 2 coefficienti per ogni classe di comuni;
- Terza Formulazione: 2 coefficienti diversi per ogni comune.

Tralasciando la Terza Formulazione che è di tipo analitico, si può affermare che la Prima e la Seconda Formulazione stimano in maniera efficace gli spostamenti, sia per la calibrazione al 2001 sia per la validazione al 1991.

Logit Interno

Questa parte rappresenta la divisione fra gli utenti che decidono di rimanere all'interno del proprio comune di appartenenza (spostamenti intrazonali) e quelli che si spostano all'interno della provincia. Anche questo, per i pochi dati a disposizione, è un passaggio obbligato poiché in un'analisi della mobilità interna ad una provincia gli spostamenti intrazonali non sono rappresentabili.

Anche in questo caso, si è usufruito delle 3 formulazioni precedenti con le medesime tipologie di coefficienti.

Tralasciando la Terza Formulazione che è di tipo analitico, questo passaggio è quello che introduce più approssimazioni poiché le percentuali di errore si alzano rispetto alle parti precedenti. Restano, comunque, stime accettabili sia al 2001 sia al 1991, anche se si sperava in risultati più precisi.

Distribuzione

L'ultima parte è quella della distribuzione, che rappresenta le destinazioni finali di ogni utente all'interno della provincia, diverse dal proprio comune di appartenenza.

Anche in questo caso, si è usufruito delle 3 formulazioni precedenti con le medesime tipologie di coefficienti. In questo caso, la Terza Formulazione non è più di tipo analitico, ma può essere confrontata con le altre formulazioni. I risultati che si ottengono sono molto soddisfacenti poiché gli spostamenti stimati si discostano in maniera limitata dagli spostamenti reali.

13. Modello di stima della domanda: Piacenza 2001 – Mantova 1991

Con questo modello si è cercato di rispondere alla seconda domanda, ovvero se i modelli di stima della domanda fossero validi per province simili in anni diversi.

In questo caso si è scelto la provincia di Piacenza al 2001 per la calibrazione del modello e la provincia di Mantova per la sua validazione e applicazione.

Il risultato finale permette di dare una risposta negativa alla domanda iniziale, poiché gli spostamenti stimati, calibrati al 2001 su Piacenza e validati al 1991 su Mantova, sono molto lontani dai valori degli spostamenti reali delle matrici Origine/Destinazione che si hanno a disposizione.

Anche questa sezione è stata suddivisa in 4 porzioni, utili ai fini della stima finale:

- Generazione;
- Logit Esterno;
- Logit Interno;
- Distribuzione.

Di seguito vengono esposte le 4 parti con i risultati dettagliati.

Generazione

Si è deciso di dividere i comuni in 3 classi in base al numero di occupati residenti. Tramite una regressione lineare, si sono calibrati i coefficienti all'anno 2001 per la provincia di Piacenza e si è andato a validare il modello di generazione con i dati del 1991 della provincia di Mantova,

I risultati ottenuti sembrano essere quasi accettabili perché gli spostamenti stimati non sono così tanto lontani da quelli reali, ma un'attenta analisi porta ad affermare che tutto ciò è vero solo per grandi centri, mentre per i comuni medio-piccoli l'affermazione è sbagliata.

Per generalizzare l'analisi, il modello dovrebbe dipendere dall'effettiva composizione delle categorie lavorative all'interno della provincia di volta in volta considerata: ad esempio, avendo a disposizione il numero di occupati residenti in ogni comune disaggregati nelle diverse categorie (imprenditori, liberi professionisti e dipendenti), si potrebbe ricalibrare il modello in modo tale che possa stimare gli effettivi contributi di ogni tipologia di lavoratore.

Sfruttando i dati forniti all'ultimo momento dalle Camere di Commercio delle Province di Piacenza e di Mantova, si è calibrato un modello di generazione che risulta valido per territori simili.

“Un modello del tipo ‘analisi per categorie’ consiste nella definizione di un indice di mobilità individuale riferito ai residenti appartenenti ad un determinato gruppo socio-economico; per la loro messa a punto occorre procedere alla suddivisione della popolazione in gruppi omogenei e alla stima campionaria del numero di spostamenti effettuati da ogni singolo individuo di ciascun gruppo per il motivo cui si riferisce il modello. Il numero totale di spostamenti che ha origine in una zona è così dato dalla somma dei prodotti degli individui di ogni grup-

po [...] per i rispettivi indici di mobilità” (Stefano Ricci, “*Tecnica ed Economia dei Trasporti*”).

La forma del modello rimane lineare come quello precedente. Gli spostamenti vengono definiti come combinazione lineare del numero di imprenditori (Imp), liberi professionisti (Lp) e lavoratori dipendenti (Dip) residenti in ogni zona, senza nessuna divisione in classi in base al numero di occupati:

$$\text{Spostamenti} = \beta_{\text{Imp}} \cdot \text{Imp} + \beta_{\text{Lp}} \cdot \text{Lp} + \beta_{\text{Dip}} \cdot \text{Dip}$$

Calibrando il modello con i dati della provincia di Piacenza del 2001, si stimano i seguenti coefficienti:

β_{Imp}	0.422
β_{Lp}	0.354
β_{Dip}	0.989

Tabella 13.1 Coefficienti del nuovo modello di Generazione

Vengono riportati solo i risultati complessivi: i dati e risultati completi sono disponibili in ALLEGATO 9.

Si riporta il grafico in cui vengono confrontati gli spostamenti reali e stimati: in ascissa vengono indicati i vari comuni piacentini in ordine crescente per numero di spostamenti reali; in ordinata il numero di spostamenti. Per una questione di chiarezza nel grafico si esclude la città di Piacenza:

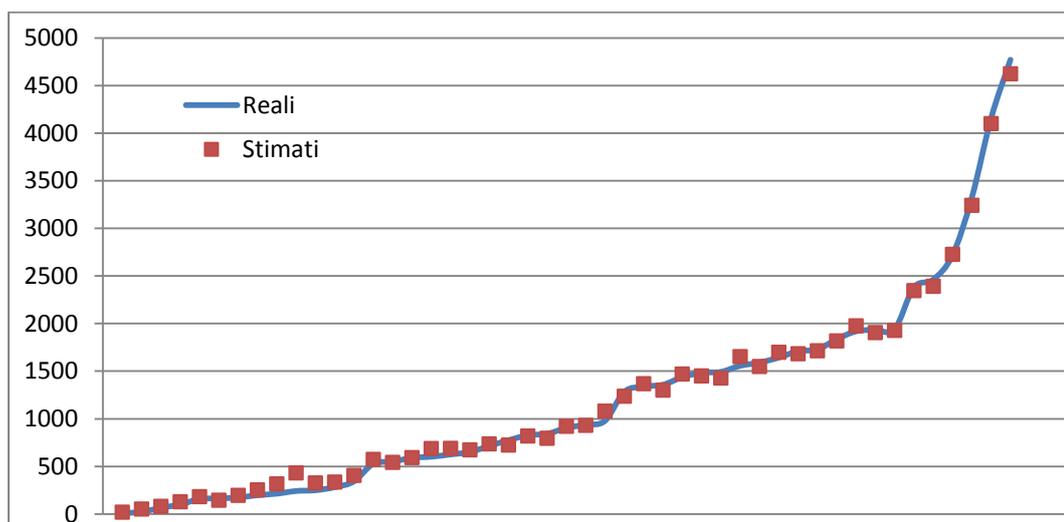


Figura 13.1 Totale degli spostamenti generati da ogni zona (Provincia di Piacenza 2001)

Come si vede dal grafico i risultati che si ottengono sono molto validi e il valore di R^2 (pari a 0.998) conferma la bontà del modello.

Bisogna considerare che si ottiene un'ottima stima senza la necessità di dover ricorrere a suddivisioni in classi.

Un'ulteriore vantaggio è l'assenza di una costante di calibrazione: questo permette di far dipendere la stima esclusivamente da caratteristiche proprie delle zone.

“Sebbene si spera che la linea di regressione passi per l'origine, è molto frequente ottenere valori dell'intercetta piuttosto larghi [...]. Se questo accade l'equazione di regressione può essere rifiutata.” (Ortuzar e Willumsen, *“Pianificazione dei Sistemi di Trasporto”*).

Nel caso del modello del territorio di Piacenza, non si rifiuta l'equazione ottenuta perché dovendo essere applicato sullo stesso territorio di calibrazione, anche l'intercetta può essere rappresentativa e potrebbe essere utile per ovviare alla mancanza di dettaglio dei dati del territorio considerato. Dovendo applicare il modello ad altri territori, un'intercetta alta potrebbe, al contrario, portare qualche problema nella stima, come si è dimostrato in precedenza.

Applicando il nuovo modello alla provincia di Mantova al 1991 si può notare come i coefficienti stimati portino ad ottimi risultati, confermando le osservazioni appena fatte:

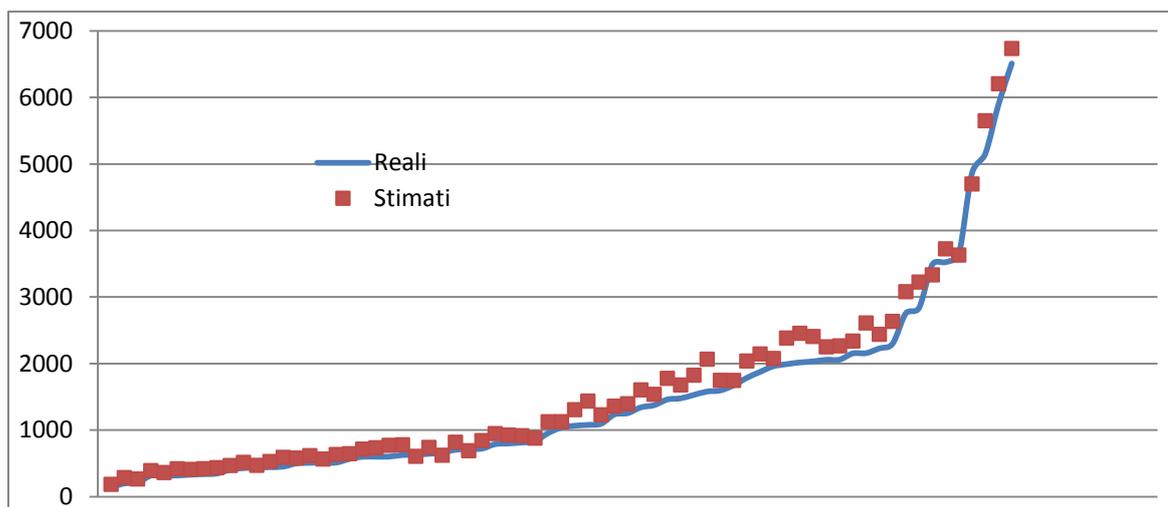


Figura 13.2 Totale degli spostamenti generati da ogni zona (Provincia di Mantova 1991)

Come si vede dal grafico il nuovo modello permette una stima nettamente migliore rispetto al modello precedente. Tutto è confermato dal valore di R^2 pari a 0.833. Questo valore, anche se minore rispetto alla provincia di calibrazione, permette di affermare che il metodo è applicabile con buona precisione anche a territori simili.

Per validare il modello si applicano gli stessi coefficienti anche alla provincia di Piacenza al 1991 e si trovano i seguenti andamenti:

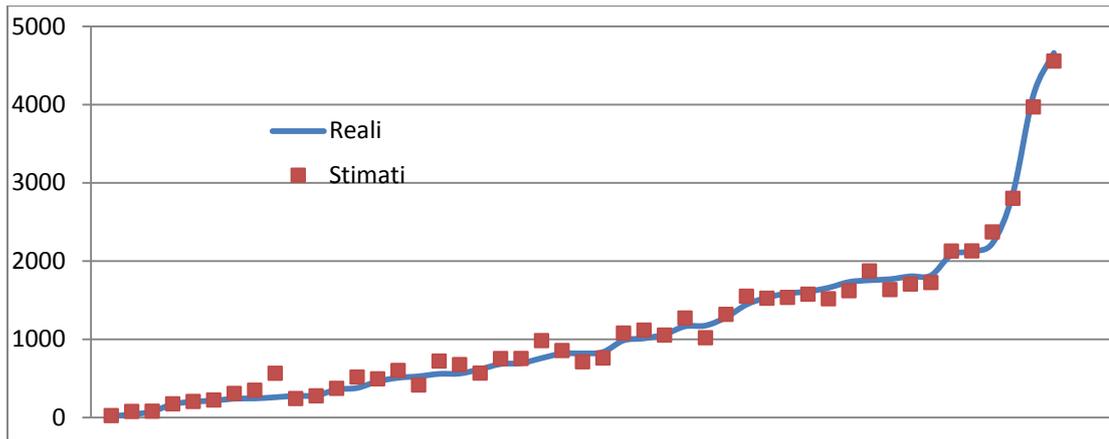


Figura 13.3 Totale degli spostamenti generati da ogni zona (Provincia di Piacenza 1991)

Il modello si adatta molto bene agli andamenti reali degli spostamenti, con un R^2 pari a 0.956.

Si può quindi concludere che disponendo di un maggior dettaglio nei dati si può sviluppare un modello di generazione che dipenda esclusivamente dalle caratteristiche delle singole zone, evitando l'utilizzo di una costante k nella calibrazione.

I valori di R^2 ottenuti confermano, inoltre, che il modello può essere applicato con buona precisione anche a province territorialmente simili.

Logit Esterno

Questo passaggio rappresenta la divisione fra gli utenti che decidono di spostarsi all'interno o all'esterno della provincia. E' una suddivisione fondamentale da svolgere poiché l'interesse maggiore deve essere dato agli spostamenti interni alla provincia.

Per questa parte si è usufruito di 2 diverse formulazioni, ognuna coi suoi pregi e difetti, considerando due coefficienti, relativi al numero di addetti e alla distanza stradale:

- Prima Formulazione: 2 coefficienti per tutti i comuni;
- Seconda Formulazione: 2 coefficienti per ogni classe di comuni;

Si può affermare che entrambe le formulazioni stimano in maniera inefficace gli spostamenti, soprattutto quelli della provincia di Mantova.

Dati gli ottimi risultati appena ottenuti col nuovo modello di Generazione e col modello di Distribuzione, non si può affermare che sia impossibile realizzare un passaggio intermedio come può essere il logit esterno: utilizzando nuove formulazioni e nuove ipotesi, con l'utilizzo di dati più dettagliati potrebbe essere utile implementare questo passaggio.

Logit Interno

Questa parte rappresenta la divisione fra gli utenti che decidono di rimanere all'interno del proprio comune di appartenenza (spostamenti intrazonali) e quelli che si spostano all'interno della provincia. Anche questo è un passaggio obbligato poiché in un'analisi della mobilità interna ad una provincia gli spostamenti intrazonali non sono rappresentabili.

Anche in questo caso, si è usufruito delle 2 formulazioni precedenti con le medesime tipologie di coefficienti.

Ricordando che questo passaggio era quello che introduceva più approssimazioni nel modello di aggiornamento precedente per la stessa provincia in anni diversi, è logico pensare che per province simili in anni diversi gli errori aumenteranno in modo sensibile. Infatti i risultati confermano questo pensiero: le percentuali di errore sono molto alte, soprattutto per i comuni della provincia di Mantova.

Anche in questo caso non si può affermare che non sia in assoluto possibile ottenere una maggiore precisione: dati gli ottimi risultati ottenuti nella fase successiva di Distribuzione, si pensa che sia molto utile sviluppare questo passaggio in modo tal da non considerare gli spostamenti intrazonali nel modello gravitazionale.

Distribuzione

L'ultima parte è quella della distribuzione, che rappresenta le destinazioni finali di ogni utente all'interno della provincia, diverse dal proprio comune di appartenenza.

Anche in questo caso, si è usufruito delle 2 formulazioni precedenti con le medesime tipologie di coefficienti.

A differenza delle parti precedenti, i risultati che si ottengono sono molto soddisfacenti poiché gli spostamenti stimati si discostano in maniera limitata dagli spostamenti reali. Purtroppo i dati di partenza della distribuzione, provengono dalle fasi di generazione-logit esteno-logit interno, quindi, se i passaggi precedenti sono carichi di errori, queste approssimazioni si ripercuoteranno automaticamente anche su questa parte.

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.1 Schema di una rete stradale	13
Figura 1.2 Variazione orarie del traffico e individuazione dell'ora di punta.....	13
Figura 3.1 Suddivisione del modello in sottomodelli	34
Figura 3.2 Rappresentazione grafica delle osservazioni	37
Figura 3.3 Indipendenza delle alternative irrilevanti	43
Figura 3.4 Indipendenza delle alternative irrilevanti	44
Figura 3.5 Esempio di Logit Gerarchico.....	45
Figura 4.1 Localizzazione delle Provincia di Piacenza.....	49
Figura 4.2 Cartina della Provincia di Piacenza	50
Figura 5.1 Esempio di confronto tra distanze in linea d'aria e distanze stradali.....	55
Figura 5.2 Esempio di ricerca delle distanze stradali.....	56
Figura 6.1 Prima Formulazione: retta di regressione per il modello di Generazione.....	57
Figura 6.2 Seconda Formulazione: retta di regressione per il modello di Generazione.....	58
Figura 6.3 Seconda Formulazione: retta di regressione per il modello di Generazione senza Piacenza	58
Figura 6.4 Aggregazione delle classi per il numero di occupati	59
Figura 6.5 Localizzazione dei comuni della Prima Classe	60
Figura 6.6 Localizzazione dei comuni della Seconda Classe	61
Figura 6.7 Localizzazione dei comuni della Terza Classe	62
Figura 6.8 Retta di Regressione per la Prima Classe	63
Figura 6.9 Retta di Regressione per la Seconda Classe	64
Figura 6.10 Retta di Regressione per la Terza Classe.....	65
Figura 6.11 Confronto spostamenti reali e retta di calibrazione per Prima Classe al 1991	68
Figura 6.12 Confronto spostamenti reali e retta di calibrazione per Seconda Classe al 1991	70
Figura 6.13 Confronto spostamenti reali e retta di calibrazione per Terza Classe al 1991	71
Figura 7.1 Distanza stradale tra Piacenza e Milano	74
Figura 7.2 Piacenza e le sue province confinanti.....	75
Figura 7.3 Modello di Distribuzione senza nessun passaggio intermedio	76
Figura 7.4 Modello di Distribuzione con annesso il Logit Esterno	76
Figura 7.5 Modello di Distribuzione con annesso Logit Esterno e Logit Interno	78
Figura 7.6 Esempio di Alseno con i suoi comuni interni ed esterni considerati	80
Figura 7.7 Andamento degli spostamenti reali e stimati per la parte di Distribuzione	94
Figura 7.8 Andamento degli spostamenti principali reali e stimati per la parte di Distribuzione	95
Figura 7.9 Andamento degli spostamenti reali e stimati per la parte di Distribuzione	96
Figura 7.10 Andamento degli spostamenti principali reali e stimati per la parte di Distribuzione	96
Figura 7.11 Tendenza del coefficiente relativo al numero di addetti	96
Figura 7.12 Tendenza del coefficiente relativo alla distanza stradale.....	97
Figura 7.13 Andamento degli spostamenti reali e stimati per la parte di Distribuzione	98
Figura 7.14 Andamento degli spostamenti principali reali e stimati per la parte di Distribuzione	98
Figura 7.15 Andamento degli spostamenti Prima Formulazione Distribuzione Piacenza 1991	107
Figura 7.16 Andamento degli spostamenti principali Prima Formulazione Distribuzione Piacenza 1991	107
Figura 7.17 Andamento degli spostamenti Seconda Formulazione Distribuzione Piacenza 1991	108
Figura 7.18 Andamento degli spostamenti principali Seconda Formulazione Distribuzione Piacenza 1991	108

Figura 7.19 Andamento degli spostamenti Terza Formulazione Distribuzione Piacenza 1991	109
Figura 7.20 Andamento degli spostamenti principali Terza Formulazione Distribuzione Piacenza 1991	110
Figura 7.21 Stima degli spostamenti col metodo di Furness	112
Figura 7.22 Stima degli spostamenti principali col metodo di Furness	112
Figura 7.23 Stima degli spostamenti coi fattori di crescita ipotizzati	114
Figura 7.24 Stima degli spostamenti principali coi fattori di crescita ipotizzati	115
Figura 7.25 Stima degli spostamenti col metodo di Furness	117
Figura 7.26 Stima degli spostamenti principali col metodo di Furness	117
Figura 7.27 Stima degli spostamenti col metodo di Furness	118
Figura 7.28 Stima degli spostamenti principali col metodo di Furness	118
Figura 8.1 Cartina Provincia di Mantova.....	124
Figura 8.2 Cartina dei Comuni della Provincia di Mantova	125
Figura 9.1 Esempio del Confronto tra distanze in linea d'aria e distanze stradali	126
Figura 10.1 Comuni della Prima Classe	127
Figura 10.2 Comuni della Seconda Classe	129
Figura 10.3 Comuni della Terza Classe	130
Figura 10.4 Confronto Generazione Mantova/Piacenza Prima Classe	131
Figura 10.5 Confronto Generazione Mantova/Piacenza Seconda Classe	133
Figura 10.6 Confronto Generazione Mantova/Piacenza Terza Classe	134
Figura 11.1 Mantova e le sue province confinanti.....	136
Figura 11.2 Esempio di Castelbelforte	141
Figura 11.3 Confronto spostamenti reali/stimati Prima Formulazione Distribuzione	153
Figura 11.4 Confronto spostamenti principali reali/stimati Prima Formulazione Distribuzione	153
Figura 11.5 Confronto spostamenti reali/stimati Seconda Formulazione Distribuzione	154
Figura 11.6 Confronto spostamenti principali reali/stimati Seconda Formulazione Distribuzione	154
Figura 13.1 Totale degli spostamenti generati da ogni zona (Provincia di Piacenza 2001).....	161
Figura 13.2 Totale degli spostamenti generati da ogni zona (Provincia di Mantova 1991).....	162
Figura 13.3 Totale degli spostamenti generati da ogni zona (Provincia di Piacenza 1991).....	163

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 4.1 Comuni della Provincia di Piacenza	50
Tabella 6.1 Prima formulazione: stima negativa dei paesi di ridotte dimensioni	57
Tabella 6.2 Comuni della Prima Classe	60
Tabella 6.3 Comuni della Seconda Classe	61
Tabella 6.4 Comuni della Terza Classe	62
Tabella 6.5 Coefficienti stimati per la Prima Classe.....	63
Tabella 6.6 Coefficienti stimati per la Seconda Classe.....	64
Tabella 6.7 Coefficienti stimati per la Terza Classe	65
Tabella 6.8 Spostamenti stimati dal modello di Generazione.....	66
Tabella 6.9 Spostamenti stimati della Prima Classe al 1991	68
Tabella 6.10 Coefficienti per la Prima Classe al 1991.....	68
Tabella 6.11 Spostamenti stimati della Seconda Classe al 1991	69
Tabella 6.12 Coefficienti per la Seconda Classe al 1991.....	70
Tabella 6.13 Spostamenti stimati della Terza Classe al 1991	70
Tabella 6.14 Coefficienti per la Terza Classe al 1991	71
Tabella 7.1 Esempio di percentuali di spostamento interne ed esterne alla provincia di Piacenza	73
Tabella 7.2 Numero di Addetti nelle varie province considerate.....	74
Tabella 7.3 Esempio di percentuali di spostamento nelle varie province considerate	75
Tabella 7.4 Esempio di Agazzano con le sue principali destinazioni, compresi gli intrazonali	77
Tabella 7.5 Coefficienti della Prima Formulazione del Logit Esterno	81
Tabella 7.6 Esempi di Risultati Prima Formulazione Logit Esterno.....	81
Tabella 7.7 Il caso di Zerba nel Logit Esterno.....	82
Tabella 7.8 Classi del modello di Distribuzione	82
Tabella 7.9 Coefficienti della Seconda Formulazione del Logit Esterno.....	83
Tabella 7.10 Esempi di Risultati Prima Classe Seconda Formulazione Logit Esterno.....	83
Tabella 7.11 Esempi di Risultati Seconda Classe Seconda Formulazione Logit Esterno.....	83
Tabella 7.12 Esempi di Risultati Terza Classe Seconda Formulazione Logit Esterno	84
Tabella 7.13 Esempi di Risultati Quarta Classe Seconda Formulazione Logit Esterno	84
Tabella 7.14 Esempi di Coefficienti della Terza Formulazione del Logit Esterno	85
Tabella 7.15 Esempi di Risultati Terza Formulazione Logit Esterno	85
Tabella 7.16 Coefficienti della Prima Formulazione del Logit Interno	88
Tabella 7.17 Esempi di Risultati Prima Formulazione Logit Interno	89
Tabella 7.18 Coefficienti della Seconda Formulazione del Logit Interno	89
Tabella 7.19 Esempi di Risultati Prima Classe Seconda Formulazione Logit Interno	89
Tabella 7.20 Esempi di Risultati Seconda Classe Seconda Formulazione Logit Interno	90
Tabella 7.21 Esempi di Risultati Terza Classe Seconda Formulazione Logit Interno	90
Tabella 7.22 Esempi di Risultati Quarta Classe Seconda Formulazione Logit Interno	90
Tabella 7.23 Esempi di Coefficienti della Terza Formulazione del Logit Interno.....	91
Tabella 7.24 Esempi di Risultati Terza Formulazione Logit Interno.....	91
Tabella 7.25 Valori sperimentali dei coefficienti presi in considerazione	93
Tabella 7.26 Limiti del coefficiente inerente al numero di addetti	93
Tabella 7.27 Coefficienti della Prima Formulazione della Distribuzione.....	94

Tabella 7.28 Coefficienti della Seconda Formulazione della Distribuzione.....	95
Tabella 7.29 Esempi di Coefficienti della Terza Formulazione della Distribuzione	97
Tabella 7.30 Coefficienti utilizzati nella Prima Formulazione del Logit Esterno.....	99
Tabella 7.31 Esempi di Risultati Prima Formulazione Logit Esterno Piacenza 1991.....	100
Tabella 7.32 Coefficienti utilizzati nella Seconda Formulazione del Logit Esterno.....	100
Tabella 7.33 Esempi di Risultati Prima Classe Seconda Formulazione Logit Esterno Piacenza 1991	101
Tabella 7.34 Esempi di Risultati Seconda Classe Seconda Formulazione Logit Esterno Piacenza 1991	101
Tabella 7.35 Esempi di Risultati Terza Classe Seconda Formulazione Logit Esterno Piacenza 1991	101
Tabella 7.36 Esempi di Risultati Quarta Classe Seconda Formulazione Logit Esterno Piacenza 1991	102
Tabella 7.37 Esempi di Coefficienti utilizzati nella Terza Formulazione del Logit Esterno	102
Tabella 7.38 Esempi di Risultati Terza Formulazione Logit Esterno Piacenza 1991	102
Tabella 7.39 Coefficienti utilizzati nella Prima Formulazione del Logit Interno	103
Tabella 7.40 Esempi di Risultati Prima Formulazione Logit Interno Piacenza 1991	103
Tabella 7.41 Coefficienti utilizzati nella Seconda Formulazione del Logit Interno	104
Tabella 7.42 Esempi di Risultati Prima Classe Seconda Formulazione Logit Interno Piacenza 1991	104
Tabella 7.43 Esempi di Risultati Seconda Classe Seconda Formulazione Logit Interno Piacenza 1991	104
Tabella 7.44 Esempi di Risultati Terza Classe Seconda Formulazione Logit Interno Piacenza 1991	105
Tabella 7.45 Esempi di Risultati Quarta Classe Seconda Formulazione Logit Interno Piacenza 1991	105
Tabella 7.46 Esempi di Coefficienti utilizzati nella Terza Formulazione del Logit Interno.....	105
Tabella 7.47 Esempi di Risultati Terza Formulazione Logit Interno Piacenza 1991.....	106
Tabella 7.48 Coefficienti utilizzati nella Prima Formulazione della Distribuzione.....	106
Tabella 7.49 Coefficienti utilizzati nella Seconda Formulazione della Distribuzione	107
Tabella 7.50 Esempi di Coefficienti utilizzati nella Terza Formulazione della Distribuzione	109
Tabella 7.51 Fattori di crescita del metodo di Furness	112
Tabella 7.52 Fattori di crescita pari all'incremento percentuale di occupati e addetti.....	114
Tabella 7.53 Fattori di crescita in seguito all'utilizzo del modello.....	116
Tabella 7.54 Esempio di Logit Interno con fattore di numerosità delle alternative	122
Tabella 7.55 Confronto dei valori stimati con e senza il fattore di numerosità	122
Tabella 8.1 Comuni della Provincia di Mantova	125
Tabella 10.1 Comuni della Prima Classe.....	127
Tabella 10.2 Comuni della Seconda Classe	128
Tabella 10.3 Comuni della Terza Classe	129
Tabella 10.4 Risultati Generazione Prima Classe	131
Tabella 10.5 Coefficienti Generazione Prima Classe	131
Tabella 10.6 Risultati Generazione Seconda Classe	132
Tabella 10.7 Coefficienti Generazione Seconda Classe	133
Tabella 10.8 Risultati Generazione Terza Classe	134
Tabella 10.9 Coefficienti Generazione Terza Classe.....	134
Tabella 11.1 Esempio Applicazione Logit Esterno modello "Piacenza 2001/Piacenza 1991"	138
Tabella 11.2 Esempio Applicazione Logit Interno modello "Piacenza 2001/Piacenza 1991"	139
Tabella 11.3 Confronto Piacenza/Mantova per comuni con più di 10.000 addetti	140
Tabella 11.4 Coefficienti Stimati per la Prima Formulazione del nuovo Logit Esterno	142
Tabella 11.5 Risultati Prima Formulazione Logit Esterno Piacenza 2001	142
Tabella 11.6 Classi in base al numero di occupati.....	143
Tabella 11.7 Coefficienti Stimati per la Seconda Formulazione del nuovo Logit Esterno	143
Tabella 11.8 Risultati Prima Classe Seconda Formulazione Logit Esterno Piacenza 2001	143
Tabella 11.9 Risultati Seconda Classe Seconda Formulazione Logit Esterno Piacenza 2001	143

Tabella 11.10 Risultati Terza Classe Seconda Formulazione Logit Esterno Piacenza 2001	144
Tabella 11.11 Risultati Quarta Classe Seconda Formulazione Logit Esterno Piacenza 2001	144
Tabella 11.12 Coefficienti Stimati per la Prima Formulazione del nuovo Logit Interno.....	145
Tabella 11.13 Risultati Prima Formulazione Logit Interno Piacenza 2001	145
Tabella 11.14 Coefficienti Stimati per la Seconda Formulazione del nuovo Logit Interno.....	146
Tabella 11.15 Risultati Prima Classe Seconda Formulazione Logit Interno Piacenza 2001	146
Tabella 11.16 Risultati Seconda Classe Seconda Formulazione Logit Interno Piacenza 2001	146
Tabella 11.17 Risultati Terza Classe Seconda Formulazione Logit Interno Piacenza 2001	147
Tabella 11.18 Risultati Quarta Classe Seconda Formulazione Logit Interno Piacenza 2001	147
Tabella 11.19 Risultati Prima Formulazione Logit Esterno Mantova 1991	148
Tabella 11.20 Risultati Prima Classe Seconda Formulazione Logit Esterno Mantova 1991	149
Tabella 11.21 Risultati Seconda Classe Seconda Formulazione Logit Esterno Mantova 1991	149
Tabella 11.22 Risultati Terza Classe Seconda Formulazione Logit Esterno Mantova 1991	149
Tabella 11.23 Risultati Quarta Classe Seconda Formulazione Logit Esterno Mantova 1991	150
Tabella 11.24 Risultati Prima Formulazione Logit Interno Mantova 1991	150
Tabella 11.25 Risultati Prima Classe Seconda Formulazione Logit Interno Mantova 1991	151
Tabella 11.26 Risultati Seconda Classe Seconda Formulazione Logit Interno Mantova 1991	151
Tabella 11.27 Risultati Terza Classe Seconda Formulazione Logit Interno Mantova 1991	151
Tabella 11.28 Risultati Quarta Classe Seconda Formulazione Logit Interno Mantova 1991	152
Tabella 13.1 Coefficienti del nuovo modello di Generazione	161

BIBLIOGRAFIA

- [1] Ennio Cascetta, “*Modelli per i Sistemi di Trasporto – Teoria e Applicazioni*”, UTET, Novara, 2006
- [2] Juan de Dios Ortuzar, Luis G. Willumsen, “*Pianificazione dei Sistemi di Trasporto*”, Ulrico Hoepli Editore, Milano, 2006
- [3] Ennio Cascetta, “*Metodi Quantitativi per la Pianificazione dei Sistemi di Trasporto*”, CEDAM, Padova, 1990
- [4] Stefano Ricci, “*Tecnica ed Economia dei Trasporti*”, Ulrico Hoepli Editore, Milano, 2011
- [5] Roberto Maja, “*Modellizzazione e Simulazione dei Sistemi Di Trasporto*”, Politecnico di Milano, 2011
- [6] Giovanni Storchi, “*Modellizzazione delle Reti di Trasporto*”, Studi urbani e regionali, 1985
- [7] Direzione Generale Infrastrutture e Mobilità, “*Indagine Origine/Destinazione 2002*”, Regione Lombardia, 2002
- [8] Federica Crocco, *Il Modello a 4 Stadi*, Università della Calabria, 2008
- [9] <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/it/index.html>
- [10] <http://www.aci.it/laci/studi-e-ricerche/dati-e-statistiche.html>
- [11] <http://www.istat.it/it/>
- [12] <http://www.urbistat.it/AdminStat/it/it/demografia/dati-sintesi/italia/>
- [13] <http://www.comuni-italiani.it/>
- [14] <http://www.tuttocitta.it/>
- [15] <http://www.unioncamere.gov.it/>
- [16] <http://www.starnet.unioncamere.it/>
- [17] <http://www3.ti.ch/DFE/DR/USTAT/>
- [18] <http://www.asr-lombardia.it/ASR/>
- [19] <http://www.dati.infrastrutture.regione.lombardia.it/myshopping/introduzione/intro1.htm>
- [20] <http://dati-censimentoindustriaeservizi.istat.it/>
- [21] <http://lombardia.smailweb.net/>
- [22] <http://fiscocamere.unioncamere.it/Atlante/index.htm>
- [23] http://www.censis.it/?shadow_comunicato_stampa=5540
- [24] <http://www.sintranet.it/sitidemo/statistica/>
- [25] <https://www.google.it/maps/preview>
- [26] <http://www.pc.camcom.it/>
- [27] <http://www.mn.camcom.it/>
- [28] <http://www.lom.camcom.it/?/home>

RINGRAZIAMENTI

Scrivere questa Tesi e lavorare su questo progetto è stato un lavoro lungo e difficile, ma al contempo gratificante e pieno di grande soddisfazione.

Per questi motivi non possiamo che ringraziare il Prof. Roberto Maja, il quale ci ha proposto questa attività e ci ha consentito di lavorare sempre nelle migliori condizioni possibili, aiutandoci anche ad indirizzare il nostro futuro. Si è dimostrato gentile e ben disposto nei nostri confronti: nonostante i mille impegni, ha sempre trovato il tempo e la pazienza per mettere a nostra disposizione la sua grande esperienza e per seguire passo dopo passo i nostri progressi.

Con Lui, ringraziamo calorosamente anche l'Ing. Paolo Gandini e l'Ing. Rosanna Iuliano, che ci hanno sostenuto nei momenti difficili, spronandoci ad andare diretti verso la meta finale.

Non si può non ringraziare i nostri genitori e le nostre famiglie, oltre che per il contributo economico offerto, anche e soprattutto per il sostegno morale nei momenti più difficili e più tempestosi di questi anni: ci hanno invogliati e stimolati ad andare avanti, credendo sempre nelle nostre capacità.

Ringraziamo, anche, i nostri compagni di università, che si sono rivelati persone affidabili e generose: con loro abbiamo sofferto e con loro abbiamo superato le difficoltà che abbiamo incontrato lungo il nostro cammino.

Infine, un giusto ringraziamento va anche a tutti i nostri amici più cari, che in questi anni ci hanno sostenuto e incitato a non mollare mai: grazie a loro abbiamo saputo reagire alle nostre delusioni e siamo riusciti a raggiungere il traguardo tanto sperato.