

POLITECNICO DI MILANO

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

Laurea Magistrale in Ingegneria Civile
Orientamento Infrastrutture di Trasporto



Calibrazione di un modello di scelta modale per il potenziamento di linee a scarso traffico

relatore: Prof. Ing. Roberto MAJA
correlatore: Ing. Paolo GANDINI

Tesi di: Luca LAMPIANO

Anno Accademico 2012/2013

Indice

Indice	1
Indice delle figure	5
Indice delle tabelle	7
Indice dei grafici	9
Introduzione	13
Finalità	13
Aspetti innovativi	13
Schema della Tesi	14
Parte uno: Lo Stato dell'Arte	17
1 La domanda di mobilità	19
1.1 Adib Kanafani	20
1.1.1 La domanda di trasporto	20
1.1.2 La teoria della domanda	20
1.1.3 La domanda e la domanda di trasporto	22
1.2 Ennio Cascetta	26
1.2.1 La domanda di trasporto	26
1.2.2 I modelli di domanda	26
1.2.3 La domanda come relazione matematica	28
1.3 Stefano Ricci	31
1.3.1 La domanda di trasporto individuale	31
1.3.2 La domanda di trasporto aggregata	33
1.3.3 Elasticità della domanda	34
1.4 Conclusione	39
2 La rappresentazione dell'offerta: il grafo	41
2.1 Il Grafo	41
2.1.1 Funzione di costo e di prestazione	42
3 I modelli per la rappresentazione della domanda	45
3.1 I modelli	45

3.1.1	Logit Multinomiale.....	46
3.1.2	Logit Binomiale	48
4	Il modello a quattro stadi: il modello di ripartizione modale.....	51
4.1	Il sottomodello di ripartizione modale	52
5	L'indagine SP.....	55
5.1	Le indagini.....	55
5.2	L'indagine SP.....	56
5.3	La progettazione.....	59
	Parte due: Il metodo	63
6	Obiettivi e passi preliminari.....	65
6.1	Obiettivo.....	65
6.2	Il modello.....	68
6.3	Conclusione	69
7	La costruzione dell'indagine SP	71
7.1	Gli attributi	71
7.1.1	La scelta degli attributi e dei livelli	72
7.2	Il Piano fattoriale completo	84
7.2.1	Numero di scenari	84
7.3	La suddivisione a blocchi	86
7.4	Il Piano Fattoriale Fratto.....	90
8	Il software.....	93
8.1	Le domande.....	93
8.2	La scelta del software	95
8.2.1	Gruppo di domande 1: introduzione.....	98
8.2.2	Gruppo di domande 2: il questionario	99
8.2.3	Chiusura dell'Indagine	99
9	Il bacino degli intervistati	101
9.1	Quantità di risposte ricevute	101
10	I dati raccolti.....	103
10.1	I risultati.....	103
10.1.1	Analisi dei dati raccolti.....	109
11	Elaborazione dei dati.....	113
11.1	Logit Binomiale (Cascetta).....	113
11.2	Logit Binomiale (Agresti)	115

11.2.1	Validazione del modello	117
11.2.2	Osservazioni.....	119
11.2.3	Rappresentazione del modello.....	119
12	Conclusione	123
12.1	La normalizzazione	123
12.2	Analisi critica dei risultati emersi.....	128
	Parte tre: Applicazione	131
13	Introduzione	133
13.1	Linea ferroviaria Lecco–Cantù–Como.....	133
14	La linea Como-Lecco: l’infrastruttura	137
14.1	La linea.....	137
14.1.1	Le stazioni e le fermate.....	138
14.1.2	Caratteristiche generali della linea	139
14.1.3	Inquadramento delle aree attraversate	141
14.2	Progetti futuri	142
15	La linea Como-Lecco: l’esercizio ferroviario	147
15.1	L’offerta commerciale e il modello di esercizio attuale	147
15.1.1	Progetti futuri	153
16	La linea Como-Lecco: il bacino degli utenti	163
16.1	Domanda di trasporto nel territorio lombardo	163
16.2	Bacino degli utenti della linea Como-Lecco.....	163
16.2.1	Utenza prossima	164
16.2.2	Utenza di bacino	165
16.3	Utenza totale	166
17	La linea Como-Lecco: applicazione.....	167
17.1	Introduzione	167
17.2	Criticità del sistema attuale.....	167
17.3	Ipotesi di partenza.....	168
17.4	Modifiche.....	172
17.4.1	Indicazioni preliminari	172
17.4.2	La frequenza	172
17.4.3	Il comfort	173
17.4.4	Costo.....	174
17.4.5	Tempo a piedi	174

Indice

17.4.6	Tempo a bordo	176
17.4.7	Conclusione	177
Conclusioni	.....	179
Possibili sviluppi.....		180
Bibliografia	.....	183

Indice delle figure

Figura 2.1:1 - Esempio di Grafo	41
Figura 3.1:1 - Struttura dell'albero di scelta del Logit Multinomiale.....	46
Figura 3.1:2 - Struttura dell'albero di scelta del Logit Binomiale	48
Figura 3.1:3 - Tabella di riferimento di Agresti in cui si suggeriscono i metodi di risoluzione per i vari tipi di modelli trattati all'interno del suo libro [1]	49
Figura 3.1:1 - Sistema di modelli di domanda a quattro stadi	52
Figura 5.2:1 - Esempio di Questionario SP, da [10]	57
Figura 6.1:1 - Confronto tra auto, bicicletta e autobus.....	65
Figura 6.1:2 - Stralcio di un biglietto ferroviario Trenitalia [41].....	66
Figura 7.1:1 - Scelta del tipo di autovettura a disposizione per il sito viamichelin.it.....	75
Figura 7.1:2 - Dati riguardanti il prezzo dei carburanti al 13/05/2013.....	76
Figura 7.1:3 - Regio Citadis da [35].....	81
Figura 7.1:4 - Esempio di ATR 100 della Stadler utilizzato sulla linea Merano-Malles, da [36]	82
Figura 7.1:5 - Affollato	83
Figura 7.1:6 - Libero.....	83
Figura 8.1:1 - Esempio di domanda del questionario.....	94
Figura 8.2:1 - Screenshot della struttura del software.....	96
Figura 8.2:2 - Screenshot del software LimeSurvey per la compilazione della descrizione del questionario	97
Figura 8.2:3 - Pagina iniziale del sondaggio.....	97
Figura 8.2:4 - Sondaggio: occupazione.....	98
Figura 8.2:5 - Sondaggio: spiegazione degli attributi	98
Figura 11.2:1 - Screenshot software R.....	115
Figura 11.2:2 - File test.txt.....	116
Figura 12.2:1 - Rete ferroviaria lombarda [40]; indicazione della posizione della Como-Lecco	133
Figura 13.1:1 - Lavori di costruzione della linea ferroviaria Como-Lecco, 1887 da [2]	134
Figura 13.1:2 - Linea ferroviaria Como-Cantù-Lecco, Costruzione del ponte sul Lambro, 1887 da [2]	134
Figura 13.1:3 - Il sistema di trasporto su rotaia nell'area meridionale comasca, 1913, da [2]	135
Figura 14.1:1 - Schema funzionali delle linee Monza-Molteno-Lecco e Como-Lecco.....	139
Figura 14.1:2 - Tracciato della linea Como-Lecco.....	140
Figura 14.2:1 - Automotrice termica Aln668 serie 100 attualmente in servizio sulle due linee	142
Figura 14.2:2 - PMO1, profilo minimo degli ostacoli n. 1 con profilo per elettrificazione [26].....	144
Figura 14.2:3 - esempi di catenaria rigida in galleria.....	145
Figura 15.1:1 - Locomotiva D445.....	147
Figura 15.1:2 - Offerta commerciale complessiva giornaliera	149
Figura 15.1:3 - Linea Monza-Molteno e Como-Lecco suddivisa in Como-Molteno e Molteno-Lecco	149
Figura 15.1:4 - Visione di insieme delle due linee	154
Figura 15.1:5 - La linea Como-Lecco.....	154
Figura 15.1:6 - La linea Monza-Molteno	155
Figura 15.1:7 - Schema futuro delle linee S.....	157
Figura 15.1:8 - Treno Alstom Meridian	158
Figura 15.1:9 - Stralcio del diagramma della linea Monza-Molteno-Lecco nelle ore di punta	159
Figura 15.1:10 - Stralcio del diagramma orario della linea Molteno-Como nelle ore di punta	160

Figura 16.2:1 - Utenza prossima	164
Figura 16.2:2 - Utenza di bacino	165
Figura 17.3:1 - Rete ferroviaria lombarda [40]; indicazione della posizione della Como-Lecco	169
Figura 17.3:2 - Linea S8 da [42]	169
Figura 17.3:3 - Orario S8: Milano-Lecco	170
Figura 17.3:4 - Orario S8: Lecco-Milano	170
Figura 17.3:5 - Stralcio dello schema ferroviario lombardo per la zona che comprende Milano, Monza, Como e Lecco	171
Figura 17.4:1 - Esempio di modifica del percorso, che sposta la linea all'interno del territorio cittadino, con specifica stazione/fermata	175
Figura 17.4:2 - Distanza casa-stazione, da Gandini [7]	175

Indice delle tabelle

Tabella 5.3:1 - Esempio di fattoriale fratto per la variabile F	61
Tabella 5.3:2 - Costruzione di due blocchi a quattro scenari	61
Tabella 6.1:1 - Incidenti, feriti e morti nei trasporti stradali, marittimi, aerei e ferroviari per gli anni 2001-2008	67
Tabella 7.1:1 - Esempio di attributi e di livelli	72
Tabella 7.1:2 - Semplificazione delle distanza	74
Tabella 7.1:3 - Autovetture distinte per cilindrata e alimentazione, ACI 2011	75
Tabella 7.1:4 - Consumi standard secondo viamchelin.it	75
Tabella 7.1:5 - Tariffario regionale TreNord per i biglietti [42]	77
Tabella 7.1:6 - Tariffario regionale TreNord per gli abbonamenti [42]	78
Tabella 7.1:7 - Diagramma di trazione per la linea attuale	80
Tabella 7.1:8 - Dati caratteristici delle due motrici per la modifica del diagramma di trazione	81
Tabella 7.1:9 - Diagramma di trazione per il Regio Citadis della Alstom	82
Tabella 7.1:10 - Diagramma di trazione per lo Stadler ATR 100	83
Tabella 7.2:1 - Elenco degli attributi e dei rispettivi livelli dell'indagine SP	84
Tabella 7.2:2 - Esempio di fattoriale fratto per l'attributo F	85
Tabella 7.2:3 - Costruzione di due blocchi a quattro scenari	86
Tabella 7.2:4 - Valori per ogni livello	86
Tabella 7.3:1 - Possibili Combinazioni tra i livelli degli attributi	87
Tabella 7.3:2 - Descrizione di ogni singolo scenario completo di blocco di appartenenza	89
Tabella 7.4:1 - Valori per ogni livello	90
Tabella 7.4:2 - Fattoriale Fratto per l'attributo tempo a bordo	90
Tabella 7.4:3 - Possibili Combinazioni tra i livelli degli attributi	91
Tabella 7.4:4 - Descrizione di ogni singolo scenario per il PFF completo di blocco di appartenenza	92
Tabella 9.1:1 - Andamento del numero di risposte complete ricevute nei 25 giorni di osservazione	101
Tabella 9.1:2 - Numero di risposte per blocco di domande	102
Tabella 9.1:3 - Risposte per occupazione	102
Tabella 10.1:1 – Stralcio della tabella delle risposte al questionario	103
Tabella 10.1:2 - Risultati del questionario	109
Tabella 10.1:3 - Confronto tra due scenari	110
Tabella 10.1:4 - Risposte relative al gruppo 3 a cui appartiene la domanda numero 192	110
Tabella 10.1:5 - Risposte relative al gruppo 1 a cui appartiene la domanda numero 216	111
Tabella 11.2:1 - Risultati dal software R	117
Tabella 11.2:2 - Segno dei coefficienti calibrati	117
Tabella 11.2:3 - VOT per i vari tempi presenti nell'indagine	118
Tabella 12.1:1 - Coefficienti degli attributi	123
Tabella 12.1:2 - Moduli dei coefficienti	124
Tabella 12.1:3 - Normalizzazione dei livelli degli attributi	125
Tabella 12.1:4 - Risultati dei coefficienti secondo la normalizzazione effettuata	125
Tabella 12.2:1 - Classifica degli attributi	128
Tabella 14.1:1 - Elenco delle distanze tra le stazioni e fermate delle linea	138
Tabella 14.1:2 - caratteristiche infrastrutturali della linea Lecco-Albate Camerlata	140

Tabella 14.2:1 - Lunghezza delle gallerie presenti sulla linea Monza-Molteno e sulla linea Lecco-AlbateCamerlta.....	143
Tabella 15.1:1 - Servizio specifico solo per la Como-Lecco	150
Tabella 15.1:2 - Numero treni giorno	150
Tabella 15.1:3 - Orari Como-Lecco	151
Tabella 15.1:4 - Orario Lecco-Como	151
Tabella 15.1:5 - Turno materiale	152
Tabella 15.1:6 - Confronto tra offerta attuale e futura.....	156
Tabella 15.1:7 - Ipotesi di partenza per le due linee: Lecco-Como e Monza-Molteno-Como.....	158
Tabella 15.1:8 - Output per le due linee (3 e 4: durante le ore di morbida con il ritiro di alcuni mezzi aumenta il numero di scorte).....	159
Tabella 15.1:9 - Valutazione della capacità di trasporto futura dei vari rami delle linee	160
Tabella 16.2:1 - Utenza prossima in n° di abitanti per ogni stazione della linea Como-Lecco.....	164
Tabella 16.2:2 - Utenza di bacino in n° di abitanti per ogni stazione della linea Como-Lecco.....	165
Tabella 16.3:1 - Utenza di bacino in n° di abitanti per ogni stazione della linea Como-Lecco.....	166
Tabella 17.1:1 - Graduatorie delle caratteristiche del servizio offerto	167
Tabella 17.4:1 - Priorità di intervento	177

Indice dei grafici

Grafico 1.1:1 - Effetto del sistema di trasporto sul traffico passante, da [6]	21
Grafico 1.1:2 - Effetto del costo generalizzato sul traffico, da [6].....	22
Grafico 1.1:3 - Legame tra la domanda di beni e la domanda di trasporto di tali beni, da [6]	22
Grafico 1.3:1 - La domanda di servizio n in funzione del suo prezzo, da [18]	31
Grafico 1.3:2 - La domanda del servizio n in funzione del prezzo di beni e servizi succedanei, da [18]	32
Grafico 1.3:3 - La domanda del servizio n in funzione del prezzo di beni e servizi ad esso complementari, da [18].....	32
Grafico 1.3:4 - La domanda del servizio n in funzione del reddito dell'utente, da [18]	33
Grafico 1.3:5 - Traslazione positiva (verso dx) e negativa (verso sx) della curva di domanda aggregata, da [18].....	34
Grafico 1.3:6 - Elasticità della domanda in un punto, da [18].....	35
Grafico 1.3:7 - Curva di domanda a elasticità variabile da 0 a infinito, da [18]	35
Grafico 1.3:8 - Curva di domanda a elasticità costante e unitaria, da [18]	36
Grafico 1.3:9 - Curve di domanda secanti a diversa elasticità, da [18]	36
Grafico 1.3:10 - Curve di domanda parallele a diversa elasticità, da [18].....	37
Grafico 1.3:11 - Curva di domanda a elasticità nulla, da [18]	37
Grafico 1.3:12 - Curva di domanda a elasticità infinita, da [18].....	38
Grafico 6.1:1 - Numero di automobili ogni 1.000.000 di abitanti	67
Grafico 6.1:2 - Ripartizione modale in Italia tra mezzo pubblico e mezzo privato.....	68
Grafico 7.1:1 - Curva di arrivo degli utenti (da Maja).....	78
Grafico 10.1:1 - Ripartizione modale in Italia tra trasporto pubblico e mezzo privato.....	110
Grafico 11.2:1 - Curva di arrivo degli utenti	118
Grafico 11.2:2 - Variazione dell'attributo costo	120
Grafico 11.2:3 - Variazione dell'attributo tempo a bordo.....	120
Grafico 11.2:4 - Variazione dell'attributo frequenza.....	121
Grafico 11.2:5 - Variazione dell'attributo tempo a piedi.....	121
Grafico 11.2:6 - Variazione dell'attributo comfort	122
Grafico 12.1:1 - Variazione dell'attributo comfort	123
Grafico 12.1:2 - Variazione dell'attributo frequenza.....	124
Grafico 12.1:3 - Variazione dell'attributo costo	126
Grafico 12.1:4 - Variazione dell'attributo tempo a bordo.....	126
Grafico 12.1:5 - Variazione dell'attributo frequenza.....	127
Grafico 12.1:6 - Variazione dell'attributo tempo a piedi.....	127
Grafico 12.1:7 - Variazione dell'attributo comfort	127
Grafico 12.2:1 - Variazione di tutti gli attributi	128
Grafico 12.2:2 - Variazione tra i valori degli attributi.....	129
Grafico 15.1:1 - Ritardo medio per gli 2009 e 2010	153
Grafico 15.1:2 - Ritardo medio per gli 2010 e 2011	153
Grafico 17.4:1 - Variazione dell'attributo frequenza.....	172
Grafico 17.4:2 - Variazione dell'attributo comfort	173
Grafico 17.4:3 - Variazione dell'attributo tempo a piedi.....	174
Grafico 17.4:4 - Variazione del tempo a bordo	176

Abstract

Il seguente lavoro di Tesi si è occupato di definire un modello in grado di creare una gerarchia tra gli attributi descrittivi un servizio ferroviario scarsamente utilizzato. In questo modo è possibile sviluppare uno strumento che possa coadiuvare la scelta degli interventi da eseguire per le linee in oggetto.

Dopo un'analisi dei concetti teorici necessari a questo scopo, si è optato per il ricorso alla calibrazione di un modello comportamentale per la ripartizione modale tramite indagine SP. Lo scopo di questa indagine è di indagare il possibile comportamento degli utenti davanti a situazioni ipotetiche ma realistiche, in questo caso inerenti la scelta di compiere un determinato ipotetico spostamento con l'automobile o con il treno. Sono stati, quindi, selezionati gli attributi maggiormente in grado di caratterizzare le due alternative, operazione delicata che ha richiesto l'individuazione di un valido compromesso tra sinteticità e completezza della descrizione: frequenza, comfort, distanza della stazione dalla meta e dall'origine, costo dello spostamento e tempo a bordo del mezzo (alcuni attributi validi solo per lo spostamento su treno).

L'indagine, composta da 216 scenari, e quindi da 216 domande a cui rispondere, è stata suddivisa in 27 gruppi in modo che ogni intervistato rispondesse solo a 8 domande, per non incorrere in fenomeni di stanchezza da parte dell'utente.

La raccolta di dati relativi a più di 350 utenti ha reso possibile il processo di calibrazione del modello comportamentale scelto, il Logit Binomiale. Nello specifico, la calibrazione ha permesso di trovare il valore dei coefficienti moltiplicativi degli attributi descrittivi l'alternativa ferroviaria.

Attraverso una normalizzazione di questi coefficienti, che ne ha consentito il confronto, è stato possibile determinare la gerarchia ricercata, che ha evidenziato l'importanza dell'attributo frequenza, conferendo, invece, una minor rilevanza all'attributo riguardante il tempo di viaggio.

Infine i risultati ottenuti sono stati applicati al caso studio della linea ferroviaria Como-Lecco, per il quale sono stati consigliati possibili interventi finalizzati ad aumentarne l'attrattività.

Introduzione

Finalità

Gli investimenti pubblici, nello specifico gli investimenti per la mobilità, sono ritenuti necessari per migliorare la vita della collettività. È quindi necessario che questi investimenti siano utilizzati in ciò che si ritiene utile per tutti, in una logica di priorità, senza spreco di risorse. Nell'attuale contesto economico, caratterizzato da limitate possibilità di investimento da parte dell'amministrazione pubblica, è ancora più pressante la necessità di poter intervenire in modo da ottimizzare quanto più possibile l'utilizzo delle risorse.

In un'ottica di una mobilità più sostenibile, che richiede un minor spreco delle risorse naturali e un minor inquinamento, la mobilità ferroviaria costituisce una soluzione efficiente: ottimizzazione dello spazio utilizzato, possibilità di captare energia elettrica per la propria alimentazione, possibilità di trasportare un ingente quantitativo di utenti o merci a un costo energetico contenuto. In un periodo in cui il costo del carburante è in costante aumento, il cui prezzo è più che raddoppiato negli ultimi dieci anni (dati dal Ministero dello Sviluppo Economico), l'alternativa treno può presentarsi in modo convincente come valida sostituta della mobilità su gomma.

Investire in strutture già esistenti ma attualmente sottoutilizzate, può essere una soluzione a costi più contenuti, che può rivelarsi una buona scelta in quanto le necessità di investire sono certamente più limitate. Questa Tesi, quindi, si prefigge lo scopo di investigare le possibilità di rilancio delle linee secondarie attualmente scarsamente utilizzate per spostamenti sistematici. Ha lo scopo di poter fornire al decisore politico e più in generale ai soggetti coinvolti nella gestione di una linea ferroviaria secondaria uno strumento oggettivo, basato su dati aderenti alla realtà e raccolti tra gli utenti, che lo possa supportare nella decisione di quali modifiche apportare a una linea ferroviaria affinché possa essere quanto più possibile attrattiva e utilizzata da un maggior numero di utenti.

L'obiettivo è quindi quello di trovare un processo metodologico oggettivo che porti alla creazione di una gerarchia tra i vari attributi del servizio ferroviario offerto. Questa metodologia deve essere in grado di affermare, per ogni modifica ipotizzata, quale possa essere il risultato in termini numerici di utenti trasportati sul servizio ferroviario.

Aspetti innovativi

La scelta di quali modifiche apportare alle infrastrutture pubbliche è compito del decisore politico, in quanto eletto e quindi amministratore della cosa pubblica e delle risorse economiche per il suo mantenimento. Nel caso della gestione delle linee ferroviarie regionali i soggetti coinvolti sono molteplici: gestori dell'infrastruttura, del servizio, regioni, province, enti locali. Tali soggetti, spesso, non possono avvalersi di strumenti di supporto alle decisioni che possano indicare in modo oggettivo quali siano le modifiche più efficaci ed efficienti da apportare affinché si giunga a un miglioramento del servizio offerto. In questo contesto, il presente lavoro di Tesi, vuole offrire uno strumento oggettivo, in grado di stabilire un grado di priorità dei possibili interventi fondato su una stima dei possibili risultati quantitativi ad essi associabili.

Al fine di poter conseguire l'obiettivo di sviluppare uno strumento il più possibile oggettivo e generale, nel senso di replicabile, si è deciso di ricorrere alla calibrazione di un modello tramite un'indagine SP (Stated Preferences, relativa alle preferenze dichiarate).

Tale approccio, nonostante la modellizzazione per sua natura presenti delle limitazioni dovute alla non perfetta rappresentazione della realtà, permette di potersi avvalere di uno strumento universale, che può essere utilizzato potenzialmente in diversi contesti.

L'indagine SP ha lo scopo di indagare le scelte dell'utente rispetto a soluzioni alternative le cui caratteristiche sono realistiche ma non reali, affinché possa calibrare il modello che verrà impiegato per simulare il comportamento degli utenti. Calibrare il modello significa trovare il valore dei coefficienti propri di ogni attributo, la cui combinazione dà come risultato la probabilità che gli utenti compiano una determinata scelta nel caso in cui ci fossero determinati valori di attributi. Questo è il risultato del modello che simula il comportamento degli utenti.

Il processo di calibrazione in questo caso sarà utilizzato per costruire la gerarchia degli attributi. Infatti, i valori calibrati dei coefficienti sono moltiplicativi dei livelli che i loro attributi assumono. Quindi si può affermare che questi coefficienti diano un valore del "peso", dell'importanza, che i determinati attributi assumono per gli utenti.

Questo risulta essere un nuovo modo di utilizzare il processo di calibrazione del modello. Il cui obiettivo non risiede più nell'utilizzazione di un modello di simulazione del comportamento, ma quello di creare una gerarchia tra i vari attributi utilizzati. Per questo motivo sarà necessario successivamente normalizzare i risultati ottenuti in modo che possano essere tra loro confrontabili.

In questo modo il decisore politico potrà essere supportato nella sua scelta da uno strumento oggettivo, fondato su dati reali, raccolti tramite un'indagine tra i potenziali utenti del servizio che si vuole migliorare.

Per la diffusione dei questionari dell'indagine SP è possibile ricorrere alla compilazione via web, attraverso social network ed e-mail, permettendo di raggiungere un maggior numero di utenti.

Schema della Tesi

La Tesi è stata suddivisa in tre parti, ciascuna parte con una specifica finalità. Sono, inoltre presenti due allegati. Di seguito vengono presentati in modo sintetico i contenuti di ciascun capitolo.

Parte Uno

Nella prima parte della Tesi verrà illustrata la teoria necessaria per affrontare al meglio gli scopi di questa trattazione. In particolar modo si porrà l'accento sul modello di ripartizione modale. Infatti questo modello è quello che riguarda la scelta modale, cardine di questa trattazione. Si sono poi delineate le modalità di indagine necessarie per la calibrazione del modello. Quest'ultimo argomento sarà propedeutico per lo sviluppo del questionario, che verrà affrontato nella Parte Due.

Parte Due

In questa seconda parte s'illustra come sia stata sviluppata l'indagine SP, la selezione di quali attributi e livelli utilizzare per descrivere le alternative di scelta, tramite una corposa operazione di ricerca e definizione delle caratteristiche. Vengono presentati gli strumenti informatici utilizzati per sottoporre l'indagine agli utenti, in modo da raggiungere il maggior numero di utenti possibile. Vengono quindi illustrati i risultati dell'indagine in modo disaggregato e aggregato e le elaborazioni per giungere alla compilazione della loro gerarchia, tramite un software statistico. Infine si analizzano criticamente i risultati ottenuti.

Parte Tre

In quest'ultima parte si applica il metodo costruito nella parte precedente a un caso reale: la linea ferroviaria Como-Lecco. Se ne presentano le caratteristiche dal punto di vista infrastrutturale, dal punto di vista dell'esercizio ferroviario attuale e dal punto di vista del bacino degli utenti potenziali della linea.

Allegato 1

Questo allegato raccoglie, tramite una tabella, tutte le risposte ricevute, sia complete, sia incomplete, per l'indagine sviluppata nella Parte Due.

Allegato 2

L'allegato raccoglie la planimetria e il profilo della linea ferroviaria Lecco-Camerlata, caso di studio della parte Tre.

Parte uno: Lo Stato dell'Arte

Nella seguente parte verrà trattato l'approccio teorico utilizzato per affrontare l'analisi della ripartizione modale, effettuata attraverso un'indagine SP che considererà una situazione ipotetica (ma realistica) della scelta tra l'uso del treno e dell'automobile.

- | | |
|--|--|
| Capitolo 1, La domanda di mobilità: | il seguente capitolo descrive la domanda di trasporto secondo diversi autori: Adib Kanafani, Ennio Cascetta e Stefano Ricci, per poi decidere l'approccio da utilizzare in questa trattazione; |
| Capitolo 2, La rappresentazione dell'offerta: il grafo: | questo capitolo presenta il grafo dell'offerta e in particolare la funzione di costo con cui se ne rappresentano gli archi. Il materiale utilizzato per la sua redazione deriva da [12]; |
| Capitolo 3, I modelli per la rappresentazione della domanda: | in questo capitolo s'illustrano i modelli che si utilizzano per rappresentare il comportamento degli utenti che compongono la domanda di trasporto; |
| Capitolo 4, Il modello a quattro stadi: il modello di ripartizione modale: | obiettivo di questo capitolo è descrivere l'interazione che avviene tra la domanda e l'offerta. L'interazione tra domanda e offerta viene solitamente descritta tramite il modello a quattro stadi, che è una simulazione della domanda che viene fattorializzata, cioè suddivisa, in quattro sottomodelli interconnessi tra di loro, ciascuno relativo a una o più dimensioni di scelta. Più specificatamente si approfondirà il sottomodello di ripartizione modale degli utenti. La bibliografia di questo capitolo si basa su [3] di Ennio Cascetta e [17] di Willumsen e Ortuzar; |
| Capitolo 5, L'indagine SP: | l'obiettivo del capitolo è quello di presentare e approfondire l'indagine SP (Stated Preferences) e la relativa progettazione. |

1 La domanda di mobilità

Lo studio della domanda è un tema molto importante per lo svolgimento di questa Tesi. È attraverso la sua analisi, infatti, che sarà possibile creare la gerarchia ricercata.

La domanda di mobilità rispecchia la necessità di utilizzare i diversi poli attrattivi dislocati sulla superficie urbana, e dipende dalla posizione di origine e di destinazione di ogni spostamento, e quindi dalla distribuzione sul territorio delle residenze e delle attività. Il bisogno di trasporto, quindi, deriva dalle interazioni che si creano tra le attività sociali ed economiche disperse sulla territorio. La diversità di queste attività e la complessità dei loro schemi d'interazione porta a stabilire diverse definizioni delle necessità di trasporto.

Le ragioni che spingono le persone a spostarsi sono infinite, spaziano dai bisogni fondamentali per la vita fino a muoversi tanto per il semplice piacere di farlo. Anche i beni vengono trasportati da un luogo ad un altro per svariate ragioni, che derivano da necessità economiche di produzione e consumo e dalla ricerca di vantaggi economici e di guadagni.

La diversità di schemi d'interazioni socioeconomiche e la complessità che ne risulta nell'evoluzione della necessità di trasporto indicano che le analisi sistematiche sono essenziali per capire la relazione tra la mobilità ed i mezzi di trasporto.

Questo è il principale obiettivo dell'analisi della domanda di trasporto, che si propone lo scopo ultimo di quantificare e caratterizzare le esigenze di mobilità.

Le ragioni, quindi, che spingono verso l'analisi della domanda di trasporto sono rilevanti, e per questi motivi l'analisi della domanda è un'attività essenziale per la pianificazione dei trasporti. Essa fornisce il quadro che stima il bisogno di trasporto attuale ed è il punto di partenza per la previsione dei volumi di traffico che utilizzeranno le reti di trasporto, impiegando sia il mezzo di trasporto collettivo sia quello individuale. Questa previsione è essenziale per la progettazione delle reti di trasporto e per la valutazione della fattibilità economica di nuove realizzazioni e di interventi.

Le scelte legate agli spostamenti che l'utente compie possono essere classificate secondo diversi criteri. Una prima classificazione, che Cascetta propone in [3], prevede la distinzione in scelte di mobilità, che sono scelte di lungo periodo, e riguardano la scelta della posizione della propria casa (e quindi l'origine dello spostamento) e del proprio luogo di lavoro (destinazione del proprio spostamento), ma anche scelte che riguardano il possesso della patente, il numero di auto, ... e scelte di viaggio, che sono scelte di medio e breve periodo, riguardanti, ad esempio l'orario del proprio spostamento, il modo, la destinazione, il percorso,... e utilizzano il sistema di offerta di trasporto per svolgere differenti attività in luoghi differenti.

Le scelte di mobilità, quindi, vanno a creare il punto di partenza, le condizioni da cui partire per poi effettuare le scelte di viaggio, potendone influenzare la valutazione.

Il risultato delle scelte effettuate è rappresentato dai flussi di domanda, cioè il numero di persone che si spostano fra le diverse zone di un definito contesto territoriale, per i diversi motivi, nei diversi periodi della giornata, con i diversi modi di trasporto disponibili.

Dopo un'approfondita analisi della letteratura scientifica, si è deciso di concentrarsi su tre autori che presentano in modi differenti la domanda di trasporto: Adib Kanafani, Ennio Cascetta e Stefano Ricci.

1.1 Adib Kanafani

Adib Kanafani è stato professore del ramo trasporti di Ingegneria Civile presso l'Università di Berkeley, California. Kanafani, nel suo libro [6], si concentra prevalentemente sul trasporto di merci e sugli aspetti economici del trasporto e, soprattutto, lega fortemente la domanda di trasporto alla teoria microeconomica della domanda e dell'offerta, facendo derivare la prima da quest'ultima.

1.1.1 La domanda di trasporto

Secondo quanto scrive Kanafani, il primo passo nello studio della relazione tra attività socioeconomiche e la necessità di trasporto è quello di misurare in modo significativo questa necessità. La necessità di trasporto si palesa attraverso i volumi di traffico, come ad esempio può essere il flusso di automobili su di una strada, di passeggeri su di un treno, o di tonnellate di merci su di una nave. Ad ogni modo, il solo volume di traffico può essere un'indicazione ingannevole del reale bisogno di trasporto, poiché il volume di traffico rappresenta una necessità che viene mitigata, e quindi che trova risposta dalla disponibilità del servizio offerto. Chiaramente il volume di traffico di un servizio di trasporto che sta operando a capacità massima non può essere preso come una manifestazione della reale necessità di trasporto, poiché questo non comprende il traffico addizionale che potrebbe utilizzare tale struttura nel caso in cui la sua capacità fosse maggiore. Se l'aumento di capacità portasse ad un incremento del volume di traffico, ovviamente il traffico potenziale sarebbe maggiore del volume di traffico che era stato osservato originariamente.

Dal precedente esempio si può osservare che una singola misura del volume di traffico non è sufficiente per esprimere il bisogno di trasporto. Ciò che si vuole è definire completamente i diversi livelli del volume possibili a differenti livelli di servizio. Per questa ragione, il concetto di *domanda* come è inteso nella teoria economica è utilizzato per esprimere la necessità di trasporto. In economia la domanda è espressa con una serie di numeri, riferiti a un *piano di domanda o funzione di domanda*, che descrive i livelli di consumo di un particolare bene al variare del suo prezzo. La domanda di trasporto è definita per lo più nello stesso modo. Per trasportare persone e merci si consuma energia e si utilizza del tempo, per i quali bisogna prevedere sostenere dei costi. I volumi di traffico che si verificherebbero in corrispondenza dei diversi costi rappresentano l'entità della domanda di trasporto.

In prima analisi Kanafani definisce la domanda di trasporto come funzione di utenti specifici i , di una specifica finestra temporale e di specifiche caratteristiche spaziali. Si può parlare, ad esempio, della domanda di trasporto da parte di pendolari che si devono spostare tra due località (o e d) in un'area urbana durante il giorno settimanale medio (h).

Si può quindi tradurre il pensiero di Kanafani con la seguente equazione.

$$d_{od}^i = d(h)$$

1.1.2 La teoria della domanda

Kanafani nel suo libro si concentra particolarmente sulla necessità di distinzione tra domanda di trasporto e volume di traffico, utilizzando il seguente semplice esempio per spiegarne la differenza, ma anche per mostrare la connessione tra la domanda di beni e la domanda di trasporto.

Si consideri l'ipotetica situazione in cui ci siano due cittadine all'interno di un'area rurale, separate da un terreno irto e montuoso e non connesse in alcun modo. La prima di queste cittadine, la cittadina A, è un centro di produzione agricola dove si genera un surplus di produzione di beni alimentari. La seconda cittadina, la cittadina B, è un centro industriale, dove, però, non è presente alcuna produzione alimentare. È facile concludere che B sarebbe un buon mercato in cui vendere i prodotti di A, se solo fosse possibile portare questi beni a B con un costo ragionevole. In questa situazione, un mercante intraprendente, sia di A

sia di B, porterebbe una piccola quantità di prodotti alimentari costosi, con grandi difficoltà, tra A e B. Il prezzo di vendita di questi prodotti sarebbe molto più alto rispetto a quello che avrebbero se fossero venduti nel loro luogo di origine, la cittadina A. La differenza di prezzo sarebbe dovuta al tempo necessario al mercante per trasportare la merce e per la possibile perdita e o deterioramento di questi prodotti durante il viaggio. Conseguentemente all'alto prezzo di vendita in B, ci potranno essere solamente poche persone che potrebbero permettersi tali prodotti. Si consideri, ora, una seconda situazione in cui è presente un sentiero tra le due cittadine, tanto che è possibile trasportare le merci più semplicemente e velocemente. I rischi di trasporto per il mercante diminuiscono, così che si abbassa il prezzo di vendita in B; in questo modo i prodotti sono disponibili per un numero maggiore di persone. L'ammontare di traffico tra A e B aumenta. Si consideri ora un terzo scenario ipotetico, in cui la connessione tra A e B ora è subordinata ad una mulattiera. In questa situazione i costi di trasporto si riducono ulteriormente, in quanto i mercanti possono trasportare una maggiore quantità di prodotti in modo ancora più veloce e a costi minori. Così facendo, il prezzo di vendita in B si riduce ulteriormente, e ancora più persone possono permettersi tali beni.

L'aumento di traffico che risulta dal miglioramento del sistema di trasporto è un risultato diretto dell'aumento di vendite in B che è derivato dalla diminuzione del prezzo di vendita. Se fosse posizionato, già nel primo caso di collegamento tra le due cittadine, un contatore di traffico lungo il collegamento tra le due cittadine, la conclusione che si potrebbe trarre dal conto del traffico passante sarebbe che non c'è molto traffico tra le due città e che forse, non c'è molta domanda di trasporto.

Con il miglioramento strutturale del collegamento, l'osservatore dovrebbe modificare le sue conclusioni e, per l'ultimo caso, dovrebbe ammettere che la domanda di trasporto tra A e B è, invece, molto alta. Ciò potrebbe suggerire che la domanda di trasporto tra A e B dipende dal tipo di sistema di trasporto che connette i due abitati e che la domanda può quindi aumentare migliorando l'infrastruttura. Ma questa conclusione è sbagliata. Questa errata conclusione nasce se si confonde il traffico con la domanda. Ma in realtà *il traffico è solo rappresentazione della domanda che viene soddisfatta da tale infrastruttura.*

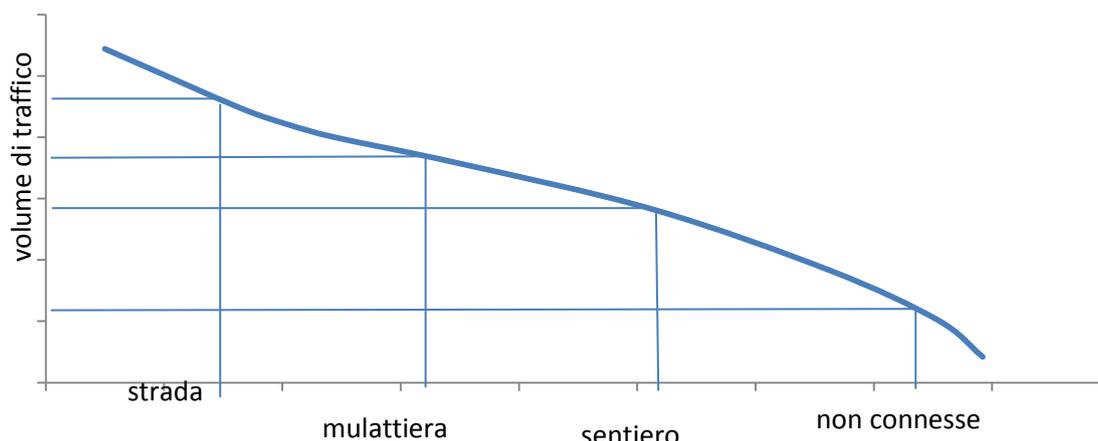


Grafico 1.1:1 - Effetto del sistema di trasporto sul traffico passante, da [6]

La curva del grafico precedente, il Grafico 1.1:1, rappresenta un'unica domanda, ma molte condizioni di traffico. Se si modificasse l'asse delle ascisse, per rappresentare il costo dello spostamento (con il miglioramento del sistema di trasporto, il costo si riduce), allora potremmo vedere che la curva rappresenta un legame tra il volume di traffico e il costo di trasporto. Appena il costo di trasporto si riduce, il volume di

traffico aumenta e viceversa. È questo legame che rappresenta la domanda di trasporto e non ogni singolo valore di traffico.

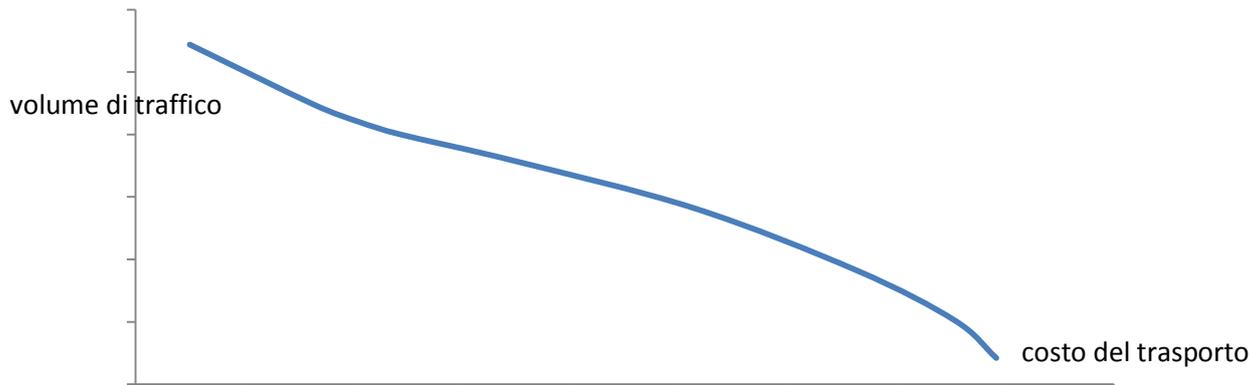


Grafico 1.1:2 - Effetto del costo generalizzato sul traffico, da [6]

1.1.3 La domanda e la domanda di trasporto

Il volume di traffico presente sulla strada che va da A a B è influenzato dalle condizioni della strada e dal costo di trasporto, ma anche dalla richiesta di merci in B. Infatti, se la domanda di questi prodotti in B è bassa o non è presente, allora non ci sarebbe traffico tra A e B, indipendentemente dalle condizioni del collegamento tra i due centri. Allo stesso modo, alle stesse condizioni di collegamento, fissato un particolare punto dell'asse dell'ascisse del Grafico 1.1:2, il flusso di traffico dipenderà dalla richiesta di beni da parte di B. Per questo motivo, si dice che la domanda di trasporto tra A e B è funzione della domanda di beni in B. Infatti non c'è ragione di trasportare questi beni semplicemente per spostarli da un luogo all'altro, nonostante questo possa essere poco costoso.

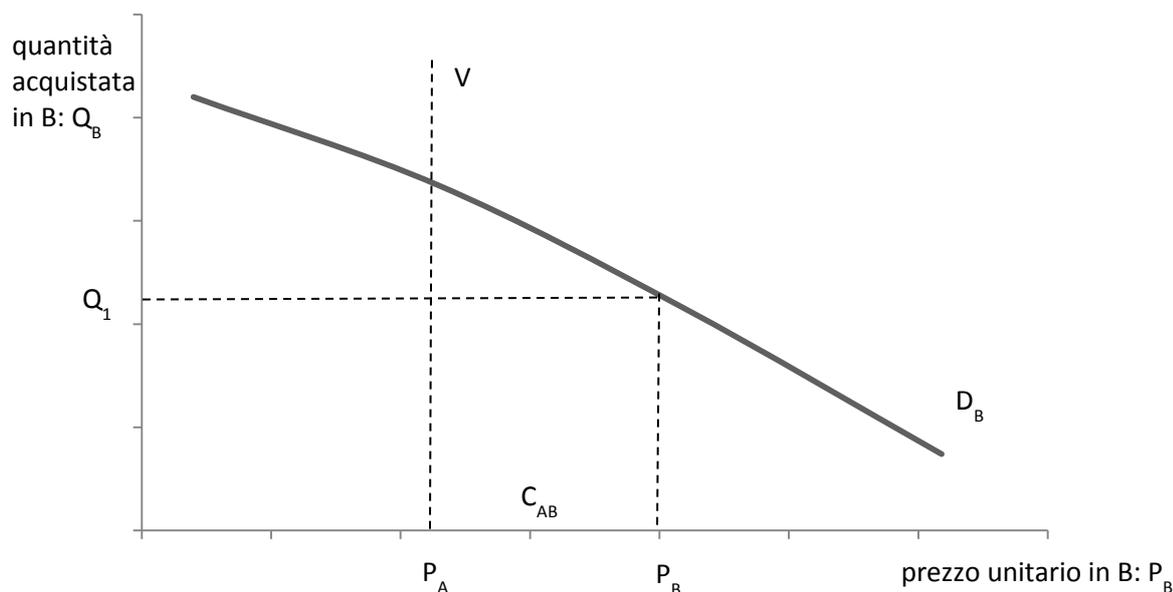


Grafico 1.1:3 - Legame tra la domanda di beni e la domanda di trasporto di tali beni, da [6]

Per poter osservare come la curva di domanda di trasporto possa essere dedotta direttamente dalla domanda degli stessi beni in B, si consideri la curva D_B , come mostrata nel Grafico 1.1:3. Questa curva rappresenta la domanda in B di beni ed è una funzione tra la quantità acquistata Q_B e del prezzo unitario

dei beni P_B . Per trasformare questa relazione tra il totale trasportato V e il costo del trasporto C_{AB} , si deve, semplicemente richiamare che il prezzo in B deve essere uguale al prezzo in A a cui aggiungere il costo di trasporto:

$$P_B = P_A + C_{AB}$$

Così, traslando l'asse delle ordinate del Grafico 1.1:3 di un valore pari a P_A che si può assumere costante per l'esempio, si ottiene una relazione in cui la quantità trasportata V è una funzione del costo di trasporto C_{AB} . Matematicamente, se la domanda di beni in B dovesse essere trasformata in funzione:

$$Q_B = Q(P_B)$$

e se si dovesse definire la domanda di trasporto con un'altra funzione:

$$V_{AB} = V(C_{AB})$$

allora risulta essere evidente da Grafico 1.1:3 che la seguente relazione è sempre vera:

$$V(C_{AB}) = Q(P_A + C_{AB})$$

ciò significa che la conoscenza della domanda di beni Q è sufficiente per determinare la domanda di trasporto V .

Passando ad una situazione più realistica, la relazione tra la funzioni di domanda Q e V risulta essere molto più complessa, e tale complessità dipende dalla struttura del mercato dei prodotti e il processo di marketing utilizzato. In complesse condizioni di mercato, i flussi di trasporto di beni spesso sono il risultato di un processo di ottimizzazione in cui il produttore, o i produttori, cercano di raggiungere un obiettivo massimizzando i ricavi netti.

Il rapporto tra la domanda di trasporto e la domanda di attività socioeconomiche può essere esteso a tutte le forme di trasporto, sia esso trasporto di persone o di cose. La domanda di trasporto per fare acquisti in un'area urbana deriva dalla domanda di fare acquisti, la domanda di viaggi aerei per motivi turistici deriva dalla domanda di svago in determinate località, e così via...

A causa di questa forte relazione tra la domanda di trasporto e la domanda di attività di tipo socioeconomiche, è essenziale per lo studio della domanda di trasporto sviluppare una conoscenza del modo in cui il fenomeno della domanda nasce e sviluppare una metodologia per la sua analisi. A questo scopo viene adottato l'approccio classico della microeconomia, che verrà poi modificato per poterlo applicare alla branca dei trasporti.

Kanafani, quindi, sottolinea l'importanza del motivo di viaggio; modificando quindi, l'equazione della domanda del capitolo 1.1.1:

$$d_{od}^i = d(h, s)$$

1.1.3.1 Applicazioni della teoria della domanda nei trasporti

La teoria della domanda microeconomica fornisce un quadro molto utile per l'analisi della domanda di trasporto. Ovviamente, esistono delle differenze tra il trasporto e le altre attività di consumo. Queste differenze richiedono, pertanto, di apportare delle modifiche e adattamenti di questa teoria quando viene applicata ai trasporti. Ma come base di partenza, Kanafani scrive che è probabilmente la migliore teoria che si ha a disposizione. Spesso, secondo l'autore, la difficoltà di modificare e adattare la teoria microeconomica all'ambito dei trasporti è esasperata, portando a pensare che altre basi di partenza

possano essere più adeguatamente utilizzate per l'analisi della domanda di trasporto, come ad esempio possono essere le tecniche di ottimizzazione, le simulazioni o le pure analisi empiriche. Le difficoltà che Kanafani riporta come punti deboli per l'adattamento della teoria microeconomica alla domanda di trasporto s'incentrano su tre caratteristiche basi della domanda di trasporto.

1. La prima è che *la domanda di trasporto deriva dalla domanda di altre attività sociali ed economiche*. In altre parole, le effettive attività di viaggio o spedizione di merci non generano utilità di per sé, e quindi il modello di massimizzazione di utilità non è appropriato. Questo è certamente vero, poiché è piuttosto raro che il trasporto sia intrapreso per il solo scopo di viaggiare. Comunque, se si pone come base il fatto che il viaggio stesso permetta al viaggiatore di partecipare a un'attività socioeconomica che genera utilità e che il trasporto sia semplicemente un mezzo per superare la distanza presente tra l'origine e la destinazione del viaggio, allora il trasporto può essere pensato genericamente come un costo-opportunità da sostenere, come un componente del costo totale dell'attività di consumo, o di qualsiasi attività socioeconomica in cui sia coinvolto. Il costo del trasporto, o, più in generale, le caratteristiche del sistema di trasporto che influenzano le risorse che devono essere impiegate per il viaggio possono poi essere inclusi entrambi nella funzione di costo o nell'equazione di preventivo o incorporate come contributi positivi o negativo alla funzione di utilità. Non c'è nessuna ragione affinché il quadro della teoria della domanda microeconomica non possa accogliere questo adattamento del modello della massimizzazione dell'utilità.

È importante sottolineare che nel caso di domanda di trasporto di persone, la funzione di utilità non può essere quantificata, ed è comune utilizzare un approccio ad hoc. Le molte idiosincrasie delle persone che prendono decisioni di viaggio possono solo complicare e oscurare ogni modello di massimizzazione dell'utilità, specialmente a livello di mercato aggregato. Modelli stocastici di domanda sono pertanto largamente utilizzati per analizzare la domanda di viaggio dei passeggeri.

2. Un altro aspetto della domanda di trasporto che talvolta è stimato come limitante per la definizione microeconomica è *l'impossibilità di conservare la capacità di trasporto*. Nella teoria classica economica della domanda si assume, correttamente, che i beni possano essere accumulati in modo da assecondare la fluttuazione della domanda, e quindi questi possono essere offerti quando richiesti. Nel campo dei trasporti questo non può esser fatto nello stesso modo, e quindi i servizi di trasporto sono in un certo senso offerti, siano essi richiesti o no. Esempi possono essere i posti vuoti su di un aereo, autostrade che operano ben al di sotto della loro capacità. Ma questa è una questione che riguarda l'offerta. Comunque, dal punto di vista della domanda, è importante notare qui che l'impossibilità di accumulare il trasporto non è sempre verificata. Infatti, molte delle risorse che vengono utilizzate nel trasporto possono essere accumulate fino a che il servizio di trasporto non è realmente utilizzato. Per esempio, per sistemi come autostrade e aeroporti, i costi fissi sono presenti indipendentemente dal traffico corrente, ma i costi legati alla variabile del traffico non lo sono. I posti di un aereo viaggiano indipendentemente che siano o meno occupati, ma il viaggio costa al passeggero, e infatti il tempo di viaggio non viene consumato fino a quando il viaggio non viene effettivamente attuato. La semplice programmazione del servizio di trasporto può permettere una sorta d'immagazzinamento, in quanto il servizio viene offerta quando è richiesto. Un altro esempio può essere il taxi collettivo.
3. Un'altra difficoltà s'incontra con *la sperimentazione*, che nel caso del trasporto è estremamente sfavorita per due ragioni. Uno di queste ragioni è che il sistema di trasporto è di grande respiro con un lungo periodo di gestazione. Così, nel momento in cui gli effetti iniziano a stabilizzarsi, i fattori

influenzati potrebbero cambiare ancora a causa dell'assestamento degli impatti. L'altra ragione è che non è facile realizzare sperimentazioni che hanno a che fare con il comportamento umano. È difficile controllare completamente gli esperimenti, e in molti casi le informazioni che vengono date sul comportamento che si terrebbe in situazioni ipotetiche sono congetture che vengono fatte da parte del soggetto intervistato.

1.2 Ennio Cascetta

Ennio Cascetta è docente di Teoria dei sistemi di trasporto presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Napoli "Federico II". La sua descrizione della domanda di trasporto in [3] è molto schematica, e definisce la domanda di trasporto anche in funzione di altri attributi, oltre alla teoria della domanda e dell'offerta, facendo riferimento alla modellizzazione della domanda.

1.2.1 La domanda di trasporto

Lo studio della domanda di trasporto ha un ruolo fondamentale per l'analisi e la modellizzazione dei sistemi di trasporto. Infatti, le infrastrutture e i servizi di trasporto, che sono l'oggetto di studio della progettazione della valutazione, sono gli strumenti attraverso i quali la domanda cerca e trova soddisfazione. È inoltre da notare il fatto che le scelte dei viaggiatori possono influenzare in modo sempre più significativo le prestazioni degli elementi dell'offerta aumentando i volumi di traffico che insistono sull'infrastruttura.

Uno spostamento non produce utilità in sé, ma è piuttosto un'attività complementare allo svolgimento di altre attività in luoghi diversi da quello in cui ci si ritrova. I viaggiatori che si spostano lo fanno per recarsi al lavoro, ai luoghi di studio, per fare acquisti; le merci sono trasportate dai luoghi di produzione a quelli di consumo. La domanda di mobilità è quindi una domanda derivata, risultato dell'azione congiunta dell'assetto del territorio (sistema delle attività) e del particolare sistema di offerta di trasporto, oltre che dei valori e delle abitudini che determinano i comportamenti di mobilità in una determinata area.

Il flusso di domanda di mobilità può essere formalmente definito come 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 un flusso di spostamenti.

La domanda così definita risulta dall'aggregazione dei singoli spostamenti, che hanno luogo nell'area di studio e nel periodo di riferimento, definendo spostamento l'atto di recarsi da un luogo (origine) ad un altro (destinazione), anche usando più mezzi o modi di trasporto, per svolgervi una o più attività. Una sequenza concatenata di spostamenti, ovvero spostamenti successivi tali che la destinazione del precedente coincide con l'origine del successivo, si definirà *viaggio* o *catena di spostamenti*. Per le persone i viaggi hanno di solito inizio e termine nella residenza, ad esempio un viaggio casa-lavoro-acquisti-casa è composto da tre spostamenti. Per le merci, gli spostamenti individuali di beni da un posto all'altro di solito riguardano le operazioni di carico o consegna. La sequenza di attività di manipolazione dei carichi e di attività d'immagazzinamento connesse alla spedizione è spesso definita catena logistica.

Gli utenti i del sistema di trasporto e gli spostamenti k che essi compiono possono essere caratterizzati in vari modi, come di seguito si riporta, oltre alla caratterizzazione temporale già descritta in precedenza. La fascia oraria verrà indicata con h per indicare il giorno medio lavorativo, il periodo di punta della mattina o della sera, la stagione invernale o estiva ecc.

La caratterizzazione spaziale degli spostamenti avviene suddividendoli per origine o e destinazione d , dove, verosimilmente, si consumerà il motivo s dello spostamento. Infatti, come già è stato detto, la domanda con le sue caratteristiche, è determinata dalla configurazione che il sistema delle attività e quello dell'offerta di trasporto assumono nell'area di studio.

1.2.2 I modelli di domanda

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/o alle variazioni dei fattori esterni che la influenzano. Per tutti questi scopi è necessario utilizzare i modelli matematici di simulazione della domanda di mobilità.

Un *modello di domanda di mobilità* può essere definito come una relazione matematica che consente di associare a 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 o 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 spostamento, in una determinata fascia oraria, per un determinato motivo, che 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 scelte 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 O-D 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, ne individuano il contesto o 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'auto da guidatore 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,...

Il secondo elemento di classificazione è relativo alle ipotesi fatte sul concatenamento, ovvero i reciproci condizionamenti delle decisioni (*scelte*). 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 allo stato 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, come tutti i modelli usati nell'ingegneria e nell'ecometria, 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.

1.2.3 La domanda come relazione matematica

Un modello di domanda di mobilità descrive la domanda con una relazione matematica che consente di associare a 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.

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

Dove il flusso medio di spostamenti, con caratteristiche K_1, K_2, \dots, K_n è espresso come una funzione di un vettore \mathbf{SE} di variabili socioeconomiche, relative al sistema delle attività e dei decisori, di un vettore \mathbf{T} di variabili di livello di servizio, relative al servizio offerto dal sistema di trasporto (esempi possono essere tempi di viaggio, costi monetari, distanze da percorrere a piedi, ...), e di $\boldsymbol{\beta}$, vettore di coefficienti o parametri che servono a dare un peso ai vari fattori di \mathbf{SE} e di \mathbf{T} .

Per quanto riguarda \mathbf{SE} e \mathbf{T} , la domanda di trasporto risulta essere dipendente da molti fattori che sono funzioni di origine e destinazione dello spostamento e creano la motivazione di viaggio.

Per quanto riguarda l'*origine* dello spostamento e la *destinazione*, queste caratteristiche sono:

- *residenza*, la posizione di partenza, cioè il settore di territorio preso in considerazione, la quantità di popolazione ivi presente e quindi la densità di popolazione;
- tipologia e dimensione degli insediamenti delle varie attività produttive, e quindi il numero di persone che necessitano per le loro attività;
- presenza, numero, tipologia e dimensioni dei servizi commerciali, finanziari e sociali dei quali le persone necessitano per vivere e per svolgere le proprie attività;
- presenza di istituti scolastici, loro numero e grado;
- presenza di attrattività turistiche.

Inoltre l'*origine* e la *destinazione* dello spostamento possono influire, insieme al motivo per cui ci si sposta, sulla scelta del percorso da utilizzare. Queste caratteristiche prendono il nome di *attributi del servizio*.

In ultima analisi, la domanda dipende anche dalle caratteristiche di chi compie lo spostamento, che potrebbero influenzare il modo utilizzato per compiere lo spostamento.

Per caratterizzare, quindi, la domanda si utilizzano determinati elementi, denominati *segmenti di domanda*:

- origine o ;
- destinazione d ;
- categoria dell'utente che si sposta (lavoratore, studente,...) i ;
- motivo dello spostamento s ;
- fascia oraria in cui avviene lo spostamento h ;
- modo di trasporto utilizzato m ;
- percorso seguito per portare a termine lo spostamento k ;
- ricorrenza e frequenza dello spostamento che possono rientrare nella motivazione s dello spostamento;
- attuale (lo spostamento si sta verificando nel momento in cui si sta eseguendo l'analisi), potenziale (nel caso in cui esistano le condizioni affinché lo spostamento possa avvenire), futuro (se si crede che lo spostamento possa avvenire solamente in futuro ed sotto determinate condizioni).

Formalmente, quindi, il modello di domanda da simulare può essere indicato:

$$d_{od}^i[s, h, m, k] = d(\mathbf{SE}, \mathbf{T})$$

Cascetta consiglia, per motivi di trattabilità analitica e statistica, di suddividere il modello di domanda nel prodotto di sottomodelli interconnessi. La sequenza di sottomodelli maggiormente utilizzata è la seguente:

$$d_{od}^i[s, h, m, k] = d_o^i[s, h](\mathbf{SE}, \mathbf{T}) \cdot p^i[d/osh](\mathbf{SE}, \mathbf{T}) \cdot p^i[m/oshd](\mathbf{SE}, \mathbf{T}) \cdot p^i[k/oshdm](\mathbf{SE}, \mathbf{T})$$

dove:

- $d_o^i[s, h](\mathbf{SE}, \mathbf{T})$, *modello di generazione*, fornisce il numero medio di individui di categoria i che si spostano da o per il motivo s nell'intervallo temporale h ;
- $p^i[d/osh](\mathbf{SE}, \mathbf{T})$, *modello di distribuzione degli spostamenti*, fornisce la percentuale di utenti di categoria i che, spostandosi da o per il motivo s nell'intervallo temporale h , si recano nella zona di destinazione d ;

- $p^i[m/oshd](\mathbf{SE}, \mathbf{T})$, *modello di ripartizione modale* (che è quello che interesserà per la trattazione di questa Tesi), fornisce la percentuale di utenti di categoria i che, spostandosi fra o e d per il motivo s nell'intervallo temporale h , utilizzano il modo di trasporto m ;
- $p^i[k/oshdm](\mathbf{SE}, \mathbf{T})$, *modello di scelta del percorso*, fornisce la percentuale di utenti di categoria i che spostandosi fra o e d per il motivo s nell'intervallo temporale h con il modo m , utilizzano il percorso k .

Il sistema di modelli descritto permette di simulare il flusso di domanda di spostamenti con le caratteristiche rilevanti a partire dalla domanda complessiva di spostamenti, $d_o^i[s, h](\mathbf{SE}, \mathbf{T})$ e la ripartisce, parzializzandola progressivamente, fra le destinazioni, i modi e i percorsi possibili. Per questo motivo il modello è noto come *modello ad aliquote parziali*.

Come si è detto β è il vettore dei coefficienti peso per gli attributi della domanda. Essendo il valore che ogni singolo utente dà al singolo attributo, è possibile conoscerne i valori partendo da dati raccolti sul campo. Ed è precisamente questo uno degli obiettivi che si prefigge la presente Tesi.

1.3 Stefano Ricci

Stefano Ricci è professore associato dell'Università La Sapienza di Roma, presso l'Area Trasporti del dipartimento di Ingegneria Ambientale, Civile ed Edile. La sua descrizione della domanda di trasporto, da [18], si rifà, come quella di Kanafani, alla teoria microeconomica della domanda e dell'offerta. Inoltre la sua trattazione approfondisce soprattutto la domanda di un singolo sistema di trasporto che interagisce con la variazione della domanda degli altri sistemi presenti nella rete di trasporto.

1.3.1 La domanda di trasporto individuale

L'autore parte dalla considerazione che per poter dimensionare un sistema di trasporto nella sua interezza, sia dal punto di vista qualitativo sia dal punto di vista quantitativo, è necessario conoscere quale sia la domanda a cui dare risposta. È necessario, però, non solo conoscere quale sia la *domanda attuale*, ma anche e soprattutto la *domanda futura* che si vorrà soddisfare. Questo perché le infrastrutture di trasporto, visto l'impegno economico non indifferente per la loro realizzazione, hanno una vita attesa di servizio molto lunga.

La domanda individuale di un bene o di un servizio, quindi, richiamando concetti della teoria microeconomica può essere rappresentata da una funzione del tipo:

$$d_n = f(p_n, p_1, \dots, p_{n-1}, p_1^s, \dots, p_k^s, p_1^c, \dots, p_h^c, R, G)$$

dove

d_n è la domanda del bene o del servizio n ;

p_n è il prezzo di n ;

p_1, \dots, p_{n-1} sono i prezzi degli altri beni o servizi;

p_1^s, \dots, p_k^s sono i prezzi dei beni o servizi succedanei (concorrenti?/alternative?);

p_1^c, \dots, p_h^c sono i prezzi dei beni o servizi complementari (per arrivare al treno pago tot di pullman);

R è il reddito del consumatore o utente;

G sono i gusti o le preferenze del consumatore o utente.

Se si assume che il comportamento del consumatore sia tale da massimizzare la sua utilità o soddisfazione, con l'unico vincolo del proprio reddito disponibile, si può assumere che gli andamenti qualitativi di d_n , poste di volta in volta costanti tutte le altre variabili, siano quelli rappresentati nel Grafico 1.3:1.

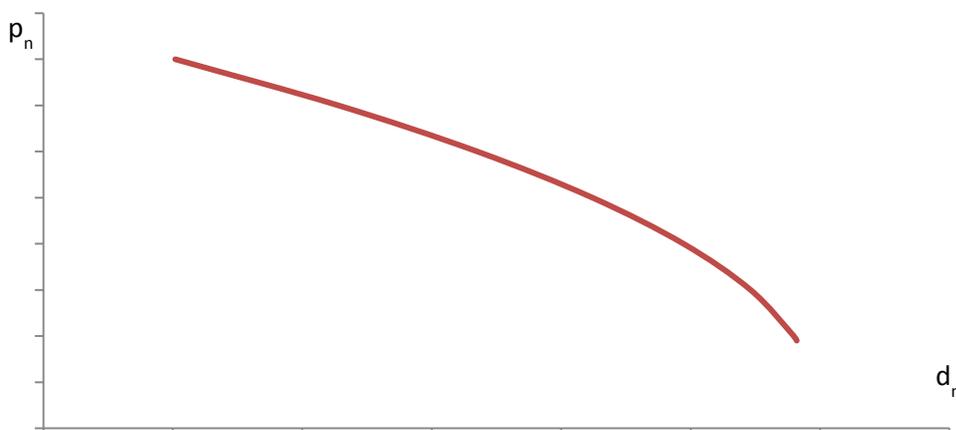


Grafico 1.3:1 - La domanda di servizio n in funzione del suo prezzo, da [18]

Si può osservare (Grafico 1.3:1) come la domanda aumenti al diminuire del prezzo. Infatti, se il prezzo cala, molti più utenti saranno disposti ad utilizzare tale servizio. L'andamento qualitativo del Grafico 1.3:2, invece, mostra la ripartizione della domanda tra i diversi modi di trasporto in funzione del prezzo dei beni e servizi succedanei. Due beni (o servizi) *succedanei* sono due beni concorrenziali tra loro, e la scelta di uno esclude la scelta dell'altro. Di conseguenza l'aumento del prezzo di un bene (o servizio) succedaneo porta l'aumento della domanda dell'altro bene.

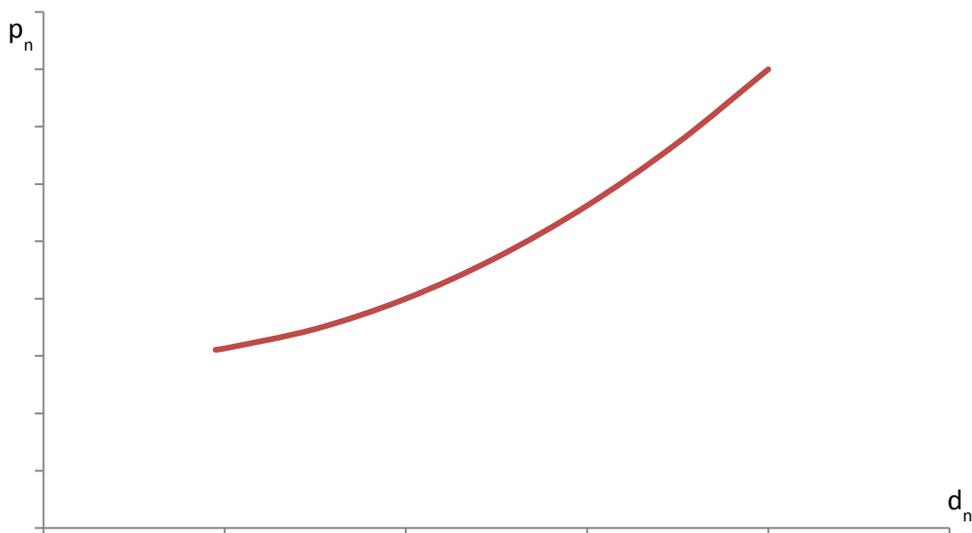


Grafico 1.3:2 - La domanda del servizio n in funzione del prezzo di beni e servizi succedanei, da [18]

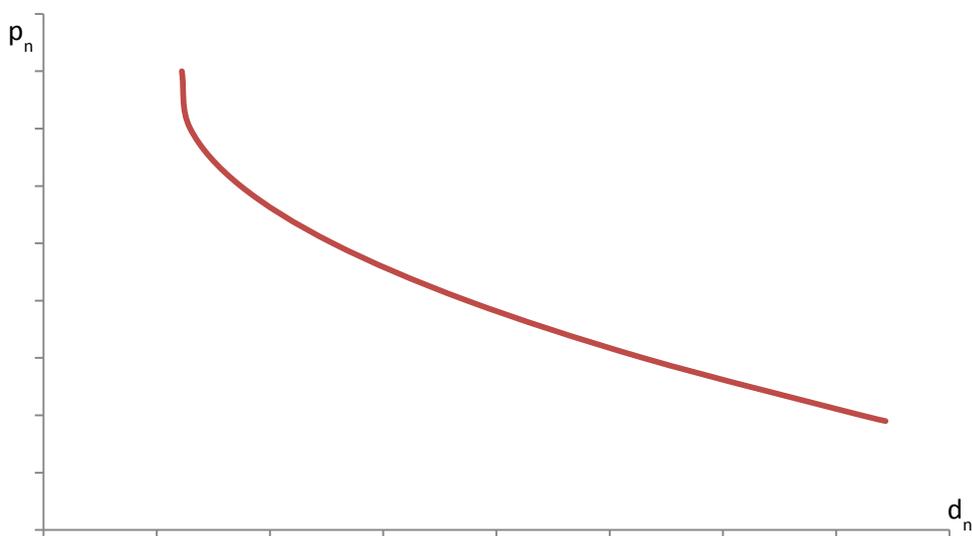


Grafico 1.3:3 - La domanda del servizio n in funzione del prezzo di beni e servizi ad esso complementari, da [18]

I beni *complementari*, invece, sono beni tra loro collegati. Ne sono esempi tipici il caffè e lo zucchero: solitamente se si beve il caffè, si aggiunge dello zucchero. Così, la conseguenza dell'aumento del prezzo del caffè, con relativa diminuzione della sua domanda, è la diminuzione della domanda del caffè. Stessa cosa per i servizi, come si può osservare nel Grafico 1.3:3.

Al variare del reddito disponibile, e costanti i prezzi e gusti del consumatore, l'andamento della curva di domanda, dopo un tratto sempre crescente, oltre un certo valore del Reddito, può assumere andamenti diversi secondo il tipo di bene o servizio.

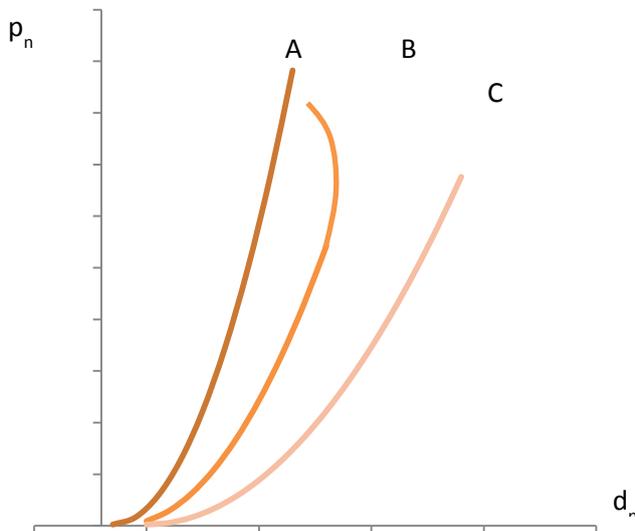


Grafico 1.3:4 - La domanda del servizio n in funzione del reddito dell'utente, da [18]

La curva A è da prevedersi per la domanda di servizi per i quali si raggiunge abbastanza rapidamente un soddisfacimento (per esempio quelli che soddisfano la domanda di mobilità per lavoro); la curva B per la domanda dei cosiddetti servizi inferiori o dei poveri (per esempio quelli erogati dai sistemi di trasporto pubblici con modesta qualità del servizio); la curva C per tutti gli altri servizi che non rientrano tra le due categorie precedenti.

L'influenza dei gusti o preferenze degli utenti non consente evidentemente di formulare regole generali e rimane come componente residua di aleatorietà da valutare di volta in volta.

1.3.2 La domanda di trasporto aggregata

Nel precedente paragrafo è stata affrontata la questione della domanda individuale, è, però, da osservare che è difficile e necessita un dispendio di forze non indifferente riuscire a rilevare tale domanda. Più semplice è, invece, rilevare la domanda aggregata, somma delle domande individuali. Ed è questa che dovrà essere soddisfatta dal sistema di trasporto.

Gli andamenti della domanda aggregata vengono descritti in funzione delle variabili precedentemente considerate, così da avere la variazione della domanda al variare del reddito, del prezzo dei beni non succedanei, ...

Secondo i concetti della teoria microeconomica, in base alla variazione di queste variabili si avrà uno spostamento della curva di domanda aggregata, verso sinistra o verso destra, che ne indica un aumento o una diminuzione.

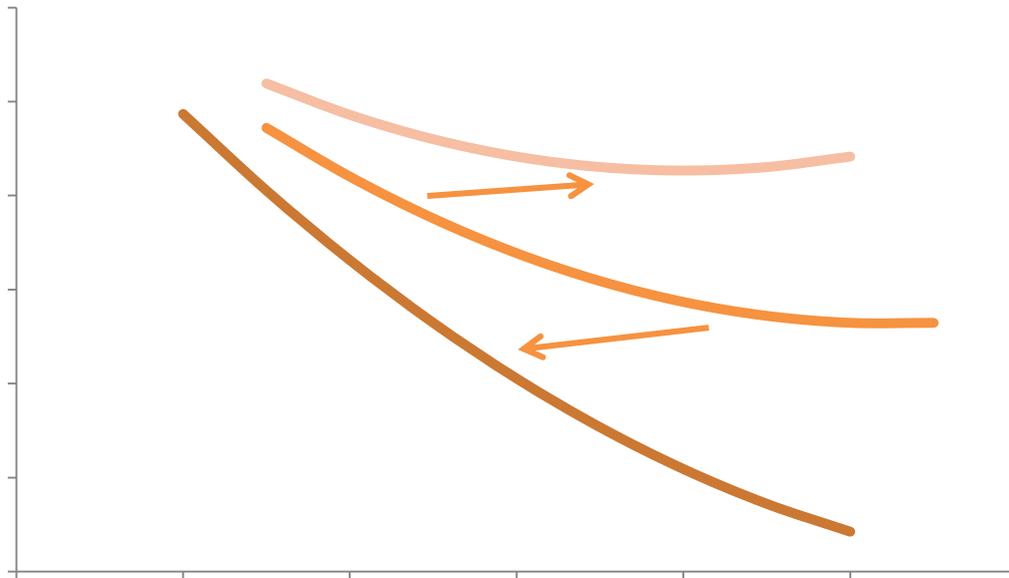


Grafico 1.3:5 - Traslazione positiva (verso dx) e negativa (verso sx) della curva di domanda aggregata, da [18]

In generale, si avrà uno spostamento verso destra, cioè un aumento della domanda, nel caso di:

- aumento del reddito;
- una diminuzione dei prezzi degli altri beni non succedanei;
- un aumento dei prezzi dei beni succedanei;
- una diminuzione dei prezzi dei beni complementari;
- una certa variazione dei gusti;

ed uno spostamento verso sinistra, diminuzione della domanda, nel caso di:

- una diminuzione del reddito;
- un aumento dei prezzi degli altri beni non succedanei;
- una diminuzione del prezzo dei beni succedanei;
- un aumento dei prezzi dei beni complementari;
- una certa variazione di gusto.

1.3.3 Elasticità della domanda

La variazione della domanda si misura con un indicatore, l'*elasticità della domanda* che è pari al rapporto fra variazioni percentuali della quantità e del prezzo. Essa risulta essere più significativa della semplice derivata della funzione $p(q)$ in quanto non dipende unicamente dall'inclinazione della curva ma anche dal punto in cui viene calcolata:

$$\varepsilon = (-1) \frac{\frac{\Delta q}{q}}{\frac{\Delta p}{p}} = (-1) \frac{\Delta q}{\Delta p} \frac{p}{q}$$

E al limite:

$$\varepsilon_d = (-1) \frac{dq}{dp} \frac{p}{q}$$

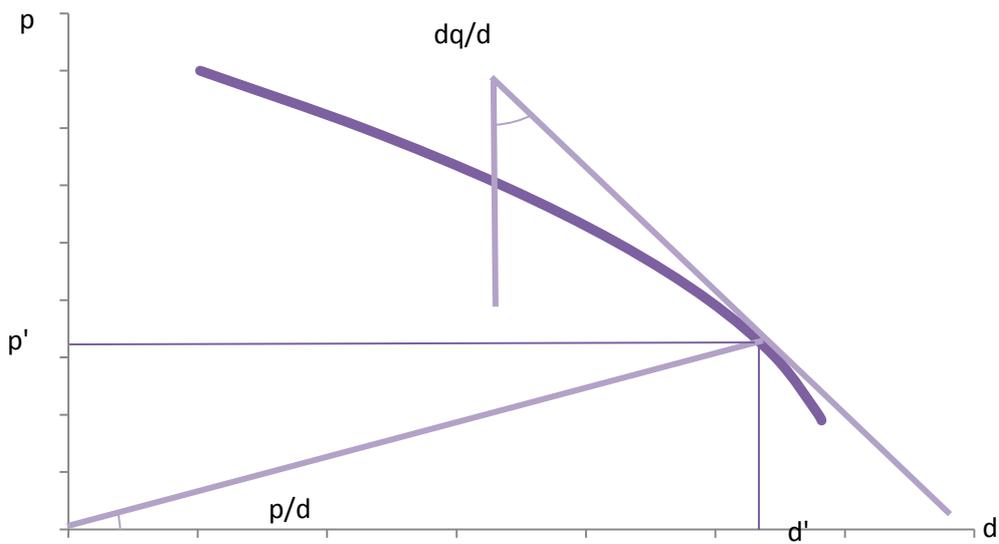


Grafico 1.3:6 - Elasticità della domanda in un punto, da [18]

Così, mentre la derivata assume valori costanti per la curva di domanda riportata nel Grafico 1.3:7, l'elasticità varia da zero (per $p=0$) a infinito (per $d=0$).

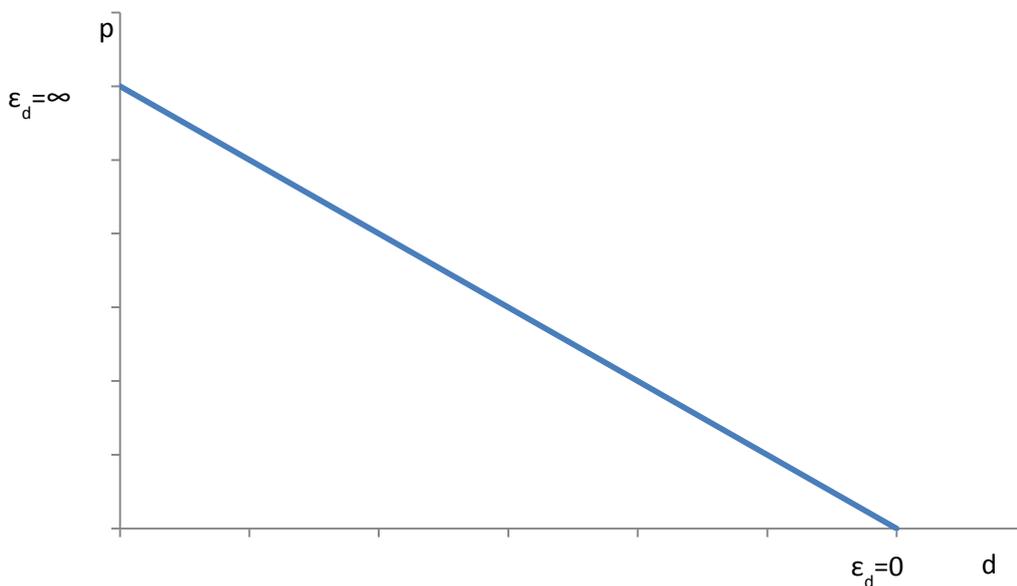


Grafico 1.3:7 - Curva di domanda a elasticità variabile da 0 a infinito, da [18]

Viceversa nella curva di domanda rappresentata da un'iperbole equilatera (Grafico 1.3:8) la derivata varia con continuità da zero all'infinito, mentre l'elasticità assume un valore costante pari a 1.

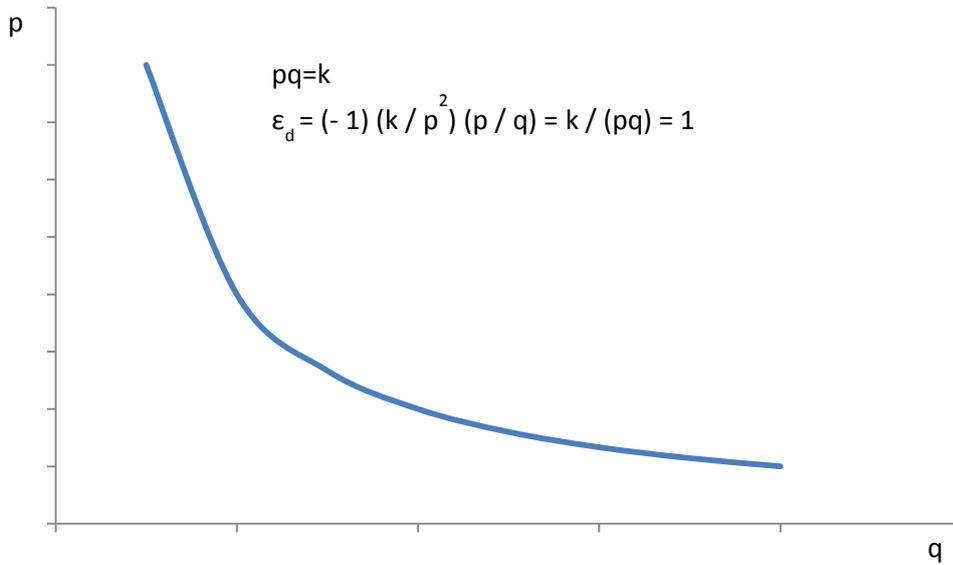


Grafico 1.3:8 - Curva di domanda a elasticità costante e unitaria, da [18]

La Grafico 1.3:9 mostra come in un dato punto comune a due curve di domanda avrà elasticità maggiore la curva che presenta minore inclinazione; il Grafico 1.3:10 mostra, invece, come tra curve parallele, quella più bassa, a parità di p , ha in ogni punto maggiore elasticità; il Grafico 1.3:11 e il Grafico 1.3:12 rappresentano i casi limite di curve di domanda con elasticità nulla e infinita.

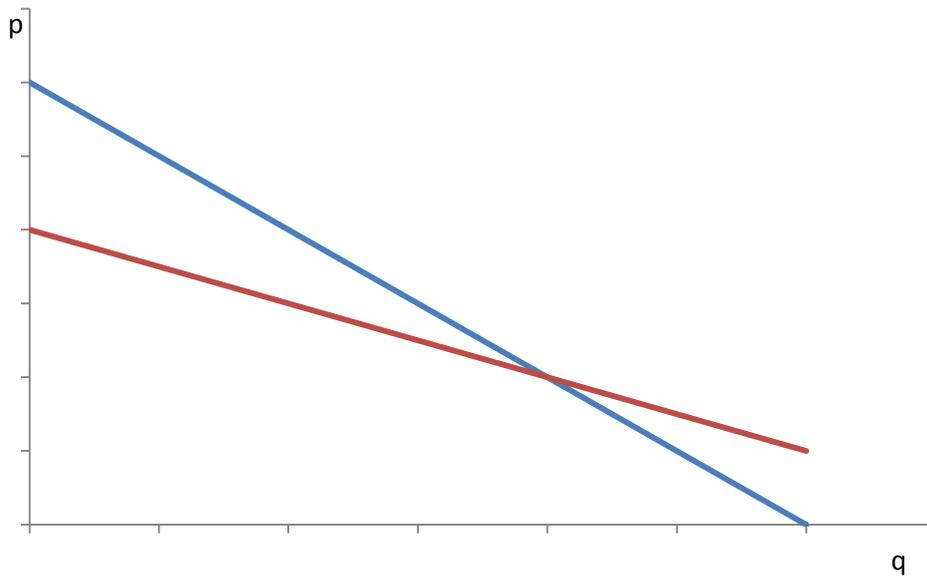


Grafico 1.3:9 - Curve di domanda secanti a diversa elasticità, da [18]

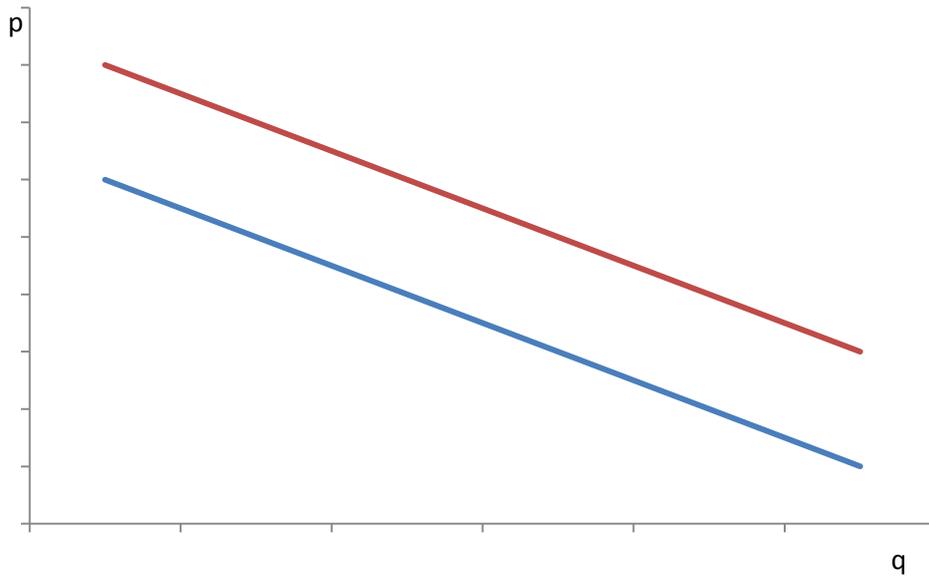


Grafico 1.3:10 - Curve di domanda parallele a diversa elasticità, da [18]

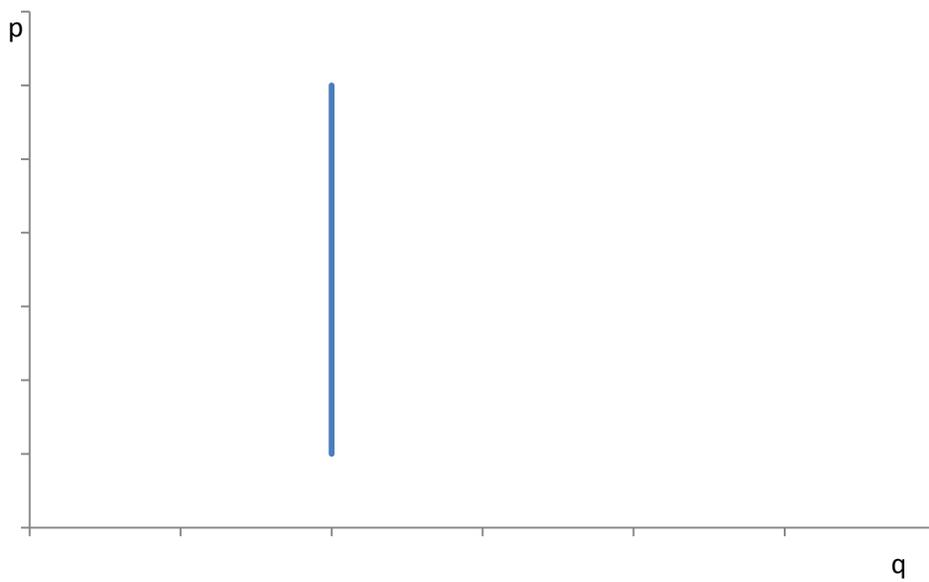


Grafico 1.3:11 - Curva di domanda a elasticità nulla, da [18]

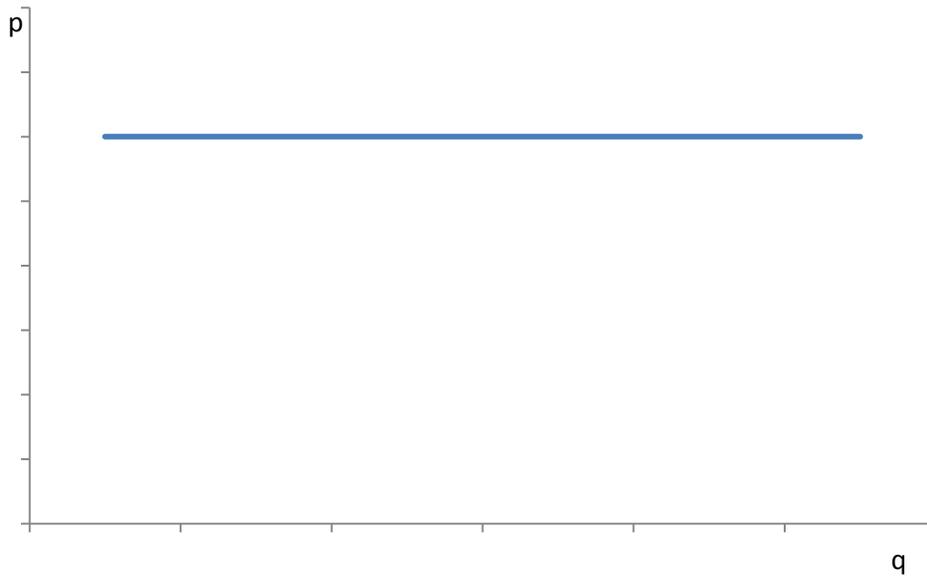


Grafico 1.3:12 - Curva di domanda a elasticità infinita, da [18]

In generale, nel caso di $|\varepsilon| < 1$ si parla di domanda *anelastica* o *rigida*; essa riguarda i servizi di prima necessità (per esempio nel settore dei trasporti la domanda di spostamenti per lavoro in presenza di disoccupazione).

Nel caso di $|\varepsilon| > 1$ si parla di domanda *elastica*; essa riguarda i beni o servizi voluttuari (nel settore dei trasporti la domanda di spostamenti per turismo). Particolare significato assumono anche i concetti di *elasticità incrociata* della domanda di un servizio rispetto a un altro (ε_{ip}) pari al rapporto fra la variazione percentuale della quantità domandata di q' e la variazione percentuale del prezzo di q'' , o rispetto al reddito (ε_{iR}), pari al rapporto fra la variazione di percentuale della quantità domandata di q e il reddito.

Tali elasticità possono essere assunte per rappresentare la sensibilità della domanda di un modo di trasporto (per esempio il treno veloce) al variare rispettivamente del prezzo di un modo alternativo (per esempio l'aereo) e del reddito medio della popolazione degli utenti.

1.4 Conclusione

Gli approcci dei tre autori sopra presentati sono nel loro insieme dettagliati e riescono a descrivere in modo esaustivo la domanda di trasporto, fornendone delle variabili da cui dipendere.

Per gli scopi della seguente Tesi, quello che risulta essere più conveniente è l'approccio proposto da Cascetta. Infatti, l'autore scompone la domanda secondo quattro sottomodelli: *generazione*, *distribuzione*, *ripartizione modale* e *scelta del percorso*. Questa suddivisione risulta particolarmente utile per lo scopo della Tesi soprattutto per quanto riguarda il sottomodello di ripartizione modale. La problematica affrontata durante il lavoro della seguente Tesi, infatti, riguarda proprio la scelta del mezzo di trasporto, in particolare la scelta fra treno e automobile. Il sottomodello presentato, quindi, risulta particolarmente calzante per la questione affrontata. Inoltre, la domanda, viene presentata, anche per questo particolare sottomodello, come funzione di variabili socioeconomiche SE , di variabili legate al servizio offerto T e in funzione di coefficienti β . Questi ultimi sono molto validi per capire quale importanza è data ad ogni variabile, sia di tipo SE sia di tipo T . Questo modo di procedere, poi, si sposa bene con il modello che si utilizzerà per la rappresentazione della domanda secondo la ripartizione modale, che si basa sulla massimizzazione dell'utilità.

Particolarmente importante è anche il fatto che l'approccio presentato da Cascetta sia, come sottolineato dallo stesso autore, universalmente accettato a livello di letteratura e largamente utilizzato. Questa affermazione, inoltre, trova riscontro positivo nelle lezioni presentate nelle università italiane che propongono un corso riguardante la domanda di trasporto. (si confronti [9], [12], [14], [16]).

2 La rappresentazione dell'offerta: il grafo

La seguente parte è propedeutica alla definizione degli attributi descrittivi le alternative degli scenari presenti nel questionario, di cui si tratterà successivamente nel paragrafo 7.1. Fondamentale è la definizione della funzione di costo, in quanto legata alla funzione dell'offerta.

Per la redazione di questa parte, si è fatto riferimento a [12].

2.1 Il Grafo

Il grafo, una configurazione grafica associata a elementi numerici, rappresenta la struttura e le caratteristiche di una rete di trasporto e quindi l'*offerta di trasporto*. Gli elementi di un grafo vengono integrati da caratteristiche quantitative e funzionali. Il grafo costituisce la rappresentazione di una rete, che può simulare l'effettiva rete di trasporto esistente nella realtà. La rete rappresentata da un grafo può riferirsi a un qualunque modo di trasporto, alle sue infrastrutture e/o ai servizi su di essa offerti. Esso può rappresentare una rete stradale, le linee di trasporto collettivo circolanti sulla rete stradale, una rete ferroviaria, marittima, ...

Nel caso di simulazione del traffico stradale è sufficiente rappresentare le infrastrutture, cioè le strade, di varia tipologia, con le loro caratteristiche geometriche, fisiche e funzionali. Per simulare un sistema di trasporto collettivo, alla rete infrastrutturale deve essere associata la rappresentazione dei servizi su di essa offerti. In questo caso sono rilevanti non tanto le caratteristiche fisiche delle infrastrutture, quanto quelle del servizio offerto, per esempio i percorsi delle linee, le fermate, gli orari, le frequenze.

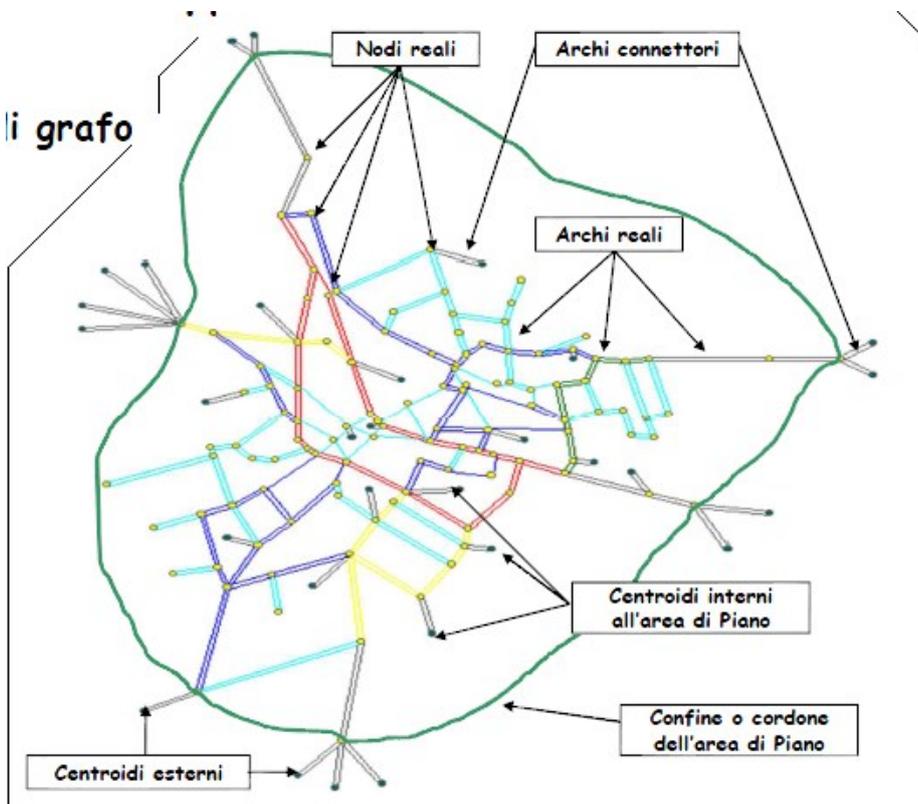


Figura 2.1:1 - Esempio di Grafo

Un grafo è costituito da un insieme finito N di punti i, j, \dots , detti *nodi fisici* o semplicemente *nodi*, tra loro collegati da un insieme finito L di linee ij dette *lati* o *archi*.

I **nodi** (*nodes* in inglese) sono gli elementi puntuali di un grafo. I nodi rappresentano eventi significativi degli spostamenti che si manifestano sulla rete. Generalmente i nodi sono georeferenziati, cioè corrispondono a punti reali ben definiti e identificati da coordinate spaziali.

Si definiscono **archi** (in inglese *links*) gli elementi lineari di un grafo che riproducono i tratti elementari delle infrastrutture o dei servizi di trasporto di una rete. Dal punto di vista trasportistico, un arco di un grafo rappresenta il collegamento tra una coppia di nodi.

Agli archi sono associati attributi numerici che ne rappresentano il comportamento agli effetti degli spostamenti che su di essi si manifestano. I vari attributi fisici e funzionali sono normalmente sintetizzati in apposite funzioni di costo.

I **centroidi** sono, invece, i nodi che corrispondono all'inizio e al termine di uno spostamento che si manifesta su una rete.

I **connettori** sono gli archi fittizi che realizzano il collegamento fra i centroidi di zona e opportuni nodi fisici di un grafo. Essi permettono di rappresentare i punti del grafo nei quali entrano ed escono gli spostamenti generati e attratti dai centroidi.

Ogni arco di un grafo è caratterizzato dal **costo di trasporto** che deve essere sostenuto per compiere uno spostamento su di esso dal nodo iniziale i al nodo finale j . È importante precisare che si tratta di un costo generalizzato, inteso cioè non come costo prettamente monetario, ma come un generico impiego di risorse che rappresenta l'onere che l'utente deve sostenere per spostarsi lungo una certa via di trasporto. Pertanto il costo generalizzato è composto da vari termini, alcuni dei quali rappresentano effettivamente costi monetari, sostenuti per esempio per l'acquisto del carburante, il pedaggio, la sosta, il biglietto, ecc., altri sono rappresentativi delle cosiddette disutilità, cioè il tempo di percorrenza, il rischio, l'eventuale disagio riscontrato durante lo spostamento. Sommando il costo di trasporto di ogni grafo occupato dallo spostamento, è possibile avere il **costo di percorso**.

2.1.1 Funzione di costo e di prestazione

Elemento principale della definizione dell'offerta è la funzione del costo di trasporto. Il costo di trasporto, che deve essere sostenuto per compiere uno spostamento su un arco, è espresso come costo generalizzato, composto da vari termini che vengono descritti di seguito.

La funzione di costo sarà parte integrante della definizione del modello comportamentale che verrà successivamente utilizzato per simulare il comportamento degli utenti.

Alcune componenti del costo generalizzato sono sostanzialmente differenti a seconda che si riferiscano al trasporto individuale o collettivo e possono essere così elencate:

- trasporto individuale:
 - costo monetario del carburante,
 - costo dei pedaggi autostradali,
 - costo della sosta a pagamento,
 - tempo di percorrenza,
 - tempo di ricerca del parcheggio,
 - tempo trascorso in coda,
 - rischio di incidente,

- incertezza della durata del viaggio e della ricerca del parcheggio;
- trasporto collettivo:
 - costo del biglietto,
 - tempi pedonali di accesso ed egresso alle fermate,
 - tempi di attesa alle fermate,
 - tempo di viaggio trascorso a bordo dei veicoli,
 - disagio dovuto all'affollamento,
 - incertezza della durata del viaggio.

È importante precisare che alcune componenti del costo di trasporto relativo a un arco sono indipendenti dalla sua lunghezza e sono denominate *costi fissi*, o costi non additivi, per esempio il tempo perso per la ricerca del parcheggio o il tempo di attesa alle fermate, mentre la maggior parte di esse dipende dalla lunghezza dell'arco e in questo caso si parla di *costi variabili*, o costi additivi, per esempio il costo monetario del carburante e dei pedaggi autostradali, il costo del biglietto, il tempo di viaggio trascorso a bordo dei veicoli. Si noti che i costi variabili sono grandezze concrete espresse in termini assoluti, ore o euro, pertanto non ha senso utilizzarle per confrontare le prestazioni di archi diversi se non indicandone anche la lunghezza.

Un'altra considerazione importante riguarda il caso del trasporto stradale nel quale il costo di trasporto da sostenere per percorrere un asse viario dipende non soltanto dalle sue caratteristiche fisico-geometriche ma anche dal flusso che vi transita, infatti generalmente all'aumentare del flusso, e quindi della densità veicolare, aumentano il tempo di percorrenza e altre caratteristiche del deflusso veicolare.

A ogni arco è quindi associata una funzione, definita **funzione di costo**, che ne rappresenta l'andamento al variare del flusso. Generalmente, almeno nei casi meno complessi, le funzioni di costo si definiscono introducendo le seguenti ipotesi:

- il costo generalizzato di percorrenza di un arco viene identificato con il suo tempo di percorrenza in funzione del flusso;
- il tempo di percorrenza di un arco extraurbano viene fatto dipendere essenzialmente dalle caratteristiche dell'asse viario;
- il tempo di percorrenza di un arco urbano viene fatto dipendere dalle caratteristiche dell'asse viario e soprattutto da quelle dell'intersezione di uscita dell'arco;
- il costo di percorrenza di un arco viene normalmente considerato indipendente dalle condizioni di deflusso presenti su altri archi.

3 I modelli per la rappresentazione della domanda

I modelli per la rappresentazione della domanda interessano la seguente Tesi in quanto, simulando il comportamento della domanda, saranno in grado di predire il comportamento degli utenti al variare delle caratteristiche dell'offerta e quindi saranno in grado di darne un'idea della variazione della ripartizione modale. Ancora più importante, la loro calibrazione permetterà di creare la gerarchia ricercata.

3.1 I modelli

L'obiettivo dei modelli è quello di sintetizzare il processo di scelta degli utenti. I modelli principalmente utilizzati, secondo [3], appartengono alla famiglia dei modelli di utilità aleatoria o utilità casuale, che rappresenta il paradigma più ricco per simulare la scelta di trasporto e, più in generale, le scelte tra alternative discrete.

Le ipotesi di partenza di questi modelli possono essere sintetizzate come segue:

- l'utente viene descritto come un decisore il cui obiettivo è quello di massimizzare la propria utilità;
- l'utente conosce a priori tutte le possibili alternative che gli si presentano in modo da poter fare la miglior scelta;
- l'utilità di ogni alternativa viene descritta da una serie di attributi misurabili;
- l'utilità che ogni decisore assegna alla singola alternativa non è nota a priori, ma varia da utente a utente.

Il compito del modello è quindi quello di stimare la probabilità che l'utente i scelga j all'interno dell'insieme I di tutte le alternative, basandosi sull'utilità che dà ad ogni singolo attributo.

$$p^i[j/I^i] = \Pr[U_j^i > U_k^i; \forall k \neq j, k \in I^i]$$

U è l'utilità percepita da ogni utente e viene definita come la differenza tra l'utilità sistematica V , che è la media di tutte le utilità percepite da ogni utente, e il residuo aleatorio ε , che dà la variazione dell'utilità del singolo utente rispetto alla media globale.

$$U_j^i = V_j^i + \varepsilon_j^i$$

Quindi, riscrivendo la formula della probabilità di scelta:

$$p^i[j/I^i] = \Pr[V_j^i - V_k^i > \varepsilon_k^i - \varepsilon_j^i; \forall k \neq j, k \in I^i]$$

La probabilità che l'utente i scelga l'alternativa j dipende, quindi, dall'utilità sistematica V e dal residuo aleatorio ε .

Per quanto riguarda l'utilità sistematica, essa è rappresentata come una funzione $V_j^i(\mathbf{X}_{kj}^i)$ di attributi X_{kj}^i relativi alle alternative e al decisore. Sebbene la funzione $V_j^i(\mathbf{X}_{kj}^i)$ possa essere di qualunque tipo, per ragioni di convenienza analitica di solito si assume che l'utilità sistematica V_j^i sia una funzione lineare nei coefficienti β_k degli attributi.

$$V_j^i(\mathbf{X}_j^i) = \sum_k \beta_k X_{kj}^i$$

Gli **attributi** X_{kj}^i possono essere di diverso tipo: ci sono gli *attributi di livello di servizio*, che descrivono il servizio che viene offerto dal sistema di trasporto, gli *attributi del sistema delle attività*, che dipendono dall'utilizzo del territorio dell'area di studio, *attributi socioeconomici*, che sono quelli propri dell'utente o del suo nucleo familiare. Inoltre un attributo è chiamato *generico* nel caso in cui è incluso nell'utilità di più alternative, *specifico* se invece viene valutato in modo differente per le diverse alternative.

Infine nell'utilità sistematica della generica alternativa j viene di solito introdotta una variabile ombra che vale 1 per l'alternativa j e 0 per le altre; tale variabile viene denominata Attributo Specifico dell'Alternativa (ASA) o di preferenza modale e il suo coefficiente β Costante Specifica dell'Alternativa (CSA).

Le cause dell'**aleatorietà delle utilità percepite** dipendono dal modello o sono intrinseche ai decisori:

- *modello*: errori di misura degli attributi considerati nella funzione di utilità sistematica;
- *modello*: presenza di attributi non inseribili nella specificazione dell'utilità sistematica perché non osservabili direttamente o comunque di difficile valutazione;
- *modello*: inserimento di attributi all'interno del modello che sono funzionali alla rappresentazione di attributi che effettivamente influenzano l'utilità percepita delle alternative;
- *decisore*: variazione della preferenza tra i vari decisori e, per lo stesso decisore, nel tempo;
- *decisore*: distorsione della valutazione del reale valore degli attributi, e quindi dell'utilità percepita.

3.1.1 Logit Multinomiale

Il Logit Multinomiale riguarda la scelta tra diverse opzioni tra loro indipendenti.

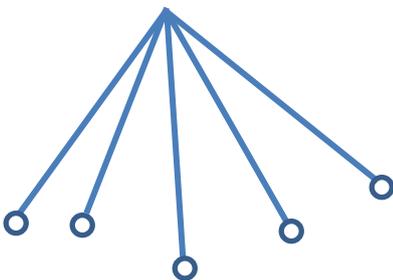


Figura 3.1:1 - Struttura dell'albero di scelta del Logit Multinomiale

Il Logit Multinomiale è il modello di utilità aleatoria più semplice e si basa sull'ipotesi che i residui aleatori ε_j relativi alle diverse alternative siano indipendentemente e identicamente distribuiti secondo una variabile aleatoria di Gumbel a media nulla e di parametro ϑ , con la funzione di distribuzione della probabilità:

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

dove ϕ è la costante di Eulero, pari a circa 0.577. Come già detto, la media della variabile di Gumbel θ è nulla, mentre la varianza, che è una funzione indicata con $\sigma^2(x)$ che fornisce una misura di quanto siano vari i valori assunti dalla variabile e quindi di quanto si discostino dal valore atteso, che è proprio la media. I valori sono quindi:

$$E[\varepsilon_j] = 0 \quad \forall j$$

$$Var[\varepsilon_j] = \sigma_\varepsilon^2 = \frac{\pi^2 \theta^2}{6} \quad \forall j$$

L'indipendenza dei residui aleatori implica che la covarianza fra una qualunque coppia di residui sia nulla. La covarianza viene definita come un numero che fornisce una misura di quanto due variabili aleatorie varino assieme ed è misurato come il valore del prodotto della loro distanza dal valore atteso.

$$\text{Cov}[\varepsilon_j, \varepsilon_h] = 0 \quad \forall j, h \in I$$

In questo modo, risulta che anche le utilità percepite U_j , essendo la somma della costante V_j , l'utilità sistematica, e della variabile aleatoria ε_j , sono variabili aleatorie di Gumbel con funzione di distribuzione di probabilità, media e varianza fornite da:

$$F_{U_j}(U) = \Pr[V_j + \varepsilon_j \leq U] = \Pr[\varepsilon_j \leq U - V_j] = e^{-e^{-\frac{U-V_j}{\theta-\phi}}}$$

$$E[U_j] = V_j$$

$$\text{Var}[U_j] = \frac{\pi^2 \theta^2}{6}$$

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_j sono variabili di Gumbel indipendenti di uguale parametro ϑ e con medie diverse V_j , la variabile U_M :

$$U_M = \max\{U_j\}$$

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

$$V_M = E[U_M] = \theta \ln \sum_j \exp(V_j/\theta)$$

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*:

$$Y = \ln \sum_j \exp(V_j/\theta)$$

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 j fra quelle disponibili $(1, 2, \dots, m) \in I$, può essere espressa come:

$$p[j] = \frac{\exp(V_j/\theta)}{\sum_{k=1}^m \exp(V_k/\theta)}$$

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. 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. Questo risultato è chiaramente paradossale e 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.

3.1.2 Logit Binomiale

Cascetta, nel suo [3] non fa riferimento a questo particolare tipo di Logit, se non un accenno come caso particolare del Logit Multinomiale, che però è molto utile per la trattazione di questa Tesi. Infatti, il caso di cui si occuperà si riferisce in modo evidente a questa tipologia di modello: il Logit Binomiale riguarda la scelta tra due sole opzioni. Cascetta definisce la probabilità di scelta come:

$$p[A] = \frac{\exp(V_A/\theta)}{\exp(V_A/\theta) + \exp(V_B/\theta)}$$

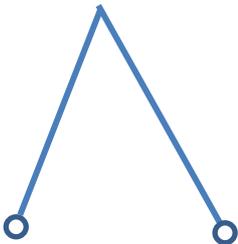


Figura 3.1:2 - Struttura dell'albero di scelta del Logit Binomiale

Si farà riferimento, quindi, per una trattazione un po' più approfondita di questo particolare Logit, al libro [1] di Alan Agresti.

Per il Logit Binomiale le variabili di risposta sono di tipo binario, per cui è possibile rappresentare la scelta o meno di una delle risposte con 1 e con 0, più semplicemente come scelta o non scelta di una delle due opzioni. La *distribuzione di Bernoulli* per questo *esperimento di Bernoulli* specifica la probabilità che la risposta Y sia scelta, e quindi pari ad 1 con $\Pr(Y = 1) = \pi$ e la probabilità che invece non venga scelta $\Pr(Y = 0) = 1 - \pi$, da cui $E(Y) = \pi$. Questo, quindi, dà come probabilità di scelta:

$$F_{U_j} = (1 - \pi)e^{y \log \frac{\pi}{1-\pi}}$$

Con Y pari a 1 o 0 a seconda di quale sia la risposta data. Nel libro di Agresti, non si fa riferimento alla variabile di distribuzione di Gumbel. Inoltre, nel suo libro, Agresti consiglia, per la risoluzione del Logit Binomiale, di utilizzare una regressione logistica:

TABLE 4.1 Types of Generalized Linear Models for Statistical Analysis

Random Component	Link	Systematic Component	Model	Chapters
Normal	Identity	Continuous	Regression	
Normal	Identity	Categorical	Analysis of variance	
Normal	Identity	Mixed	Analysis of covariance	
Binomial	Logit	Mixed	Logistic regression	5 and 6
Poisson	Log	Mixed	Loglinear	8 and 9
Multinomial	Generalized logit	Mixed	Multinomial response	7

Figura 3.1:3 - Tabella di riferimento di Agresti in cui si suggeriscono i metodi di risoluzione per i vari tipi di modelli trattati all'interno del suo libro [1]

Il capitolo 5 del libro di Agresti, come consigliato dalla Figura 3.1:3, utilizza il meccanismo del *Maximum Likelihood* o della *Massima Verosimiglianza* per stimare il modello. La probabilità di scelta viene quindi descritta dalla seguente equazione:

$$\pi(X_i) = \frac{\exp(\sum_{j=1}^p \beta_j x_{ij})}{1 + \exp(\sum_{j=1}^p \beta_j x_{ij})}$$

La formula utilizzata è molto simile a quella del Logit Multinomiale. Una differenza riguarda la presenza, nella funzione di probabilità di scelta per il Logit Multinomiale, della variabile di Gumbel ϑ , non presente, invece, nel Logit Binomiale; ma la differenza più evidente sta nel denominatore della funzione. Infatti, se per il Logit Multinomiale al denominatore c'è la sommatoria degli esponenziali di ogni singola alternativa, ci si poteva aspettare l'utilizzo della medesima formulazione per il Logit Binomiale, avendo, naturalmente, a denominatore, la sommatoria di soli due esponenziali che descrivessero le sole due alternative presenti. Invece l'esponenziale dell'alternativa non scelta viene posto uguale ad 1, come se il suo esponente fosse nullo. Questo perché la scelta tra due opzioni viene descritta come scelta o non scelta di una delle due opzioni. Si prenda l'equazione del Logit Binomiale secondo Cascetta:

$$p[A] = \frac{\exp(V_A/\theta)}{\exp(V_A/\theta) + \exp(V_B/\theta)}$$

Nel caso in cui ci fosse una sola opzione tra cui decidere, ma ci potesse essere la scelta Bernoulliana di questa unica opzione, questa situazione potrebbe essere schematizzata come la scelta tra l'opzione descritta e una seconda opzione in cui gli attributi sono inesistenti:

$$p[A] = \frac{\exp(V_A/\theta)}{\exp(V_A/\theta) + \exp(0)} = \frac{\exp(V_A/\theta)}{1 + \exp(V_A/\theta)}$$

4 Il modello a quattro stadi: il modello di ripartizione modale

La scomposizione della domanda in quattro stadi, come riportato già nel capitolo 1 riguardante la domanda, è un uso, come riporta Maja in [12], che si è consolidato negli anni. Questo accorgimento è utile a livello operativo, in quanto permette di separare la raccolta dei dati, la loro analisi statistica e la trattazione analitica del modello in singole fasi, ciascuna corrispondente a un componente particolare del processo decisionale che porta all'effettuazione dello spostamento da parte del singolo soggetto.

Il sistema di modelli parte dalla stima del livello di domanda, cioè dalla 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.

$$d_{od}^i[s, h, m, k] = d_o^i[s, h](SE, T) \cdot p^i[d/osh](SE, T) \cdot p^i[m/oshd](SE, T) \cdot p^i[k/oshdm](SE, T)$$

Questa espressione può essere riscritta nella seguente forma:

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

Dove q sostituisce i nella descrizione della categoria degli utenti, $n^q[o]$ è il numero di utenti della categoria q che si trovano nella zona di origine o e x è il numero di spostamenti relativi alle categorie di scelta indicate. Ogni fattore che compare sotto la sommatoria corrisponde ai sottomodelli del modello a quattro stadi: *modello di generazione*, *modello di distribuzione*, *modello di ripartizione modale* e *modello di scelta del percorso*.

Il sottomodello di *generazione* esprime la domanda come numero di individui di categoria q che, avendo come origine o , effettuano x spostamenti per il motivo s nel periodo temporale h :

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

Il risultato dell'applicazione di questo modello è la determinazione dei margini della matrice degli spostamenti totali per il motivo s nella fascia oraria h .

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

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

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

Il sottomodello di *ripartizione modale* fornisce la frazione di utenti della categoria q che, spostandosi tra o e d per il motivo s nella fascia oraria h , usano il modo di trasporto m :

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

Ciò che risulta dall'applicazione del modello è la determinazione degli elementi della matrice modale degli spostamenti che usano il modo m per il motivo s nella fascia oraria h .

In ultimo, il modello della *scelta del percorso* fornisce la frazione di utenti della categoria q che, spostandosi tra o e d per s durante h , usando il modo m , seguono il percorso k :

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

La conoscenza del percorso k di ogni coppia OD permette di determinare i flussi di arco sommando i flussi di percorso di tutti i percorsi che transitano lungo ogni singolo arco.

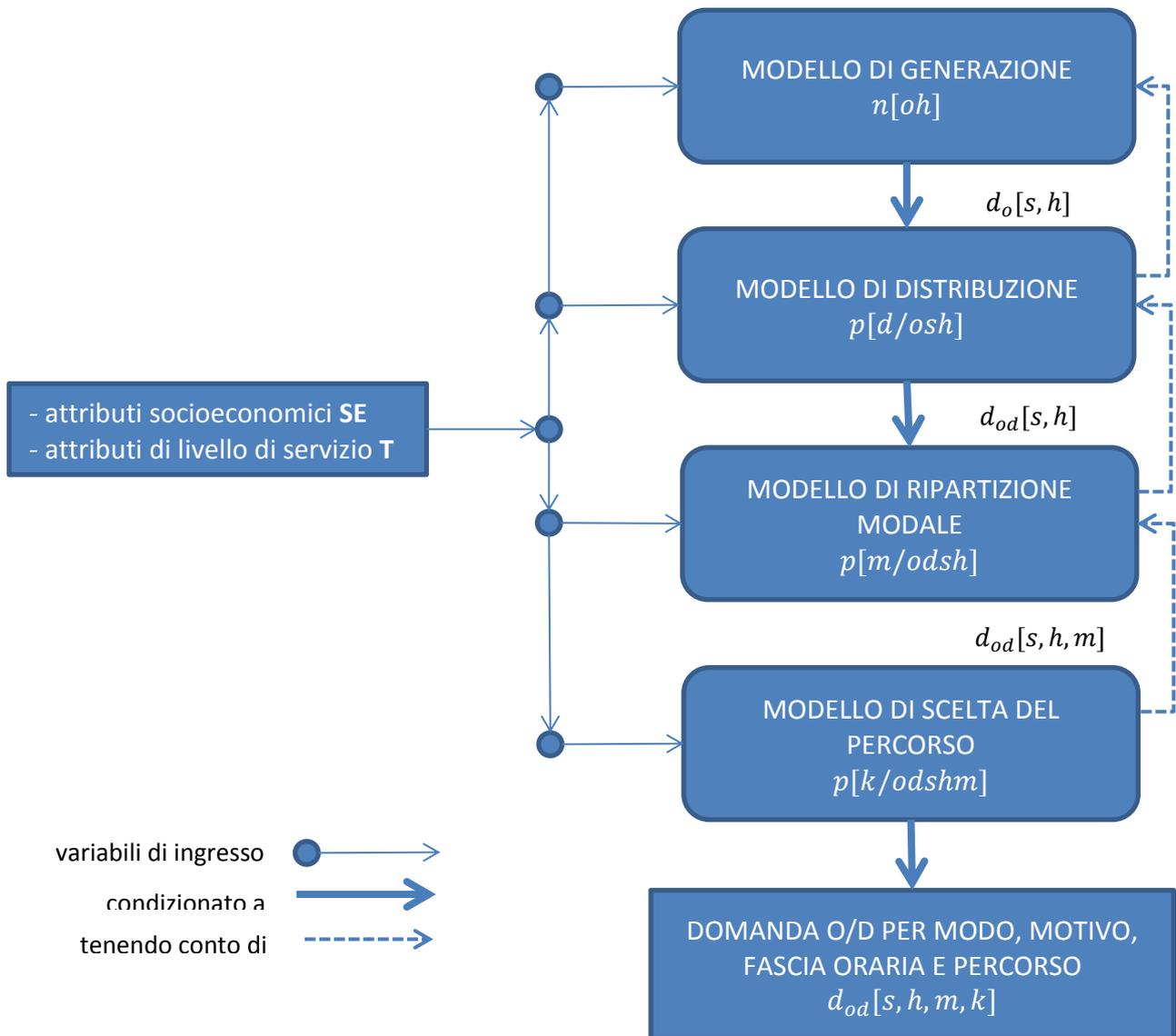


Figura 3.1:1 - Sistema di modelli di domanda a quattro stadi

Si andrà ora ad approfondire il sottomodulo di ripartizione modale in quanto sottomodulo significativo per la trattazione di questa Tesi. Infatti l'indagine che si andrà a definire riguarderà la scelta tra due mezzi di trasporto: il treno e l'automobile.

4.1 Il sottomodulo di ripartizione modale

Il sottomodulo di ripartizione modale è quello che interessa maggiormente, in quanto i dati raccolti tramite il questionario si riferiscono in particolare alla ripartizione modale tra automobile e treno. Inoltre Ortuzar e Willumsen sostengono in [17] che questo sottomodulo sia probabilmente il più importante della modellazione a quattro stadi per la pianificazione dei trasporti e per i processi decisionali.

Infatti tutti i modi di trasporto pubblico sono più efficienti per quanto riguarda l'utilizzo dello spazio stradale o non lo utilizzano per nulla. Per questo motivo la scelta modale influenza l'efficienza complessiva del sistema di trasporto e quindi la quantità di spazio urbano dedicato alle funzioni di trasporto nonché l'insieme delle alternative disponibili o meno per il viaggiatore.

I due autori suddividono le modalità proposte di analisi di questo sottomodello in due:

- *analisi aggregata*; questo tipo di analisi si rifà ai modelli comportamentali di tipo Logit;
- *modelli di domanda diretti*; questi sono metodi che si prefiggono come obiettivo la simulazione contemporanea della generazione, della distribuzione e appunto della ripartizione modale.

Cascetta, in [3], invece dà un'interpretazione comportamentale del sottomodello, sempre con dei modelli di tipo Logit.

Tutti e tre gli autori, quindi, propongono un modello comportamentale basato sul modello Logit. Ci si concentrerà, quindi, su di una interpretazione comportamentale del sottomodello.

Per quanto riguarda Ortuzar e Willumsen, nel loro libro vengono descritti i fattori influenzanti la scelta del modo che sono distinti in tre categorie:

- le caratteristiche degli individui (esempi possono essere la disponibilità e il possesso dell'auto, il possesso della patente, la struttura della famiglia, il reddito)
- le caratteristiche del viaggio (scopo del viaggio, regolarità dello spostamento, il periodo del giorno in cui il viaggio avviene)
- le caratteristiche del mezzo di trasporto (tempo di viaggio, tempo di attesa, costi monetari, comfort, affidabilità e regolarità, sicurezza)

Ortuzar e Willumsen, quindi, così come Cascetta, si rifanno all'approccio del Logit già precedentemente presentato, così formulato:

$$p_{ij}^1 = \frac{\exp(-\beta C_{ij}^1)}{\sum_k \exp(-\beta C_{ij}^k)}$$

Dove p_{ij}^1 è la quota parte di viaggi effettuati da i a j con il modo 1, C_{ij}^k sono i costi sostenuti per andare da i a j con il modo k e β sono i relativi coefficienti moltiplicativi.

Per quanto riguarda Cascetta, egli propone unicamente un approccio comportamentale. Le motivazioni che portano alla sua lettura di tipo comportamentale sono molto semplici: *“la scelta del modo è un tipico esempio di scelta di viaggio, modificabile in viaggi diversi, in cui le caratteristiche dell'offerta di trasporto hanno una notevole influenza. Non è del resto un caso che i primi modelli di utilità aleatoria siano stati formulati con riferimento, appunto alla scelta fra modi di trasporto”*.

Primo passo è la *definizione delle alternative di scelta*. Le alternative di scelta, nel caso più semplice, sono i singoli modi di trasporto (treno, automobile, autobus e altri), altrimenti possono essere combinazioni di modi semplici diversi (auto + treno, piedi + autobus), combinazioni di servizi differenti offerti dalla stessa modalità (ad esempio i servizi Intercity, Regionale, Regionale Veloce per quanto riguarda il modo treno). Successivamente si passa alla definizione dell'*insieme delle alternative di scelta*. La definizione dei modi di trasporto rilevanti dipende molto dal sistema di trasporto oggetto di studio. Ad esempio, in ambito urbano sono spesso considerate modalità quali “piedi” o “bicicletta” che evidentemente non sono alternative

significative in un contesto interurbano. Risulta significativa la definizione delle alternative modali disponibili, ciò può essere dovuta ad un'oggettiva impossibilità (come può essere ad esempio il non possesso della patente di guida) o anche perché una modalità non è percepita come un'alternativa per un particolare spostamento, pur se teoricamente disponibile.

Infine si passa alla vera e propria definizione della *forma funzionale*. Solitamente gli attributi che compaiono nelle funzioni di utilità sono in generale attributi di livello di servizio e attributi socioeconomici. Per quanto riguarda gli attributi di livello di servizio, essi sono relativi alle caratteristiche del servizio offerto dal singolo modo, come può essere il tempo di viaggio, il costo monetario, la regolarità del servizio, il numero di trasbordi. Questi attributi hanno coefficienti negativi, in quanto rappresentano per l'utente delle disutilità. Fra gli attributi di livello di servizio si possono includere anche gli *attributi specifici dell'alternativa (ASA)* o di *preferenza modale* i quali valgono uno per un modo e zero per tutti gli altri e tengono conto di quelle caratteristiche proprie di ciascun modo non valutabili quantitativamente (ad esempio la privacy dell'automobile o il comfort dell'aereo).

Gli attributi socioeconomici sono di solito relativi a caratteristiche del decisore o del nucleo familiare di appartenenza che influenzano la scelta del modo; esempi tipici sono variabili di reddito familiare, di dotazione automobilistica, il sesso, l'età,... Poiché il valore degli attributi socioeconomici non dipende dall'alternativa, essi possono comparire solo nella specificazione dell'utilità sistematica di alcune alternative, ma non di tutte. Infine, nelle specificazioni più sofisticate, alcuni attributi possono dipendere congiuntamente da caratteristiche sia del servizio sia dell'utente.

Per quanto riguarda la forma funzionale dei modelli di scelta modale, il modello Logit Multinomiale è quello utilizzato più frequentemente:

$$p^q [m/oshd] = \frac{\exp(V_{m/oshd}^q)}{\sum_{m'} \exp(V_{m'/oshd}^q)}$$

Recentemente trovano impiego sempre più frequente specificazioni dei modelli di scelta modale di tipo Logit Gerarchico che possono introdurre diversi livelli di correlazione fra le utilità percepite di diversi gruppi di modi, ad esempio i modi individuali e i modi collettivi, e/o fra servizi diversi della stessa modalità.

5 L'indagine SP

L'obiettivo che si pone la valutazione della domanda, per quanto riguarda questa trattazione, è quello di raccogliere, tramite indagini, dati riguardanti la scelta tra varie alternative modali, in modo da poter calibrare i modelli già presentati nel capitolo 3.1.

5.1 Le indagini

Gli obiettivi della valutazione della domanda, cioè la stima diretta dei flussi, ma anche la stima mediante dei modelli (di cui si occupa la presente Tesi), come riportato in [3] si raggiungono mediante delle indagini, che raccolgono dati utili per la conoscenza della domanda attuale, futura e potenziale. Il principio ispiratore delle tecniche d'indagine risiede nella stima dei valori delle variabili d'interesse, a livello dell'intera popolazione, da osservazioni condotte su di un campione. Le indagini possono essere di diverso tipo a seconda delle caratteristiche e delle qualità delle informazioni che da esse s'intende reperire.

In [3] si afferma, inoltre, che le indagini sono strumenti importanti per la calibrazione dei modelli in quanto, raccogliendo dati reali, possono adattare il modello alla situazione di studio. Queste indagini sono suddivise in due classi: *indagini RP (Revealed Preferences)* che indaga il comportamento effettivo degli utenti tramite domande dirette all'utente o tramite l'osservazione della realtà e le *indagini SP (Stated Preferences)* che invece indagano il comportamento degli utenti per scenari ipotetici a loro sottoposti: "in questa ipotetica situazione cosa faresti?".

Il modello necessita, tramite i dati raccolti, di essere specificato, calibrato e validato. Per la *specificazione*, che è la fase per la quale s'identifica la struttura matematica del modello da utilizzare, che può essere, ad esempio, il Logit, è necessario anche identificare quali possano essere le variabili esplicative che compaiono all'interno. La scelta di queste variabili dipende dal tipo di modello che si vuole utilizzare e bisogna porre attenzione al fatto che queste variabili non siano dipendenti tra loro, situazione che porterebbe ad infinite combinazioni dei valori dei coefficienti delle variabili. La *calibrazione* consiste nell'ottenere i valori dei parametri β della utilità sistematica a partire dalle scelte effettuate dagli utenti.

Si ricorda che l'utilità sistematica V_j è data dalla relazione:

$$V_j(X_j^i) = \sum_z \beta_z X_{zj}^i$$

Per la calibrazione del modello Cascetta, così come Agresti, utilizza il *metodo della Massima Verosimiglianza*. Nella stima di massima verosimiglianza la probabilità di osservare le scelte effettuate dagli utenti è espressa in funzione dei parametri incogniti del modello e le stime dei parametri sono quelle che massimizzano tale probabilità. La verosimiglianza dipende anche dal tipo di campionamento che è stato fatto per l'indagine. Nel caso di campionamento casuale semplice, la probabilità di osservare l'insieme delle scelte degli utenti del campione è fornita dal prodotto delle probabilità che ciascun utente i scelga $j(i)$, essendo questa l'alternativa effettivamente scelta. Viene quindi definita la funzione \mathcal{L} di densità della probabilità:

$$\mathcal{L} = \prod p^i[j(i)](X^i, \beta, \theta)$$

Secondo il metodo della massima verosimiglianza, i parametri che massimizzano questa funzione sono quelli che si stanno cercando. Per convenienza analitica si utilizzerà la funzione $L = \ln(\mathcal{L})$.

Nel caso, invece, di campionamento casuale stratificato, n_h utenti sono estratti a caso fra gli N_h appartenenti a ciascuno strato h ($h = 1, \dots, H$) con un tasso di campionamento $\alpha_h = n_h/N_h$. La probabilità di osservare le scelte del campione, e quindi la funzione di verosimiglianza, dipende dalla modalità con cui si sono individuati gli strati, ma non verranno approfonditi i metodi.

L'ultima fase, la *validazione*, è la fase in cui si verifica che il modello riesca in modo soddisfacente a riprodurre le scelte degli utenti intervistati. Il primo test riguarda le aspettative che si possono avere sui segni dei coefficienti calibrati. Infatti i coefficienti degli attributi che vengono percepiti come costi sono negativi, mentre i coefficienti degli attributi percepiti come positivi, sono di segno più. Infatti, se si pensa alle funzioni dei modelli trattati, ad esempio il Logit, un coefficiente negativo fa diminuire il valore totale della funzione all'aumentare dell'attributo, diminuendo quindi la probabilità di scelta da parte dell'utente, il contrario con attributi "positivi" e quindi accoppiati a coefficienti di modulo positivo. Altre aspettative che si possono avere riguardano il rapporto tra determinati coefficienti. Ci si aspetta che il rapporto sia molto simile al rapporto riscontrato in precedenti indagini. Altre verifiche sono dei test formali, ma sono validi solo per campioni sufficientemente numerosi.

5.2 L'indagine SP

Cascetta, Carteni e Carbone, sul loro articolo [28], affermano che la stima dei parametri dei modelli comportamentali può essere fatta attraverso sia studi volti all'analisi dell'effettivo comportamento di viaggio di un utente in un contesto reale (indagini RP, Revealed Preferences) sia analisi del comportamento di viaggio su ipotetici scenari progettuali. Ortuzar e Willumsen, in [17], individuano alcune limitazioni per le indagini RP, che possono essere realizzate sia in modo diretto, cioè chiedendo all'utente di descrivere il suo comportamento attraverso un questionario, sia in modo indiretto, osservando, cioè, il comportamento degli utenti:

- le osservazioni fatte possono non fornire sufficienti variabili per costruire dei buoni modelli per la valutazione e la previsione della domanda;
- il comportamento osservato può essere dominato da alcuni fattori che mettono in secondo piano altre variabili comunque importanti;
- difficoltà di raccogliere dati riguardanti situazioni nuove.

Tutti gli autori consultati concordano nell'affermare che queste limitazioni possono essere superate dalle indagini SP (Stated Preferences), che sono indagini utili per ottenere delle informazioni riguardanti i possibili comportamenti di mobilità su scenari ipotetici. Infatti indagano le possibili scelte di mobilità che gli utenti farebbero in riferimento a dei contesti che al momento non sono reali. In questo modo è possibile sottoporre scenari riguardanti politiche e soluzioni completamente nuove, descrivendo le varie alternative secondo le variabili decise in sede di progettazione.

Cascetta in [3] elenca i vantaggi portati da un'indagine SP, che sono molteplici:

- introduzione di alternative attualmente non disponibili;
- poter controllare le variabili degli attributi, in quanto lo scenario sottoposto è ipotetico;
- introduzione nei modelli di attributi non presenti nel contesto di scelta;
- ottenere più informazioni, ovvero campioni più numerosi, a parità di costo in quanto si sottopongono a uno stesso intervistato più scenari.

Tali indagini presentano tuttavia anche delle limitazioni, in quanto, introducendo delle ipotesi, è possibile che la risposta dell'intervistato si possa discostare dalla sua scelta in condizioni reali. Questo può essere

causato da svariati motivi, come ad esempio la mancanza di attributi fondamentali nello scenario, che potrebbero modificare la scelta dell'intervistato, oppure la stanchezza dell'intervistato nel protrarsi del questionario, ...

È quindi necessario, per la buona riuscita dell'indagine, riuscire ad avere uno scenario il più possibile completo, ma allo stesso tempo sintetico in modo da non portare l'intervistato a stancarsi. Inoltre Cascetta in [3] consiglia, per ovviare al problema della disomogeneità tra risposta data da parte dell'utente e il suo effettivo comportamento, di utilizzare degli scenari il più possibile vicini alla realtà dell'intervistato.

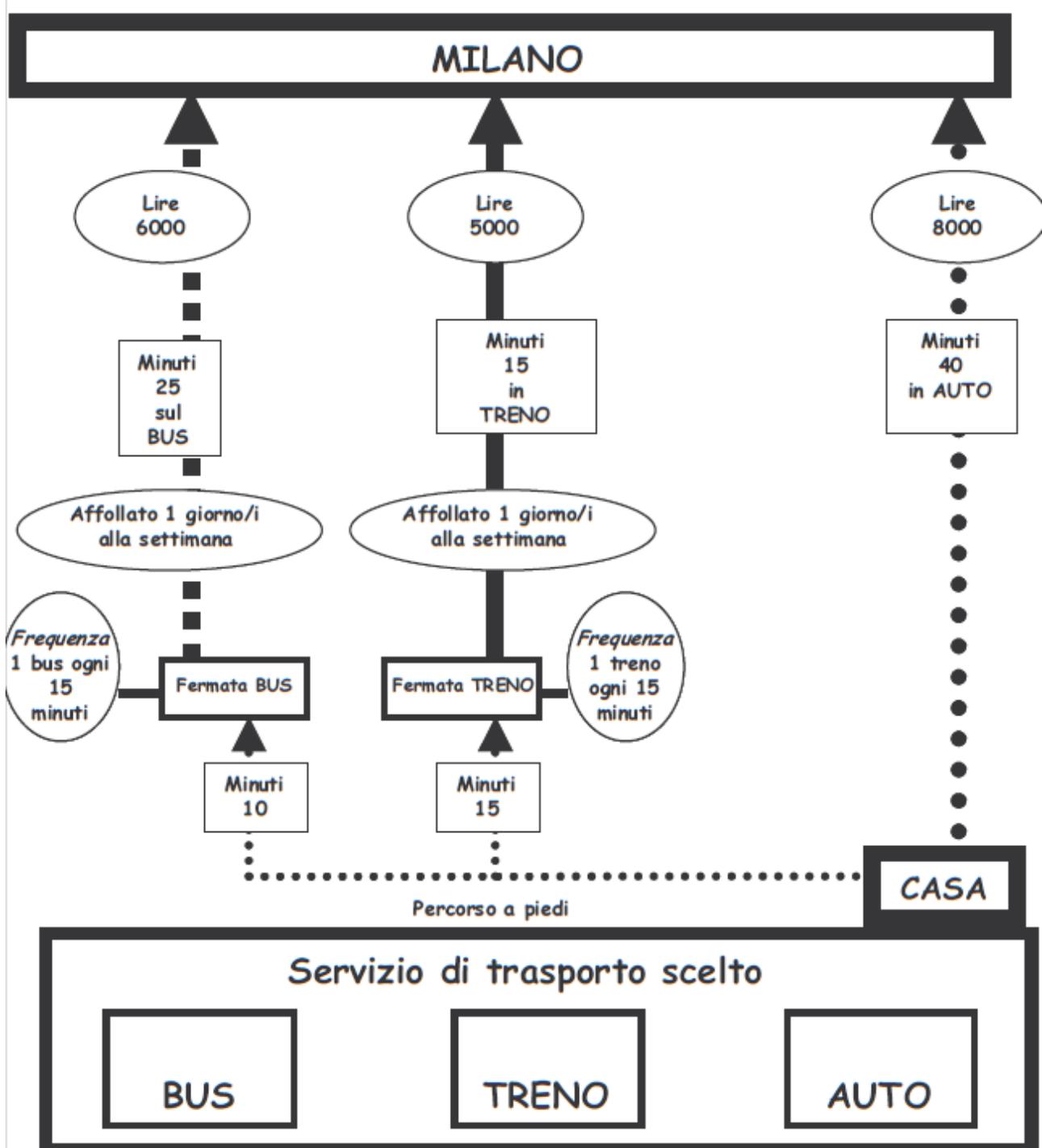


Figura 5.2:1 - Esempio di Questionario SP, da [10]

Le indagini SP sono contraddistinte, come Ortuzar e Willumsen affermano in [17], da alcune caratteristiche:

- si basano sulla richiesta agli intervistati di dichiarare come si comporterebbero di fronte a differenti alternative ipotetiche di viaggio;
- ciascuna alternativa è rappresentata come un pacchetto di differenti attributi quali il tempo di viaggio, il prezzo, la frequenza, l'affidabilità, ecc.;
- il ricercatore costruisce queste alternative ipotetiche in modo da poter stimare l'effetto individuale di ciascun attributo; questo può essere ottenuto utilizzando tecniche di *progettazione sperimentale* che assicurano che le variazioni negli attributi di ciascun pacchetto siano statisticamente indipendenti tra loro;
- il ricercatore deve assicurare che agli intervistati siano presentate alternative ipotetiche che possano essere capite, che siano realistiche e fattibili e che siano legate all'attuale livello di esperienza dell'intervistato;
- gli intervistati dichiarano le loro preferenze per ciascuna alternativa in varie modalità, che possono essere la gerarchizzazione delle alternative in ordine di attrattività, la scelta di una singola alternativa tra l'insieme di tutte o valutando le varie alternative secondo una scala che indica la preferenza;
- le scelte selezionate dagli individui sono analizzate in modo da ottenere delle misure quantitative della relativa importanza di ciascun attributo.

Come già accennato precedentemente, le indagini SP vengono sottoposte agli utenti in modo che possano scegliere una alternativa all'interno di uno scenario, caratterizzata da attributi, e hanno come valore determinati livelli.

Lo scenario è quindi la descrizione della situazione in cui bisognerà effettuare una scelta; le alternative sono quindi le varie possibilità di scelta all'interno dello scenario; i livelli sono i valori che possono assumere gli attributi, che sono le caratteristiche delle alternative che vengono proposte; Cascetta, Carbone e Carteni, nel loro articolo, suddividono gli attributi in oggettivi e soggettivi, cioè attributi misurabili e non misurabili facilmente o comunque misurabili in modo univoco.

Ad esempio, all'intervistato può essere sottoposto uno scenario di viaggio casa-lavoro, per cui la scelta modale è tra automobile e metropolitana. Automobile e metropolitana sono le due alternative. Ogni alternativa è caratterizzata da attributi, che, nell'esempio riportato, possono essere il tempo per poter eseguire lo spostamento per le due alternative, il costo dello spostamento in automobile e in metropolitana. Il valore di questi attributi, poi, è variabile su alcuni valori predefiniti, chiamati livelli. Riconducendosi all'esempio di prima, si possono avere, per l'attributo costo, diversi livelli: 1.50€, 2.00€, 2.50€.

L'utente può fornire la sua preferenza in modi diversi: può scegliere quale sia l'alternativa che più l'aggrada, oppure può dare un voto, ad esempio da 1 a 5, ad ogni alternativa presentata, oppure ancora può essergli chiesto di ordinare le varie opzioni a seconda della sua preferenza.

Il fine ultimo di tali indagini è quello di calibrare il modello utilizzato per la rappresentazione della realtà, dare, cioè, un valore ai coefficienti β moltiplicatori delle variabili dello stesso modello.

5.3 La progettazione

Cascetta riporta in [3] delle indicazioni generali per la progettazione degli scenari di un'indagine SP, avendone deciso la regola di espressione della preferenza e il tipo d'intervista.

In questa fase di decisione, sebbene esistano indicazioni operative e analisi teoriche a supporto, la progettazione delle indagini SP, ancor più che per le indagini tradizionali, si basa sull'esperienza e sulla sensibilità dell'analista. Indicazioni operative possono essere le seguenti:

- *realismo degli scenari*: più gli scenari si avvicinano alla realtà dell'intervistato, e quindi alla loro conoscenza ed esperienza, più i risultati dell'indagine sono migliori. È più facile, infatti, che un intervistato dia la risposta giusta nel caso in cui debba scegliere l'alternativa all'interno di uno scenario a lui conosciuto;
- *modalità di preferenza*: la maggior semplicità e chiarezza di indicazione della preferenza da parte del decisore compensa la minor quantità di informazioni prodotte dall'esperimento. È quindi auspicabile l'utilizzo di "scelta" piuttosto che "ordinamento" e "votazione";
- *semplificazione degli scenari*: si ottengono risultati più affidabili se gli scenari presentati hanno un numero non elevato di attributi;
- *numero di scenari proposti*: il numero da proporre agli intervistati deve essere limitato, in modo da non generare l'effetto fatica. Cascetta consiglia di non superare i nove-dieci scenari per ciascun decisore.

Willumsen e Ortuzar, come riportato in [17], danno una traccia dei possibili passi da percorrere per la definizione di alternative tecnologicamente fattibili di un'indagine SP.

Il primo passo è quello di definire l'insieme delle alternative tra cui il decisore dovrà scegliere, che solitamente è suggerito dall'obiettivo che ci si è posti. Sarà quindi necessario scegliere quali attributi e quali livelli utilizzare.

La scelta degli attributi deve essere tale da poter avere delle risposte realistiche all'indagine, gli attributi più importanti devono essere sufficienti per descrivere le alternative tecnologicamente fattibili. Bisogna fare attenzione al loro numero, in quanto un'eccessiva quantità di attributi porterebbe a poca attenzione da parte del risponditore, che porrebbe l'attenzione solo su alcuni attributi descrittivi dello scenario e non a tutti. Bisogna quindi scegliere quali siano le unità di misura degli attributi. Un processo facile per quanto riguarda gli attributi oggettivi, meno semplice per quanto riguarda gli attributi soggettivi. Il passo successivo ed ultimo è quello di decidere il numero e la dimensione dei livelli degli attributi. Come riportato in [17], Wittink, Krishnamurthi e Nutter in "*Comparing derived importance weight across attributes*" osservano che le variabili con un numero maggiore di livelli possono essere percepite dagli intervistati come più importanti.

In questo modo sono stati definiti tutti gli scenari, il cui numero N può essere dedotto dalla combinazione tra il numero di attributi n e il numero dei livelli di ciascun attributo m_n .

$$N = \prod_{i=1}^k m_i^{n_i}$$

Il numero di scenari che può risultare, quindi, è molto elevato all'aumentare del numero di attributi e di livelli. A titolo di esempio, si pensi ad un'indagine caratterizzata da alternative descritte da 3 attributi da 2 livelli ciascuno. Il numero N^* di scenari si potrebbe quindi calcolare così:

$$N^* = \prod_{i=1}^k m_i^{n_i} = 2^3 = 8$$

Nel caso in cui a questi scenari si volessero aggiungere altri due attributi, ciascuno caratterizzato da 4 livelli, il numero di scenari N_2^* aumenterebbe di ben 120 scenari in più:

$$N = \prod_{i=1}^k m_i^{n_i} = 2^3 \times 4^2 = 8 \times 16 = 128$$

Il numero completo di tutti gli scenari prende il nome di *piano fattoriale completo* o *PFC*. Naturalmente, è impensabile sottoporre ad un singolo intervistato un numero così elevato di scenari e quindi domande. Cascetta dà come limite da sottoporre ad un unico utente dieci scenari.

In questi casi, Cascetta, in [3], consiglia due metodologie per ridurre il numero di scenari: la *fattorializzazione* e la suddivisione degli scenari in più gruppi. Queste due operazioni sono spesso eseguite anche in successione.

La **fattorializzazione** porterà alla composizione del *Piano Fattoriale Fratto*. Gli scenari rimanenti per la fattorializzazione devono sottostare alla proprietà di *confronto*, che richiede che all'interno dello stesso scenario il numero di livelli positivi presenti sia pari al numero di livelli negativi, cioè la somma dei livelli dello scenario è nulla, e alla proprietà di *ortogonalità* tra due confronti, che richiede che all'interno dello stesso gruppo di scenari, il numero di scenari in cui i livelli di due attributi sono concordi (++, --) eguaglia il numero di scenari in cui essi sono discordi (+-, -+).

In formule, indicando con l_{ij} il livello dell' j -esimo attributo dell' i -esimo scenario e l_{ih} il livello dell' h -esimo attributo dell' i -esimo scenario.

$$\sum_{i=1, \dots, N} l_{ij} = 0 \quad \text{Confronto per il fattore } j$$

$$\sum_{i=1, \dots, N} l_{ij} \times l_{ih} = 0 \quad \text{Due confronti relativi ai fattori } j \text{ e } h \text{ ortogonali}$$

Questa metodologia è basata su di una *funzione definente*, che elimina alcuni attributi, legandoli ad altri, secondo questa funzione. In questo modo il numero degli scenari si riduce sensibilmente.

A titolo di esempio, si riporta nel Tabella 5.3:1 la fattorializzazione usata per il caso studio [10], in cui si evidenzia come la variabile F verrà ottenuta dalle variabili TT e P .

<i>TT</i>	<i>P</i>	<i>F</i>
+	+	+
=	+	=
-	+	-
+	-	-
=	-	=
-	-	+

Tabella 5.3:1 - Esempio di fattoriale fratto per la variabile *F*

Si osserva come “+” possa essere rappresentato dal valore +1, “-” dal valore -1 e “=” dal valore 0 e quindi come i livelli corrispondenti di *F* risultino dal prodotto dei livelli di *TT* e *P*.

La **suddivisione a blocchi**, invece, consiste nel suddividere tutti gli scenari in gruppi omogenei in modo tale che ogni singolo intervistato possa rispondere ad un gruppo diverso di domande con un numero limitato di scenari sottoposti. Il Piano Fattoriale completo sarà poi ricomposto aggregando le risposte date dagli utenti ai diversi gruppi. Anche in questo caso la suddivisione dei gruppi deve seguire una certa logica, in modo tale che risponda alle proprietà di confronto e ortogonalità. Anche in questo caso la rappresentazione dei livelli con “+” e “-” può aiutare per la suddivisione.

Si cita un esempio riportato da Cascetta in [3], dove gli attributi T_A , tempo in auto, C_A , costo del viaggio in auto e T_B , tempo in autobus hanno solamente due livelli.

SC. NR.	FATTORI			VAR. DI BLOCCO	ALTERNATIVE ORGANIZZATE IN BLOCCHI				SC. NR.	
	T_A	C_A	T_B		T_A, C_A, T_B	blocco		T_A		C_A	$T_B$
1	-	-	-	-	I	blocco I	-	-	-	1
2	+	-	-	+	II		+	+	-	4
3	-	+	-	+	II		+	-	+	6
4	+	+	-	-	II		-	+	+	7
5	-	-	+	+	I	blocco II	+	-	-	2
6	+	-	+	-	I		-	+	-	3
7	-	+	+	-	I		-	-	+	5
8	+	+	+	+	II		+	+	+	8

Tabella 5.3:2 - Costruzione di due blocchi a quattro scenari

Per la costruzione dei vari blocchi, come si può osservare dall'esempio, si calcola l'interazione tra i livelli degli attributi e a seconda del risultato, lo scenario appartiene ad un determinato gruppo. In questo modo viene esaudita la proprietà di ortogonalità.

Come già è stato detto prima, è possibile procedere prima con la fattorializzazione per avere un numero di scenari gestibili e poi con la suddivisione a blocchi, in modo da spartire i vari scenari tra tutti i risponditori.

Parte due: Il metodo

Questa parte ha l'intento di illustrare quali siano gli scopi e gli obiettivi dell'indagine, come sia stata costruita, quali siano stati i risultati ottenuti e la loro analisi. In ultimo verrà stabilita una gerarchia dei possibili elementi del servizio sui quali investire per poter incrementare l'attrattività di un servizio ferroviario. L'analisi è stata condotta considerando come prototipale un'utenza di tipo pendolare.

Si è scelto di non concentrarsi su linee di tipo turistico, che pur rivestono in Italia notevole interesse

Capitolo 6, Obiettivi e passi preliminari:	questo capitolo descrive la scelta del modello da utilizzare per rappresentare la domanda da servire e le modalità per la sua calibrazione (scopo principale di questa trattazione);
Capitolo 7, La costruzione dell'indagine SP:	questo capitolo si occupa di descrivere come è stata progettata l'indagine SP effettuata, quale sia stata la scelta degli attributi e dei livelli per la descrizione delle alternative dello scenario. Successivamente, si descrive la modalità utilizzata per la suddivisione a blocchi degli scenari e come comporre il Piano Fattoriale Fratto;
Capitolo 8, Il software:	in questo capitolo si presenta brevemente il software utilizzato per proporre l'indagine SP. Quindi s'illustra quali scelte siano state compiute per creare il sondaggio utilizzando questo strumento;
Capitolo 9, Il bacino degli intervistati:	scopo di questo capitolo è di presentare le caratteristiche di coloro che hanno risposto al questionario pubblicato online. La descrizione degli intervistati è sia di tipo quantitativo, sia di tipo qualitativo, per quanto possano permettere i dati raccolti;
Capitolo 10, I dati raccolti:	questo capitolo raccoglie tutte le risposte ricevute dall'indagine. Successivamente questi dati raccolti vengono raggruppati in modo aggregato e quindi analizzati;
Capitolo 11, Elaborazione dei dati:	in questo capitolo si affronta l'elaborazione dei dati raccolti tramite l'indagine SP per poter eseguire l'operazione di calibrazione. L'elaborazione si può eseguire tramite vari software, tra cui il software R, ambiente di sviluppo specifico per l'elaborazione statistica. Infine si analizzano criticamente i risultati ottenuti, eseguendone alcune verifiche;
Capitolo 12, Conclusione:	l'ultimo capitolo si occupa di normalizzare i risultati ottenuti in modo tale che i coefficienti moltiplicativi β possano essere confrontati tra di loro, permettendo così di giungere alla gerarchia degli attributi.

6 Obiettivi e passi preliminari

6.1 Obiettivo

L'obiettivo di questa Tesi è quello di definire uno strumento in grado di supportare, in modo quanto più possibile oggettivo, il decisore politico nelle scelte relative a possibili modifiche da apportare a linee ferroviarie in modo che queste linee possano essere più attrattive per la domanda. I risultati che si desiderano ottenere vogliono essere quanto più generali possibili, quindi non specificatamente orientati su una particolare linea ferroviaria, ma riferibili prevalentemente alle linee a scarso traffico (seppur più in generale applicabili anche a linee sufficientemente utilizzate). Con linea a scarso traffico si vuole intendere una linea poco utilizzata, ma che potenzialmente potrebbe servire un bacino ben maggiore di utenti grazie a modifiche del servizio offerto. L'obiettivo che si vuole raggiungere è un ordinamento degli attributi caratterizzanti il servizio da migliorare, in modo da poter definire quali possano essere i primi passi da compiere affinché il servizio migliori in modo significativo in termini di attrattività per l'utenza, orientando di conseguenza i possibili investimenti economici.

Come affermano Ortuzar e Willumsen in [17], tutti i modi di trasporto pubblico sono più efficienti per quanto riguarda l'utilizzo dello spazio stradale, o, come nel caso delle ferrovie o delle metropolitane, non lo utilizzano per nulla. Per questo motivo la scelta modale influenza l'efficienza complessiva del sistema di trasporto e quindi la quantità di spazio urbano dedicato alle funzioni di trasporto, nonché l'insieme delle alternative disponibili o meno per il viaggiatore.

Infatti, se si riuscisse a trasferire al trasporto collettivo una quota parte degli utenti che utilizzano il proprio veicolo per gli spostamenti giornalieri, migliorerebbe il livello di servizio della rete stradale, sia per il trasporto collettivo stradale sia per quegli utenti che sono rimasti al loro veicolo.



Figura 6.1:1 - Confronto tra auto, bicicletta e autobus

Il trasporto pubblico locale presenta, inoltre, altri diversi vantaggi rispetto all'utilizzo dell'auto privata. I più evidenti sono quelli che riguardano la *congestione* dovuta al traffico e l'*inquinamento*. L'utilizzo dell'auto privata, tipico mezzo alternativo alle linee ferroviarie considerate per questa trattazione, per gli spostamenti casa-lavoro, infatti, porta, inevitabilmente a un utilizzo della superficie stradale non ottimizzato. Un esempio eloquente è la Figura 6.1:1, che è altamente esemplificativa della questione.

In figura, infatti, è possibile confrontare lo spazio occupato sulla medesima strada dallo stesso numero di persone che però utilizzano mezzi differenti: la propria auto, la propria bicicletta e l'autobus. L'utilizzo di un mezzo come la ferrovia, così, porterebbe a un uso evidentemente meno invasivo della superficie stradale, con positivi effetti anche sulla riduzione di emissioni inquinanti. Da questo punto di vista è importante anche l'aspetto della comunicazione e della sensibilizzazione dell'utenza. Un positivo esempio, in questo senso, sono i biglietti ferroviari (Figura 6.1:2), che sottolineano come utilizzare per i propri spostamenti il treno al posto di altri mezzi porta benefici anche all'ambiente.



Figura 6.1:2 - Stralcio di un biglietto ferroviario Trenitalia [41]

Infatti l'utilizzo della propria automobile a combustione interna, porta, inevitabilmente, alla produzione dei gas di scarico che vanno ad accumularsi nell'atmosfera. Il mezzo ferroviario, nonostante utilizzi energia elettrica proveniente da fonti di energia anche non rinnovabile, utilizza motori elettrici (anche alimentati da motori a combustione interna a ciclo diesel) che hanno un rendimento migliore rispetto al motore a combustione interna utilizzato sulla stragrande maggioranza delle vetture private. Altri vantaggi possono essere ricercati nel minore stress da viaggio, dovuto al fatto di non dover guidare la propria vettura all'interno di una rete stradale congestionata, conoscere esattamente l'orario di partenza e di arrivo del proprio spostamento, poter "far altro" durante il viaggio, senza dover prestare attenzione al viaggio. Inoltre, l'uso di mezzi di trasporto individuali comporta una maggiore probabilità d'incidente, come si può dedurre dalla Tabella 6.1:1 che riporta le statistiche incidentali relative agli anni 2001-2008, da cui si può dedurre una preponderanza d'incidenti stradali rispetto a quelli ferroviari, dovuta anche all'utilizzo sempre più diffuso di automazione del segnalamento sulla via ferrata. La tabella è stata ricavata da [24]. I dati ivi riportati sono stati raccolti dall'Istat per quanto riguarda gli incidenti stradali e ferroviari, dall'Agenzia

Nazionale per la sicurezza in volo, per gli incidenti del trasporto aereo, mentre per il trasporto marittimo, i dati sono stati raccolti dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. Il segno “-” si riferisce a dati non esistenti oppure ancora non disponibili alla data di redazione del documento, i valori evidenziati in grassetto rappresentano i massimi e quelli in corsivo grassetto i minimi della serie; sono, infine, considerati solo gli eventi che hanno provocato almeno un ferito o un morto.

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	var. 2007/06	var. 2008/07
Numero di incidenti										
Trasporto stradale	235.409	239.354	252.271	243.490	240.011	238.124	230.871	218.963	-3,05%	-5,16%
Trasporto marittimo	-	-	-	-	-	29	81	67	179,31%	-17,28%
Trasporto aereo	22	31	25	20	16	17	17	13	0,00%	-23,53%
Trasporto ferroviario	-	-	-	144	154	166	133	120	-19,88%	-9,77%
Feriti										
Trasporto stradale	335.029	341.660	356.475	343.179	334.858	332.955	325.850	310.739	-2,13%	-4,64%
Trasporto marittimo	-	-	-	-	-	59	133	211	125,42%	58,65%
Trasporto aereo	18	20	16	14	33	15	8	2	-46,67%	-75,00%
Trasporto ferroviario	-	-	-	87	131	85	49	39	-42,35%	-20,41%
Morti										
Trasporto stradale	7.096	6.980	6.563	6.122	5.818	5.669	5.131	4.731	-9,49%	-7,80%
Trasporto marittimo	-	-	-	-	-	15	17	15-	13,33%	-11,76
Trasporto aereo	146	37	31	21	37	22	27	23	22,73%	-14,81%
Trasporto ferroviario	-	-	-	59	100	83	71	68	-14,46%	-4,23%

Tabella 6.1:1 - Incidenti, feriti e morti nei trasporti stradali, marittimi, aerei e ferroviari per gli anni 2001-2008

Inoltre, in un momento economico in cui sono presenti un sensibile ritorno e una richiesta di servizi pubblici di trasporto sempre maggiore, e nell’ottica di una fondamentale insostenibilità sul lungo periodo dell’auto, la soluzione ferroviaria può costituire una valida risposta a queste necessità.

Secondo le statistiche dell’Istat che vanno dal 2001 al 2011, inoltre, come mostrato nel Grafico 6.1:1, in Italia ci sono poco più di 6 autovetture ogni 10 abitanti. Le famiglie in Italia, sempre secondo i dati del 2011 dell’Istat, sono più di 24 milioni. Questo vuol dire che, su di una popolazione che è quasi di 60 milioni (Istat 2011), c’è più di una vettura per famiglia che verosimilmente verrà utilizzata per lo spostamento giornaliero.

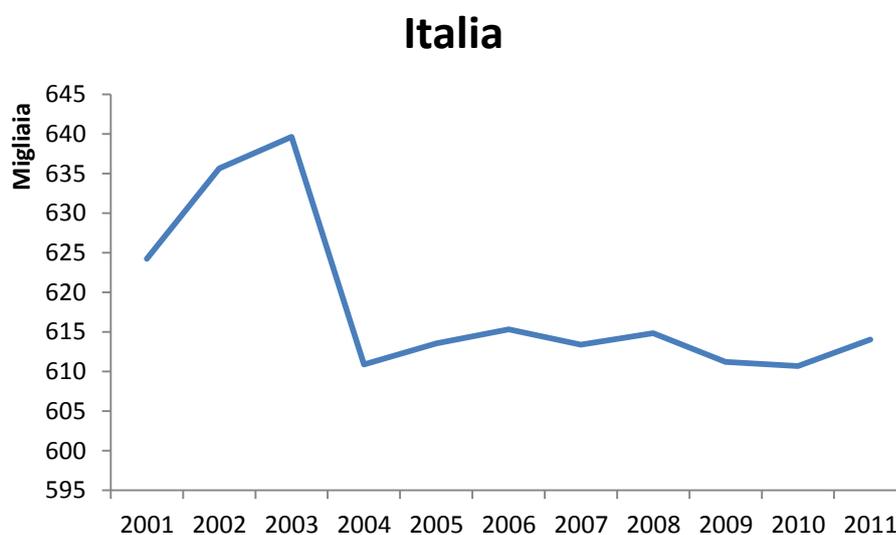
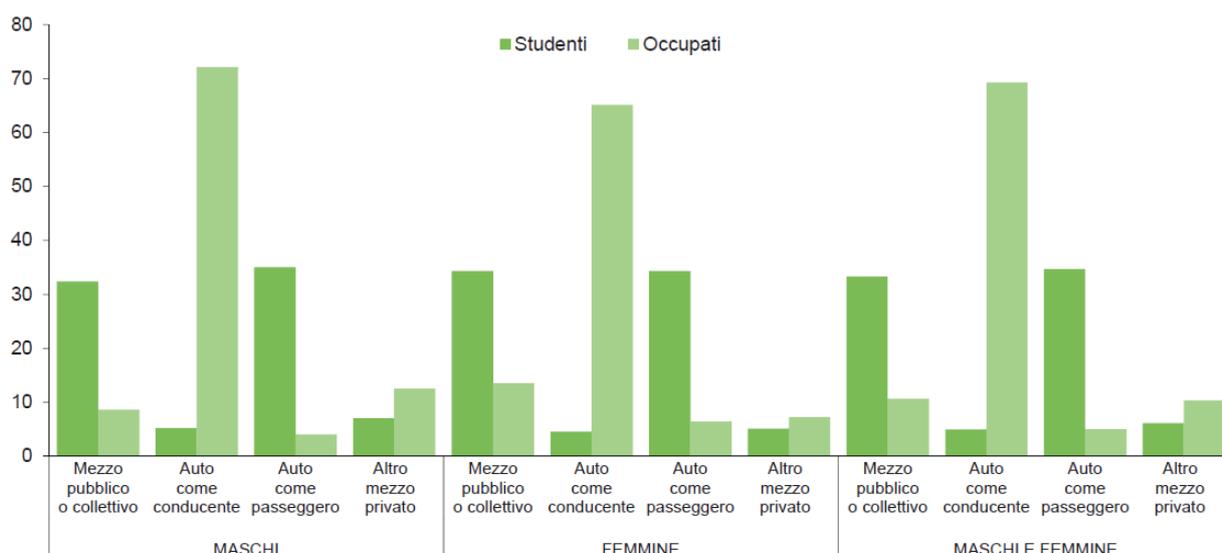


Grafico 6.1:1 - Numero di automobili ogni 1.000.000 di abitanti

Questa affermazione viene supportata dalle statistiche dell'Istat [22] (Grafico 6.1:2), che rivelano come l'automobile sia il mezzo di gran lunga più utilizzato per lo spostamento casa-lavoro o casa-scuola:

“Gli spostamenti quotidiani hanno coinvolto nel 2012 oltre 32 milioni e mezzo di persone, circa 11 milioni tra bambini dell’asilo o della scuola dell’infanzia e studenti e oltre 21 milioni e mezzo di occupati. La maggior parte delle persone, il 71,7 per cento degli studenti e l’87,8 per cento degli occupati, per recarsi a scuola o al lavoro utilizza un mezzo di trasporto e più spesso l’automobile (il 39,6 per cento degli studenti e il 74,3 per cento degli occupati). Il mezzo pubblico o collettivo è utilizzato soprattutto dagli studenti (33,3 per cento), molto meno dagli occupati (10,6 per cento). Le caratteristiche del fenomeno sono sostanzialmente stabili nel tempo.”



Fonte: Istat, Indagine multiscopo sulle famiglie “Aspetti della vita quotidiana”

Grafico 6.1:2 - Ripartizione modale in Italia tra mezzo pubblico e mezzo privato

Naturalmente, la questione riguardante l'utilizzo del mezzo privato per gli spostamenti casa-lavoro e scuola-lavoro è da osservare anche tenendo conto della possibilità di poter guidare un mezzo proprio da parte di studenti patentati, ma anche della disponibilità di un mezzo per effettuare i propri spostamenti.

6.2 Il modello

L'obiettivo sopra presentato riguarda la scelta modale, e quindi riporta la necessità di utilizzare il sottomodulo di ripartizione modale del modello a quattro stadi.

Secondo quanto scritto nel capitolo 4, che riguarda appunto il sottomodulo di ripartizione modale, gli autori analizzati propongono una modellizzazione comportamentale tramite Logit o una modellizzazione con i modelli diretti.

Questi ultimi, però, non risultano direttamente utili al caso discusso, in quanto inglobano l'analisi della ripartizione modale e la fase di generazione e di distribuzione. Il modello a cui, quindi, bisognerà rifarsi sarà il modello comportamentale e nello specifico il Logit.

Come già visto nel capitolo 3, i principali Logit che si possono utilizzare sono il Logit Multinomiale e il Logit Binomiale, a cui si aggiunge il Logit Gerarchico. Poiché si ricerca uno strumento di decisione il più possibile generale e applicabile alla maggior parte delle situazioni possibili, ricordando che l'obiettivo è quello di fornire uno strumento che faccia propendere per uno spostamento dell'utenza dal veicolo personale al

servizio ferroviario, le alternative di scelta possibili sono solamente due: l'automobile e il treno. Il Logit Binomiale è quindi il modello che più si adatta alla questione riportata. Dopo un'analisi della letteratura di settore, di questo modello si utilizzerà la definizione data da Agresti, in quanto è la più generale possibile.

$$p = \frac{\exp(\sum \beta C)}{1 + \exp(\sum \beta C)}$$

Una volta scelto il modello da utilizzare, il passo successivo sarà quello di calibrare il modello, cioè dare un valore ai coefficienti β degli attributi (di cui si parlerà nel capitolo successivo) del modello Logit.

La calibrazione del modello verrà eseguita tramite il metodo della massima verosimiglianza, che però necessita di dati "reali". La raccolta dei dati per la calibrazione può essere effettuata tramite una indagine RP o un'indagine SP. La differenza tra le due indagini è costituita dal fatto che la prima investiga la realtà attuale, indagando il comportamento che avviene allo stato attuale dei fatti, alle caratteristiche attuali del sistema di trasporto; le indagini SP, invece, indagano l'ipotetico, cioè registrano il presunto comportamento dell'utente nel caso in cui si trovasse davanti a una scelta tra più alternative che al momento non sono presenti nel sistema di trasporto. Per questo motivo queste indagini sono chiamate anche *esperimenti*, in quanto sperimentano situazioni non ancora presenti nella realtà.

Quest'ultimo tipo d'indagine costituisce la soluzione più indicata per lo scopo che ci si è prefissato. Infatti, oltre ad indagare situazioni ipotetiche e potenzialmente future, consente di registrare anche il possibile comportamento degli utenti che attualmente non utilizzano il mezzo che si vuole potenziare, e quindi di modularne il servizio anche in funzione delle loro necessità.

In questo modo si potrà modellizzare il comportamento degli utenti riguardo alla ripartizione modale. In questo modo, però, non si realizza lo scopo decretato, che è quello di stilare una sorta di classifica delle priorità per aumentare l'attrattiva da parte di un servizio ferroviario. La calibrazione, però, restituisce un peso ad ogni attributo del modello. In questo modo, il coefficiente con il valore del modulo maggiore avrà un peso superiore rispetto all'attributo il cui coefficiente ha un valore più basso. La classificazione, quindi, verrà effettuata tramite il valore dei moduli dei coefficienti β degli attributi.

6.3 Conclusione

Si è scelto, quindi, di rappresentare la domanda di ripartizione modale tramite un modello comportamentale Logit Binomiale. Come già esplicitato, si è preferito in quanto le alternative possibili nel presente lavoro sono solamente due: treno o automobile. La calibrazione verrà fatta tramite indagini SP, che studiano situazioni ipotetiche e realistiche, ma non attuali. Tramite questa calibrazione si riuscirà a dare un peso ad ogni attributo e quindi a stilare una sorta di graduatoria per importanza dal punto di vista dell'utente, classifica utile per orientare i possibili investimenti da parte di un soggetto decisore.

7 La costruzione dell'indagine SP

Come presentato nei capitoli precedenti, l'indagine SP verrà utilizzata per la calibrazione (capitolo 5) di un modello Logit Binomiale (paragrafo 3.1.2). Risulta quindi essere inevitabile il fatto che la modalità in cui verrà mostrata la preferenza dell'utente tra automobile e treno sarà del tipo "scelta".

$$p = \frac{\exp(\sum_k \beta_k C_k)}{1 + \exp(\sum_k \beta_k C_k)}$$

Caratteristica particolare dell'indagine SP che si andrà a costruire è che solo gli attributi dell'alternativa treno variano, mentre gli attributi dell'automobile restano immutati. Questo perché l'obiettivo è l'analisi delle possibili variazioni da apportare al servizio ferroviario.

Inoltre si è stabilito che questa sperimentazione riguarderà gli spostamenti casa-lavoro e casa-scuola, dal lunedì al venerdì; si rivolgerà particolare attenzione alle linee scarsamente utilizzate. È stato scelto questo specifico spostamento in quanto prevalente da parte dell'utenza durante l'anno. Per di più l'utilizzo del sistema ferroviario si presta maggiormente alla sostituzione del mezzo motorizzato individuale per gli spostamenti, in quanto caratterizzato da un orario fisso, e a volte cadenzato, che può essere utile per la pianificazione dello spostamento.

Ancora, in quanto a tempi di viaggio, il treno può essere fortemente competitivo rispetto all'uso dell'auto, in quanto ha una velocità commerciale concorrenziale rispetto all'automobile. Un'altra caratteristica per la quale il treno può essere considerato concorrenziale rispetto all'automobile è il fattore economico. È risaputo, infatti, che a livello di costi reali l'automobile è mediamente più svantaggiata rispetto al mezzo ferroviario.

7.1 Gli attributi

Gli attributi C_k , come già riportato nei capitoli precedenti, sono le variabili che caratterizzano il servizio che si vuole modellizzare. Essi devono riuscire a descrivere in modo efficace e sintetico il sistema di trasporto.

La necessità che gli attributi siano efficaci e rappresentativi della realtà è palese: per rappresentare un buon modello tramite gli attributi è necessario che gli attributi descrivano i punti essenziali e più importanti del sistema per l'utente utilizzatore.

Naturalmente, più il numero di attributi è elevato, più puntuale e precisa sarà la descrizione della realtà tramite il modello. Tuttavia, un numero elevato di attributi, rende più complesso il modello e conseguentemente più complicato il calcolo degli attributi β tramite la calibrazione. Questa difficoltà può essere in parte superata tramite l'utilizzo di software di calcolo, come R o MS Excel, ma gli oneri computazionali potrebbero comunque essere considerevoli e il modello potrebbe essere troppo complesso e impegnativo per l'intervistato.

Un numero elevato di attributi comporta un'ulteriore difficoltà nella realizzazione di un'indagine SP. Infatti, aumentando il numero delle variabili, e quindi anche il numero dei loro livelli, cioè dei valori che questi attributi possono assumere, il numero degli scenari da sottoporre agli intervistati aumenta fortemente.

Questo si può evincere dalla seguente formula, già riportata nel capitolo 5, che calcola il numero degli scenari al variare del numero degli attributi e dei rispettivi livelli:

$$N = \prod_{i=1}^k m_i^{n_i}$$

Dove N è il numero degli scenari, n il numero degli attributi e m_n è il numero di livelli del attributo n .

Si pensi, ad esempio, a un'indagine che riguarda un generico servizio di trasporto pubblico. Si può pensare di descriverlo tramite alcune caratteristiche, gli attributi, che possono essere, ad esempio, la velocità commerciale, il tempo alle fermate, la frequenza dei passaggi del mezzo alle fermate, la possibilità di avere delle informazioni a bordo e alla banchina riguardo eventuali ritardi e coincidenze...

I livelli di questi attributi ne descrivono la "quantità". È necessario, quindi, che assumano diversi valori: ad esempio per la frequenza si possono avere valori di un passaggio del mezzo ogni 20 min, oppure ogni 30 min.

Attributi	Livelli
Frequenza	20 min
	30 min
Tempo di viaggio	25 min
	18 min

Tabella 7.1:1 - Esempio di attributi e di livelli

Come già spiegato nel capitolo 5, la problematica riguardante il possibile numero elevato di scenari si può superare grazie al *piano fattoriale fratto e/o alla divisione degli scenari per blocchi*. Il primo metodo diminuisce il numero di scenari da presentare all'intervistato, mentre il secondo permette di suddividere gli scenari in più gruppi, ognuno da presentare a un intervistato differente, in modo da coprire tutti gli scenari tramite più intervistati.

In questo modo, però, è necessario prevedere un folto gruppo d'intervistati in modo da ottenere un adeguato numero di risposte. L'aumento degli attributi, e quindi dei rispettivi livelli, aumenta il numero degli scenari disponibili e quindi anche il numero d'intervistati necessari affinché ci sia un numero adeguato di risposte.

È quindi importante trovare un compromesso tra le differenti esigenze, definendo un numero non elevato di attributi, ma al tempo stesso in grado di descrivere il modello in modo completo.

7.1.1 La scelta degli attributi e dei livelli

Per la scelta degli attributi da utilizzare per descrivere le alternative, si è scelto di ripercorre lo spostamento che potrebbe fare un utente per raggiungere il proprio posto di lavoro o il proprio istituto scolastico. Ci si è concentrati su questo aspetto in accordo con le finalità della Tesi.

Per quanto riguarda l'uso dell'**automobile**, si è ipotizzato che l'utente raggiunga il proprio mezzo, per ipotesi nelle vicinanze della sua abitazione, e percorra in automobile il tratto che lo separa dalla propria destinazione per un certo *tempo*, consumando una certa quantità di *carburante*, poi cerchi parcheggio e quindi raggiunga la sua meta. Nel caso in cui l'utente intervistato sia sprovvisto di patente, è stato ipotizzato il fatto che possa raggiungere la sua meta in automobile come semplice passeggero.

Per quanto riguarda il ricorso alla **ferrovia**, invece, l'utente deve raggiungere la stazione di partenza del proprio treno che si trova a una certa *distanza* dalla propria abitazione e deve acquistare il *biglietto*. Deve quindi attendere un certo tempo che passi il treno a cui è interessato e che è caratterizzato da una certa *frequenza*. Salito sul treno, l'utente cercherà di passare nel miglior *comfort* possibile il *tempo a bordo* necessario per effettuare lo spostamento. Una volta arrivato alla stazione di destinazione l'utente raggiungerà la sua meta.

In questo modo sono stati descritti i due rispettivi viaggi tramite degli attributi, che verranno utilizzati per costruire il modello. Il numero di attributi risulta essere pari a cinque, entro i limiti che vengono consigliati

da Sanko in [19]. Inoltre Sanko, consiglia dei requisiti per quanto riguarda le caratteristiche che i livelli degli attributi devono avere:

- gli attributi e i livelli devono essere plausibili;
- gli attributi e i livelli devono essere vicini alla realtà degli intervistati;
- i valori dei livelli devono in qualche modo essere competitivi.

Inoltre, affinché il modello possa essere calibrato nel miglior modo possibile:

- i livelli degli attributi presentati agli intervistati devono coprire un range sufficientemente ampio per includere i possibili valori limite;
- la differenza di valore tra i livelli di uno stesso attributo deve essere abbastanza piccola affinché si possa fare una accurata stima.

7.1.1.1 La distanza

La distanza da casa è un attributo che interessa solamente il modo treno, in quanto è stato ipotizzato che l'automobile si trovi nei paraggi dell'abitazione dell'utente e quindi la distanza da percorrere per raggiungere il proprio mezzo sia trascurabile rispetto alla distanza casa-stazione.

Questo attributo, invece, è rilevante per quanto riguarda il modo treno. Inoltre, per rendere la descrizione più sintetica, l'attributo distanza definisce sia la distanza casa-stazione di origine sia la distanza stazione di destinazione-meta.

L'unità di misura di questo attributo è la lunghezza. Nonostante ciò si è deciso di tradurre la lunghezza in un tempo espresso in minuti, in modo da restituire all'intervistato una informazione più chiaramente intellegibile.

Per il passaggio dalla distanza al tempo si utilizza l'espressione della velocità:

$$v = \frac{s}{t} \rightarrow t = v \cdot s$$

Come velocità si decide di utilizzare la velocità media di un uomo che cammina. Il valore di velocità media che è stato assunto è pari a $4,5 \text{ km/h}$ che appartiene al range di velocità comunemente utilizzato ed indicato in letteratura.

Come distanze casa-stazione di origine e stazione di destinazione-meta sono state prese:

500 m	pari a	< 7 min
700 m		> 9 min
1200 m		16 min

Queste distanze sono state scelte basandosi sul lavoro di Gandini, [7], in cui, nel capitolo riguardante l'accessibilità, l'utenza è stata suddivisa in *utenza prossima* e *utenza di bacino*. Con utenza prossima l'autore ha inteso la popolazione che può accedere al servizio di trasporto attraverso spostamenti residenza-stazione limitati ed effettuabili a piedi o in bicicletta. Più lunghi, invece, sono gli spostamenti che dovrebbe compiere l'utenza di bacino; spostamenti che potrebbero richiedere l'utilizzo di altri sistemi di trasporto sia privato sia collettivo. Secondo quanto riportato dall'autore, l'utenza prossima si trova entro una distanza di 1500 m. Questo è il limite a cui si è fatto riferimento per i livelli adottati per la distanza. Inoltre, gli intervalli utilizzati sono riconosciuti a livello di letteratura.

Il metodo

La costruzione dell'indagine SP

Le seguenti distanze poi sono state interconnesse tra loro in modo da poter considerare tutti i possibili livelli:

<i>7 min + 7 min</i>	<i>14 min</i>
<i>7 min + 9 min</i>	<i>16 min</i>
<i>7 min + 16 min</i>	<i>23 min</i>
<i>9 min + 9 min</i>	<i>18 min</i>
<i>9 min + 16 min</i>	<i>25 min</i>
<i>16 min + 16 min</i>	<i>32 min</i>

Per poter ridurre il numero di livelli si è deciso di accorpare queste somme e di riportarle a soli 3 casi tipologici e rappresentativi che comprendono tutti i casi sopra specificati:

Distanza	Semplificazione
<i>14 min</i>	<i>15 min</i>
<i>16 min</i>	<i>15 min</i>
<i>18 min</i>	<i>20 min</i>
<i>23 min</i>	<i>20 min</i>
<i>25 min</i>	<i>30 min</i>
<i>32 min</i>	<i>30 min</i>

Tabella 7.1:2 - Semplificazione delle distanze

Per l'attributo distanza, d , sono stati quindi predisposti 3 livelli: *15 min*, *20 min*, *30 min*.

7.1.1.2 Costo

L'attributo costo riguarda sia l'automobile sia il servizio ferroviario. Per questo attributo, così come lo sarà per l'attributo tempo a bordo, è necessario definire l'unità di misura più opportuna. Infatti è possibile descrivere questo attributo sia come un costo al chilometro [€/km], sia come un costo puro, attraverso un esempio, in cui immaginare un ipotetico spostamento di un particolare numero di km, e quindi dare la dimensione di costo [€] a questo spostamento.

Questa seconda possibilità sembra essere più facilmente intellegibile dagli utenti e quindi si è optato per questa seconda soluzione. Si è deciso di assumere come prototipale un viaggio di circa 20 – 25 km per descrivere questo spostamento, rappresentativo di un possibile spostamento sistematico tipico casa-lavoro effettuabile con un sistema di trasporto collettivo su ferro.

In questo modo, mediante un comune strumento di route-planning (nello specifico quello fornito da [43]) è stato possibile dare un valore al costo di viaggio con l'automobile.

Tale operazione ha richiesto tuttavia un'analisi delle possibilità offerte dal route-planner, in modo da poter assumere un valore di costo in auto del viaggio quanto più possibile rappresentativo della realtà.

La maschera della scelta dell'opzioni per calcolare l'itinerario del sito permette di specificare quale modello di auto si ha a disposizione, per meglio calcolare il costo del viaggio. È possibile inoltre scegliere il carburante utilizzato.

Figura 7.1:1 - Scelta del tipo di autovettura a disposizione per il sito viamichelin.it

Secondo statistiche (all'anno 2011, il dato più aggiornato riportato) pubblicate sul sito dell'ACI (automobile Club Italiano) [34], la vettura più utilizzata in Italia ha una cilindrata compresa tra i 1201 cc e 1600 cc ed è alimentata a benzina. Verrà quindi utilizzata questa vettura per il calcolo del costo del viaggio.

	FINO A 800	801 - 1200	1201 - 1600	1601 - 1800	1801 - 2000	2001 - 2500	2501 - 3000	OLTRE 3000	NON IDENTIFICATO	TOTALE
BENZINA	1'382'826	7'721'500	9'180'862	645'848	816'102	106'326	94'204	213'017	2'472	20'163'157
BENZINA O GAS LIQUIDO	63'916	311'159	1'080'321	99'116	173'579	20'833	10'120	16'425	786	1'776'255
BENZINA O METANO	2'044	51'708	570'159	19'609	31'076	4'270	1'016	1'018	94	680'994
GASOLIO	72'635	31'004	5'057'363	1'262'051	5'812'829	1'448'136	735'465	65'157	261	14'484'901
ALTRE	528	779	436	84	160	36	17	32	5'921	7'993
TOTALE	1'521'949	8'116'150	15'889'141	2'026'708	6'833'746	1'579'601	840'822	295'649	9'534	37'113'300

Tabella 7.1:3 - Autovetture distinte per cilindrata e alimentazione, ACI 2011

Uno scambio di mail con lo staff di viamichelin.it, ha evidenziato il fatto che la distinzione tra le autovetture che utilizzano, non ricalca la cilindrata del veicolo, ma segue il lo schema riportato nella Tabella 7.1:4.

l/100 km	autostrada			strada extraurbana			città		
	benzina	gasolio	gpl	benzina	gasolio	gpl	benzina	gasolio	gpl
utilitaria	6,8	5,6	6,0	5,1	4,2	4,5	7,3	6,1	6,5
berlina	7,9	6,6	7,0	6,2	5,2	5,5	9,0	7,5	8,0
famigliare	9,0	7,5	8,0	6,8	5,6	6,0	10,1	8,4	9,0
gran turismo	11,3	9,4	11,4	7,9	6,6	8,0	11,3	9,4	11,4
di lusso	15,2	12,7	15,4	11,3	9,4	11,4	15,8	13,1	16,0

Tabella 7.1:4 - Consumi standard secondo viamchelin.it

Nonostante questo si è ipotizzato che l'automobile "moda" sia del tipo berlina. Per calcolare al meglio questo costo è stato considerato il caso particolare della linea ferroviaria non elettrificata Como-Lecco (che verrà poi analizzata in modo più approfondito successivamente), prendendo l'esempio della tratta che va

da Lecco a Merone. In questo caso, il costo necessario per tale spostamento, secondo viamichelin.it è di 3.58 €. La linea Como-Lecco, infatti, si presta ad un'analisi di questo tipo, e lo spostamento da Merone a Lecco può essere un viaggio rappresentativo ed in linea con le ipotesi finora assunte, in particolare per quanto riguarda uno spostamento di 20 – 25 km.

Il prezzo del carburante (benzina) è stato preso dall'osservatorio sui prezzi del ministero dello sviluppo economico [33], pari a 1.71 € al 13/05/2013.

13/05/2013

Prezzi in €/lt.

PRODOTTO	PREZZO AL CONSUMO	ACCISA	I.V.A.	TOTALE IMPOSTE	PREZZO AL NETTO IMPOSTE	VARIAZIONE (**)
Benzina s. piombo	1,710	0,728	0,297	1,025	0,685	-0,003
Gasolio auto	1,605	0,617	0,279	0,896	0,709	-0,003
GPL auto	0,765	0,147	0,133	0,280	0,485	-0,017
Gasolio da Riscaldamento	1,347	0,403	0,234	0,637	0,710	0,000

(*) - Prezzo medio convenzionale elaborato secondo la procedura definita con decisione 1999/280/CEE. L'elaborazione viene effettuata ogni martedì, a cura della Direzione Generale Energia e Risorse Minerarie, sulla base dei prezzi rilevati il lunedì precedente. Fonte: <http://dgerm.sviluppoeconomico.gov.it/dgerm/>

(**) - Variazione prezzo al consumo rispetto all'ultima settimana.

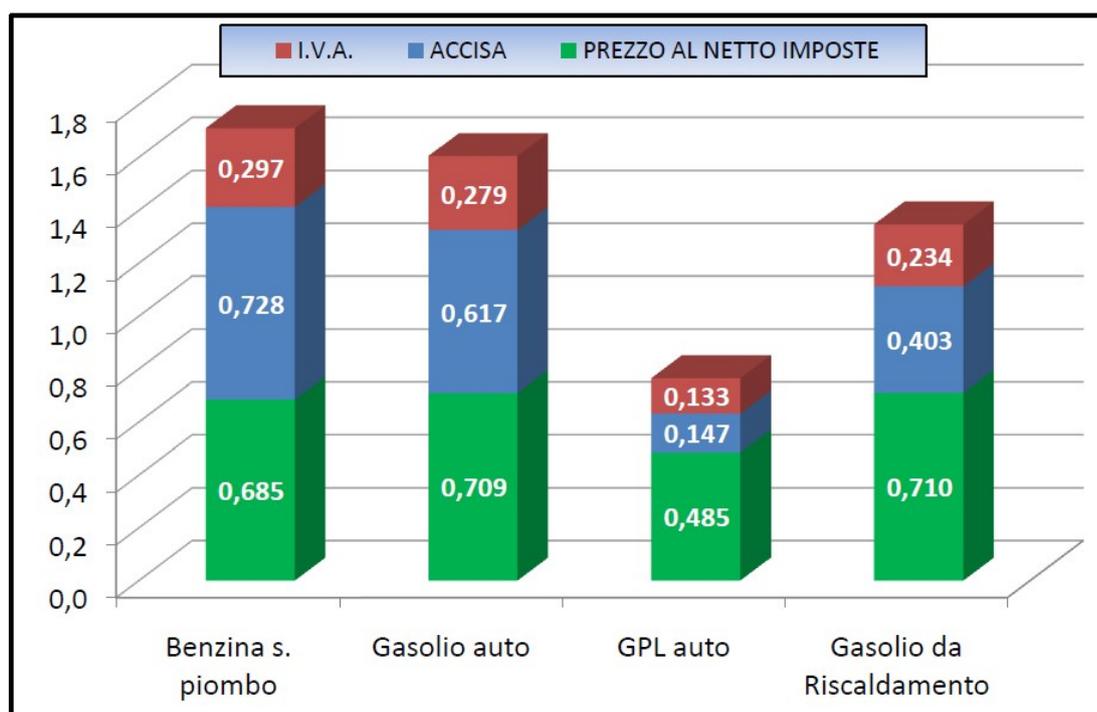


Figura 7.1:2 - Dati riguardanti il prezzo dei carburanti al 13/05/2013

Per il costo del viaggio in automobile è stato calcolato unicamente il prezzo del carburante, senza aggiungere altri costi dovuti all'assicurazione, al bollo e alla manutenzione. Questo perché il costo percepito da parte dell'utente è tipicamente solo quello dovuto al carburante, come riporta Maja in [11], mentre il costo dovuto ad assicurazione, bollo e manutenzione non sono percepiti come costi direttamente connessi al viaggio, perché costi comunque dovuti, indipendentemente dal fatto che il viaggio venga effettuato oppure no.

Per quanto riguarda il prezzo del servizio ferroviario, invece, si è fatto ricorso alle tabelle tariffarie chilometriche.

TARIFFE BIGLIETTI						
Tariffa oraria (valida per un viaggio)						
FASCIA KM	Adulti		Ragazzi 4-14 anni e animali		Anziani	
	1° cl.	2° cl.	1° cl.	2° cl.	1° cl.	2° cl.
0 - 5	2,00 €	1,30 €	2,00 €	1,30 €	2,00 €	1,30 €
5,1 - 10	2,55 €	1,70 €	2,00 €	1,30 €	2,05 €	1,35 €
10,1 - 15	3,10 €	2,10 €	2,00 €	1,30 €	2,50 €	1,70 €
15,1 - 20	3,55 €	2,40 €	2,00 €	1,30 €	2,85 €	1,90 €
20,1 - 25	4,10 €	2,75 €	2,05 €	1,40 €	3,30 €	2,20 €
25,1 - 30	4,70 €	3,15 €	2,35 €	1,60 €	3,75 €	2,50 €
30,1 - 35	5,20 €	3,45 €	2,60 €	1,75 €	4,15 €	2,75 €
35,1 - 40	5,75 €	3,85 €	2,90 €	1,95 €	4,60 €	3,10 €
40,1 - 50	6,80 €	4,55 €	3,40 €	2,30 €	5,45 €	3,65 €
50,1 - 60	7,90 €	5,25 €	3,95 €	2,65 €	6,30 €	4,20 €
60,1 - 70	8,70 €	5,80 €	4,35 €	2,90 €	6,95 €	4,65 €
70,1 - 80	9,65 €	6,45 €	4,85 €	3,25 €	7,70 €	5,15 €
80,1 - 90	10,50 €	7,00 €	5,25 €	3,50 €	8,40 €	5,60 €
90,1 - 100	11,30 €	7,55 €	5,65 €	3,80 €	9,05 €	6,05 €
100,1 - 120	13,10 €	8,75 €	6,55 €	4,40 €	10,50 €	7,00 €
120,1 - 140	14,80 €	9,85 €	7,40 €	4,95 €	11,85 €	7,90 €
140,1 - 160	16,55 €	11,05 €	8,30 €	5,55 €	13,25 €	8,85 €
160,1 - 180	18,25 €	12,15 €	9,15 €	6,10 €	14,60 €	9,70 €

Tabella 7.1:5 - Tariffario regionale TreNord per i biglietti [42]

È stato utilizzato il tariffario di TreNord in quanto per La Legge n.59/97, ("Bassanini"), si è previsto il conferimento alle Regioni della responsabilità di programmazione e finanziamento di tutti i servizi di trasporto pubblico locale per giungere ad una integrazione tra le differenti modalità di trasporto presenti nel territorio ed eliminare le sovrapposizioni e le tariffe difformi.

Nel caso analizzato la tariffa è di 2.75€. Si è inoltre deciso di valutare una variazione di questo prezzo di riferimento di -25% e +50%, in modo da avere tre livelli: 2.00€, 2.75€ e 4.15€.

Una variazione di questo tipo è stata scelta per cercare di rientrare nelle condizioni consigliate da Sanko riguardanti il range di valori per i livelli. Inoltre si è stabilito di utilizzare un prezzo del biglietto che fosse decisamente superiore al prezzo del costo del carburante. Infatti, se il prezzo fosse stato aumentato di solo il 25%, esso avrebbe assunto il valore di 3.50 €, valore inferiore al prezzo necessario per percorrere il tratto in auto. Inversamente, una riduzione del 50% avrebbe portato il costo del biglietto ad essere troppo basso, 1.40 €, e quindi fuori dalla realtà conosciuta dagli intervistati.

Un'altra possibilità, riguardo al livello inferiore dell'attributo, sarebbe stata quella di suddividere il prezzo dell'abbonamento mensile per il numero di giorni lavorativi presenti in un mese assunto conservativamente pari a 20.

Il metodo

La costruzione dell'indagine SP

L'abbonamento per quanto riguarda la fascia chilometrica tra i 21 km e 25 km, è pari a 51 € (Tabella 7.1:6).

$$\frac{51\text{€}}{20 \text{ giorni}} = 2.55 \text{ €/giorno}$$

Un valore troppo vicino al prezzo attuale perché possa essere preso come livello.

ABBONAMENTI FERROVIARI						
FASCIA KM	Tariffa settimanale		Tariffa mensile		Tariffa annuale	
	1° cl.	2° cl.	1° cl.	2° cl.	1° cl.	2° cl.
0 - 5	10,70 €	7,10 €	37,50 €	25,00 €	360,50 €	240,00 €
6 - 10	13,70 €	9,10 €	48,00 €	32,00 €	460,50 €	307,00 €
11 - 15	16,60 €	11,10 €	58,00 €	39,00 €	558,50 €	372,50 €
16 - 20	19,10 €	12,70 €	67,00 €	44,50 €	641,50 €	427,50 €
21 - 25	21,90 €	14,60 €	76,50 €	51,00 €	734,50 €	489,50 €
26 - 30	24,30 €	16,20 €	85,00 €	56,50 €	815,50 €	543,50 €
31 - 35	26,70 €	17,80 €	93,50 €	62,50 €	898,50 €	599,00 €
36 - 40	28,90 €	19,30 €	101,00 €	67,50 €	970,50 €	647,00 €
41 - 50	32,80 €	21,90 €	115,00 €	76,50 €	1102,00 €	734,50 €
51 - 60	36,20 €	24,10 €	127,00 €	84,50 €	1217,00 €	811,50 €
61 - 70	38,40 €	25,60 €	134,50 €	89,50 €	1290,50 €	860,00 €
71 - 80	40,10 €	26,80 €	140,50 €	93,50 €	1348,50 €	899,00 €
81 - 90	41,30 €	27,50 €	144,50 €	96,50 €	1386,50 €	924,00 €
91 - 100	42,30 €	28,20 €	148,00 €	99,00 €	1422,50 €	948,00 €
101 - 120	44,20 €	29,50 €	154,50 €	103,00 €	1485,50 €	990,00 €
121 - 140	46,10 €	30,80 €	161,50 €	107,50 €	1550,00 €	1033,00 €
141 - 160	48,40 €	32,30 €	169,50 €	113,00 €	1627,00 €	1085,00 €
161 - 180	50,30 €	33,50 €	176,00 €	117,50 €	1688,50 €	1125,50 €

Tabella 7.1:6 - Tariffario regionale TreNord per gli abbonamenti [42]

7.1.1.3 La frequenza

Questo attributo riguarda solamente l'alternativa treno, in quanto l'automobile privata è subito disponibile all'utilizzo.

Questo attributo potrebbe avere il compito di descrivere l'attesa del treno alla stazione di origine, ma anche di rappresentare quanto sia frequente il servizio. L'attesa sarebbe potuta essere rappresentata anche tramite un vero tempo di attesa medio che fosse funzione della frequenza, magari utilizzando una funzione di distribuzione del tempo di attesa (Grafico 7.1:1).

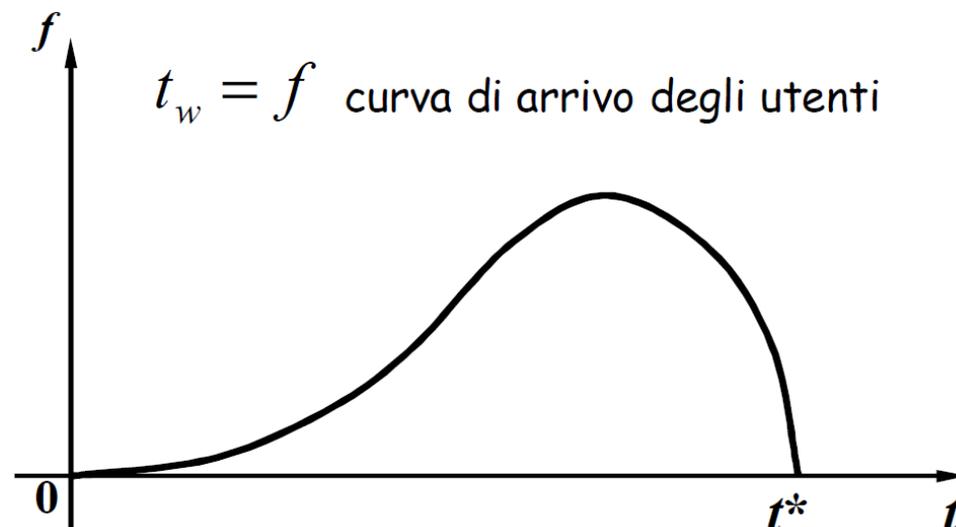


Grafico 7.1:1 - Curva di arrivo degli utenti (da Maja)

Il modello utilizzato, però, per la rappresentazione della domanda di ripartizione modale si basa sull'ipotesi che l'utente sia un decisore razionale. Un comportamento razionale, nel caso di spostamenti con mezzi di trasporto pubblico, presuppone la conoscenza anticipata dell'orario di partenza del mezzo che si vuole prendere. Risulta, quindi, essere preferibile l'utilizzo della vera e propria frequenza per la descrizione del trasporto pubblico. La conoscenza della frequenza, poi, influenzerà ancor maggiormente il viaggio di ritorno: lavoro-casa o scuola-casa.

Infatti, se l'orario di uscita dalla propria casa può dipendere dall'orario di partenza del treno che interessa, quale treno verrà preso per il ritorno, invece, dipenderà dall'orario di conclusione della giornata scolastica o lavorativa. In altre parole, il tempo di attesa alla stazione di origine, a meno di ritardi, può essere dell'ordine di pochi minuti, avendo preventivamente controllato gli orari di partenza e calcolato il tempo necessario per raggiungere la stazione; il tempo di attesa, invece, alla stazione di destinazione per percorrere lo spostamento inverso dipenderà dalla differenza di orario tra quello di partenza del treno e di arrivo alla stazione dell'utente. Quest'ultimo dipenderà dall'orario di conclusione della giornata lavorativa o scolastica dell'utilizzatore del servizio.

L'attributo di frequenza è una caratteristica molto importante del servizio offerto. Infatti, Vaghi afferma in [20],

“Con la metodologia tradizionale, l'orario dei treni veniva costruito individuando i maggiori centri attrattori di utenza sistematica (fabbriche, plessi scolastici) ed andando ad ottimizzare un servizio di adduzione e redistribuzione calibrato sugli orari di tale centro attrattore. La polverizzazione delle attività, con la sparizione dei grandi agglomerati produttivi, ha reso titanico tale approccio, sia per la raccolta dell'informazione sia per il suo aggiornamento. A ciò si è aggiunta l'esplosione della mobilità non casa-lavoro casa-scuola, che ha reso non più valido fin dal principio tale approccio. Pertanto è stato necessario definire un nuovo metodo per la programmazione degli orari, che si mostrasse di nuovo allineato alle necessità della società. Sono nati, così, gli orari cadenzati[...].

L'orario cadenzato è un orario caratterizzato da ripetitività che rendono semplici sia la memorizzazione dei servizi per l'utenza, che deve essere svincolata dalla necessità di ricorrere al fascicolo orario cartaceo, sia la pianificazione dei servizi per gli organizzatori. [...]

Il cadenzamento prevede che le relazioni (cioè i collegamenti tra più località tramite la stessa linea) siano effettuate da corse con tempi di percorrenza omogenei, senza variazioni tra treno e treno. Inoltre il posizionamento delle corse nell'orario deve avvenire allo stesso minuto di tutte le ore. Pertanto in un orario cadenzato ciascuna relazione effettua servizio nelle proprie località almeno ogni ora. Costituiscono eccezione a tale affermazione le relazioni a frequenza bioraria, che servono le proprie località allo stesso minuto di tutte le ore pari oppure di tutte le ore dispari. In un orario cadenzato le relazioni hanno frequenze biorarie o pari a sottomultipli interi dell'ora (60', 30', 20', 15', 10'). Data la frequenza caratteristica delle relazioni, pertanto, le corse sono equidistanti[...].

È particolarmente importante che sia salvaguardata la leggibilità delle relazioni, cioè non devono essere previste eccezioni che ne rendano complessa la memorizzazione: il treno che passa dalla tale località al tale minuto dovrà passare a tutte le ore a tale minuto [...], né è ammissibile che la relazione fermi in una certa località qualche volta sì e qualche volta no, [...]. Quindi il cadenzamento deve necessariamente essere rigido, cioè senza eccezioni, e continuo, cioè esteso a tutto l'arco di servizio. È ammissibile che il cadenzamento sia soggetto ad infittimenti, cioè abbia una frequenza base o griglia base, le cui corse sono sempre presenti, e che in certe fasce orarie sia prevista un'intensificazione della frequenza. Le corse d'intensificazione saranno equidistanti da quelle della griglia base, cioè divideranno in parti uguali l'intervallo tra le corse della griglia base. Sono pertanto fissati gli intervalli di infittimento possibili. La sequenza comune è: 120' – 60' – 30' –

15', con raddoppio delle corse a tutti i passaggi, in pochi casi (es. S-Bahn di Monaco di Baviera) si applica un salto con triplicamento delle corse, ottenendo la sequenza: 120' – 60' – 20' – 10'."

Nonostante la frequenza possa avere come dimensione il numero di passaggi di treno in un intervallo di tempo, si è preferita la definizione di questa caratteristica come il tempo intercorso tra due passaggi successivi di un treno della stessa linea, in modo che sia più facilmente memorizzabile dall'utente.

Per quanto riguarda i livelli da utilizzare, i valori presi sono quelli di 120 min, 60 min, 30 min, e 15 min, quelli che Vaghi definisce come sequenza comune. Il limite inferiore dei valori assunti come livelli per l'attributo di frequenza è dato da un limite ragionevole di 15 min. Dal punto di vista tecnico sarebbe ancora possibile scendere sotto questo limite inferiore, ma ricordando che l'argomento di questa trattazione riguarda principalmente le linee a scarso traffico, spingersi oltre i 15 min appare poco giustificato, almeno in prima analisi e comporterebbe, infatti, soluzioni tecniche con costi che non avrebbero senso per i contesti analizzati. Il limite superiore di 120 min, invece, è stato considerato il limite di "frequenza", in quanto oltre questo valore non si riesce più a parlare di cadenzamento, ma solo di treni isolati.

7.1.1.4 Il tempo a bordo

È il tempo speso dall'utente a bordo del mezzo, sia questo il treno o l'automobile. Per quanto riguarda il tempo speso a bordo dell'automobile è stato aggiunto forfaitariamente un tempo di 5 minuti dovuto alla ricerca del parcheggio. Rifacendosi all'esempio riportato per il costo del viaggio nel paragrafo 7.1.1.2, tra Lecco e Merone il tempo necessario in automobile, una berlina alimentata a benzina, per spostarsi da stazione a stazione è di 26 min. Quindi, sommando il tempo forfaitario dovuto al parcheggio e il tempo necessario dovuto, invece, al vero e proprio spostamento, si raggiunge il tempo di 31 min.

Per lo stesso esempio, il servizio ferroviario tra le due stazioni di Lecco e di Merone, viene dato un tempo di percorrenza di 27 min.

È stato costruito un diagramma di trazione semplificato per lo spostamento tra tali stazioni in modo tale da poter modificare le caratteristiche del treno (accelerazione, decelerazione, velocità massima) che percorre tale linea in virtù degli obiettivi del lavoro che vogliono essere quanto più possibile generali e non legati ad una singola linea. Le semplificazioni utilizzate sono:

- accelerazione costante da parte della motrice;
- tracciato in piano e rettilineo;
- velocità massima di tracciato coincidente con la velocità massima del veicolo.

			Vmax	acc		V costante		dec		totale	
			raggiunta	tempo [s]	spazio [m]	tempo [s]	spazio [m]	tempo [s]	spazio [m]	tempo [s]	spazio [m]
Lecco	Valmadre	3735.15 m	19.44	24.31	236.30	170.22	3309.80	19.44	189.04	213.97	3735.15
Valmadre	Civate	2126.6 m	19.44	24.31	236.30	87.49	1701.25	19.44	189.04	131.24	2126.60
Civate	Sala al Bar	1262.3 m	19.44	24.31	236.30	43.04	836.95	19.44	189.04	86.79	1262.30
Sala al Bar	Oggiono	4592 m	19.44	24.31	236.30	214.29	4166.65	19.44	189.04	258.04	4592.00
Oggiono	Molteno	2998.91 m	19.44	24.31	236.30	132.35	2573.56	19.44	189.04	176.10	2998.91
Molteno	Casletto-F	2187.26 m	19.44	24.31	236.30	90.61	1761.91	19.44	189.04	134.36	2187.26
Casletto-F	Mojana	1586.88 m	19.44	24.31	236.30	59.74	1161.53	19.44	189.04	103.49	1586.88
Mojana	Merone P	1524.05 m	19.44	24.31	236.30	56.50	1098.70	19.44	189.04	100.25	1524.05
km totali			numero fermate			7		tempo totale		27 min	
			fermo a fermata			60 s				4 s	

Tabella 7.1:7 - Diagramma di trazione per la linea attuale

Nella parte sinistra della Tabella 7.1:7 sono indicate le tratte che vengono effettuate tra le varie stazioni della parte di linea presa in considerazione con la loro lunghezza. I dati sono stati presi da [21], riportato anche come Allegato 2. Tra Lecco e Merone sono presenti 7 stazioni, si ipotizza che il servizio si fermi in ogni stazione per un minuto circa. Nella parte destra della tabella, invece sono indicate la *velocità massima* che può essere raggiunta lungo la tratta, lo spazio e il tempo di *accelerazione* per raggiungere questa velocità massima, lo spazio e il tempo di *decelerazione* e lo spazio e il tempo di percorrenza della linea a velocità massima. Nelle ultime due colonne, poi, sono indicati i tempi totali di percorrenza della tratta e lo spazio che li divide.

Sono stati presi in considerazione due convogli a composizione bloccata, il *Regio Citadis* della Alstom e lo *Stadler ATR 100*, compatibili con la linea considerata per la calibrazione dell'indagine, le cui caratteristiche necessarie per la modifica del diagramma di trazione sono riportate nella seguente tabella. Le informazioni riguardanti i due convogli sono state tratte da [27] e [31].

	Accelerazione	Decelerazione	Velocità massima	Alimentazione
Alstom Regio Citadis	1.1 m/s^2	1.3 m/s^2	100 km/h	Diesel-elettrica
Stadler ATR 100	1.05 m/s^2	1.3 m/s^2	140 km/h	Diesel

Tabella 7.1:8 - Dati caratteristici delle due motrici per la modifica del diagramma di trazione

Per quanto riguarda il convoglio **Alstom Regio Citadis**, è un veicolo ferroviario che si avvicina di più alla realtà tramviaria. Questa è una scelta che ha come scopo adottare una tecnologia più tramviaria per le linee ferroviarie di tipo locale, spesso individuata come utile alternativa per queste linee. Come si può notare dalla Tabella 7.1:8 è caratterizzato da una velocità massima contenuta e da una buona accelerazione (il comfort di viaggio è garantito da una accelerazione massima di 1.2 m/s^2). È un veicolo a composizione bloccata, e ha una alimentazione ibrida diesel-elettrica, che può permettere l'utilizzo del convoglio sia in ambito elettrificato sia in ambito non elettrificato.



Figura 7.1:3 - Regio Citadis da [35]

Il metodo

La costruzione dell'indagine SP

Il diagramma di trazione semplificato, per il Regio Citadis, è il seguente (Tabella 7.1:9).

			Vmax	acc		V costante		dec		totale	
			raggiunta[m/s]	tempo [s]	spazio [m]	tempo [s]	spazio [m]	tempo [s]	spazio [m]	tempo [s]	spazio [m]
	Como-Lecco										
Lecco	Valmadrera	3735.15 m	38.89	38.89	756.17	61.65	2397.31	29.91	581.67	130.45	3735.15
Valmadrera	Civate	2126.6 m	38.89	38.89	756.17	20.28	788.76	29.91	581.67	89.09	2126.60
Civate	Sala al Barro-Galbiate	1262.3 m	37.77	37.77	713.47	0.00	0.00	29.06	548.83	66.83	1262.30
Sala al Barro-Galbiate	Oggiono	4592 m	38.89	38.89	756.17	83.68	3254.16	29.91	581.67	152.48	4592.00
Oggiono	Molteno	2998.91 m	38.89	38.89	756.17	42.71	1661.07	29.91	581.67	111.52	2998.91
Molteno	Casletto-Rogeno	2187.26 m	38.89	38.89	756.17	21.84	849.42	29.91	581.67	90.65	2187.26
Casletto-Rogeno	Mojana	1586.88 m	38.89	38.89	756.17	6.40	249.04	29.91	581.67	75.21	1586.88
Mojana	Merone Pontenuovo	1524.05 m	38.89	38.89	756.17	4.79	186.21	29.91	581.67	73.59	1524.05
km totali		20013.15	numero fermate		7	tempo totale		20 min			
			tempo di fermo a fermata		60 s			10 s			

Tabella 7.1:9 - Diagramma di trazione per il Regio Citadis della Alstom

Lo **Stadler ATR 100** (e derivati) è un treno a composizione bloccata unicamente a trazione diesel utilizzato su numerose linee ferroviarie secondarie. Impiegato con successo sulla linea Merano-Malles, è caratterizzato da una discreta accelerazione e da una velocità massima ragguardevole per i servizi che è chiamato a svolgere.



Figura 7.1:4 - Esempio di ATR 100 della Stadler utilizzato sulla linea Merano-Malles, da [36]

Il diagramma di trazione per il convoglio ATR 100 di Stadler, invece, si modifica in questo modo:

			Vmax		acc		V costante		dec		totale	
			raggiunta[m/s]	tempo [s]	spazio [m]	tempo [s]	spazio [m]	tempo [s]	spazio [m]	tempo [s]	spazio [m]	
Lecco	Como-Lecco											
	Valmadrera	3735.15 m	27.78	25.25	350.73	111.16	3087.65	21.37	296.77	157.78	3735.15	
Valmadrera	Civate	2126.6 m	27.78	25.25	350.73	53.25	1479.10	21.37	296.77	99.87	2126.60	
Civate	Sala al Barro-Galbiate	1262.3 m	27.78	25.25	350.73	22.13	614.80	21.37	296.77	68.75	1262.30	
Sala al Barro-Galbiate	Oggiono	4592 m	27.78	25.25	350.73	142.00	3944.50	21.37	296.77	188.62	4592.00	
Oggiono	Molteno	2998.91 m	27.78	25.25	350.73	84.65	2351.41	21.37	296.77	131.27	2998.91	
Molteno	Casletto-Rogeno	2187.26 m	27.78	25.25	350.73	55.43	1539.76	21.37	296.77	102.05	2187.26	
Casletto-Rogeno	Mojana	1586.88 m	27.78	25.25	350.73	33.82	939.38	21.37	296.77	80.44	1586.88	
Mojana	Merone Pontenuovo	1524.05 m	27.78	25.25	350.73	31.56	876.55	21.37	296.77	78.18	1524.05	
	km totali	20013.15				7				tempo totale	22 min	
				numero fermate							7 s	
				fermo a fermata		60 s						

Tabella 7.1:10 - Diagramma di trazione per lo Stadler ATR 100

Calcolando i sopra citati diagrammi di trazione, sono stati trovati tre livelli: 27 min per lo stato di fatto, 22 min per il convoglio Regis Citadis di Alstom e 20 min per il convoglio ATR della Stadler.

7.1.1.5 Il comfort

Anche in questo caso, l'attributo è solo riferito al treno. Questo tipo di attributo potrebbe ricadere nella definizione da Cascetta, Cartenì e Carbone in [28] di *attributo soggettivo*, in quanto difficilmente misurabile. Nonostante ciò si è cercato di dare una sorta di misura del comfort tramite la presenza o meno di posti a sedere in vettura e dell'affollamento della carrozza. Sono stati presi quindi i due estremi: carrozza vuota o quasi vuota e carrozza totalmente piena di utenti. In questo caso è stato possibile tradurre in termini quantitativi questo tipo di attributo: 0 nel caso di presenza di posti a sedere e 1 nel caso di affollamento della carrozza.

Per aiutare l'intervistato nella comprensione di questo attributo, l'indagine è stata arricchita con le seguenti fotografie esplicative della situazione:



Figura 7.1:5 - Affollato



Figura 7.1:6 - Libero

7.1.1.6 Altri attributi possibili

Per questa indagine sono stati scelti questi cinque attributi, che possono definirsi "base" per un servizio ferroviario, ma è possibile utilizzarne altri in sostituzione o in aggiunta a quelli elencati:

- *ritardo medio*; quanti minuti di ritardo ha mediamente una corsa. Questo attributo non è stato utilizzato in quanto presenterebbe negativamente il servizio ferroviario poiché già preventiva la possibilità di essere in ritardo;
- *informazione al passeggero*; pannelli informativi a messaggio variabile, orario delle partenze e degli arrivi affisso in stazione, messaggi audio e video, siti internet del servizio ferroviario... Sono tutti strumenti per informare l'utente del servizio effettuato sulla linea ferroviaria, della sua regolarità. Sicuramente è un attributo interessante, in quanto tramite l'informazione l'utente può modificare il suo comportamento ed "anticipare" l'eventuale disservizio;

- *necessità di trasbordo*; descrive il fatto che per compiere il suo spostamento, l'utente debba scendere in una stazione per prendere il treno di una linea differente. Questo caso non è stato affrontato in quanto l'obiettivo riguarda una sola linea ferroviaria e non una rete ferroviaria;
- *mezzi differenti per raggiungere la stazione*; la stazione ferroviaria può essere raggiunta attraverso vari mezzi: a piedi, in bicicletta, con un autobus ed un altro mezzo di trasporto collettivo, in automobile,... Si è deciso di non indagare specificatamente questa possibilità, ma di lasciarla sott'intesa nello sviluppo del questionario, affidando all'intervistato la possibilità di scegliere il mezzo con cui raggiungere la stazione di origine (e destinazione), indicando solo il tempo necessario per raggiungere la stazione a piedi;
- *possibilità di caricare la propria bicicletta a bordo*; questo attributo è legata all'attributo precedente, in quanto dipende dal mezzo con cui si raggiunge la stazione;
- *possibilità di interscambio modale*; la presenza di parcheggi di interscambio per la biciclette, per le automobili private e la presenza di fermate di mezzi di trasporto collettivo possono essere caratteristiche che riguardano l'accessibilità della stazione;
- *caratteristiche socioeconomiche dell'intervistato*; questo attributo è difficile da quantificare se non con richieste esplicite riguardanti la retribuzione percepita.

7.2 Il Piano fattoriale completo

7.2.1 Numero di scenari

Concluso il processo di scelta degli attributi e dei livelli delle alternative, è possibile contare quanti siano gli scenari che derivano da essi.

Attributo	Livelli treno	Livello automobile
Distanza Casa-Stazione Origine + Stazione di Destinazione-Meta	15 min	-
	20 min	
	30 min	
Costo	2.00 €	3.58 €
	2.75 €	
	4.15 €	
Frequenza	120 min	-
	60 min	
	30 min	
	15 min	
Tempo a bordo	20 min	26 + 5 = 31 min
	22 min	
	27 min	
Comfort	0	-
	1	

Tabella 7.2:1 - Elenco degli attributi e dei rispettivi livelli dell'indagine SP

In questo modo, per l'alternativa treni, si hanno 5 attributi di cui 3 a 3 livelli, 1 con 2 livelli e 1 con 4 livelli. Le caratteristiche dell'alternativa automobile, invece, come già affermato, non varieranno. Il numero di scenari possibili, quindi, sarà:

$$N = \prod_{i=1}^k m_i^{n_i} = 3^3 \times 2 \times 4 = 27 \times 2 \times 4 = 216 = N_{PFC}$$

Si avrà a che fare con un piano fattoriale completo di 216 scenari, un numero troppo elevato affinché un solo intervistato possa scegliere senza che subentrino episodi di stanchezza e noia. Cascetta, in [3], consiglia che gli scenari per ciascun intervistato siano al massimo 10 o 12.

Risulta quindi necessario diminuire il numero di scenari da presentare. Le possibilità che si possono percorrere sono tre:

- si può passare dal Piano Fattoriale Completo (PFC) al Piano Fattoriale Fratto (PFF);
- si può passare dal Piano Fattoriale Completo alla suddivisione per blocchi;
- si può passare dal Piano Fattoriale Completo al Piano Fattoriale Fratto alla suddivisione per blocchi.

Si ricorda che, come riporta Maja in [10], il Piano Fattoriale Fratto è una metodologia che serve a eliminare alcuni scenari. Questa metodologia consiste nell'operazione denominata *parzializzazione*. Essa elimina alcuni scenari al fine di individuare soltanto gli scenari che trascurano le interazioni tra le variabili. Un livello di un attributo viene, cioè, dedotto dall'interazione dei livelli di altri attributi. Si riporta l'esempio già utilizzato nel capitolo 5.

<i>TT</i>	<i>P</i>	<i>F</i>
+	+	+
=	+	=
-	+	-
+	-	-
=	-	=
-	-	+

Tabella 7.2:2 - Esempio di fattoriale fratto per l'attributo F

La suddivisione per blocchi, invece, è un'operazione che suddivide gli scenari in modo tale che ogni gruppo mantenga le caratteristiche di ortogonalità e di confronto.

Visto il caso in questione, però, queste due operazioni possono essere fatte unicamente agendo sui livelli degli attributi dell'alternativa treno, in quanto, come più volte ripetuto, gli attributi dell'alternativa automobile sono caratterizzati solamente da un unico livello. L'operazione di parzializzazione, però, ha l'inconveniente di trascurare l'interazione che c'è tra l'attributo dedotto e i due attributi da cui deriva. Maja afferma in [10] che risultati applicativi mostrano che questo effetto non supera il 20% della varianza, e che quindi è possibile trascurarne l'effetto.

La suddivisione a blocchi, invece, ha l'inconveniente di suddividere le domande che vengono sottoposte all'intervistato e quindi è necessario ricevere un buon numero di risposte al questionario perché i risultati siano attendibili. Inoltre, tramite questa suddivisione, uno stesso utente non potrà rispondere a tutte le domande del PFC, avendo una lettura differente rispetto ad altri intervistati. I risultati potranno, quindi, non essere uniformi.

In considerazione del numero relativamente esiguo di scenari (216), si decide di utilizzare solo la scomposizione a blocchi in modo da non perdere il 20% di varianza. Nonostante questo, per esercizio, verrà affrontata anche la suddivisione a blocchi. Il metodo che viene utilizzato per la suddivisione a blocchi segue

gli stessi principi utilizzati dalla parzializzazione, in quanto in entrambi i casi si deve conservare l'ortogonalità e il confronto. Infatti si basa sull'interazione che c'è tra i livelli dei vari attributi, come mostrato nell'esempio in tabella (Tabella 7.2:3) già riportato nel capitolo 5.

SC. NR.	FATTORI			VAR. DI BLOCCO	ALTERNATIVE ORGANIZZATE IN BLOCCHI					SC. NR.
	T_A	C_A	T_B		T_A, C_A, T_B	blocco	T_A	C_A	T_B	
1	-	-	-	-	I	blocco I	-	-	-	1
2	+	-	-	+	II		+	+	-	4
3	-	+	-	+	II		+	-	+	6
4	+	+	-	-	II		-	+	+	7
5	-	-	+	+	I	blocco II	+	-	-	2
6	+	-	+	-	I		-	+	-	3
7	-	+	+	-	I		-	-	+	5
8	+	+	+	+	II		+	+	+	8

Tabella 7.2:3 - Costruzione di due blocchi a quattro scenari

Si può notare come il blocco I è composto da tutti quegli scenari in cui l'interazione tra T_A , C_A e T_B è negativa, mentre il blocco II è composto da quello con interazione positiva tra gli attributi. Si nota, inoltre, che decidendo preventivamente quale interazione o interazioni osservare per la suddivisione a blocchi è possibile presumere da quanti scenari sarà composto il gruppo o blocco. Infatti, se si decide di prendere la combinazione che possono assumere tre interazioni che a loro volta possono assumere solo 2 valori ciascuna (ad esempio + e -, oppure +1 e -1), essa può avere 8 diversi valori, cioè 2^3 . Si avranno quindi 8 gruppi differenti. Se si prende il caso della Tabella 7.2:3, si ha a che fare con 2 possibili valori dell'interazione (+ e -) e una sola interazione. Il numero di gruppi sarà quindi pari a $2^1 = 2$.

Attributo	Livello	Valore
Distanza Casa-Stazione Origine + Stazione di Destinazione-Meta	15 min	-1
	20 min	0
	30 min	+1
Costo	2.00 €	-1
	2.75 €	0
	4.15 €	+1
Frequenza	120 min	+1
	60 min	0.5
	30 min	-0.5
	15 min	-1
Tempo a bordo	20 min	-1
	22 min	0
	27 min	+1
Comfort	0	-1
	1	+1

Tabella 7.2:4 - Valori per ogni livello

7.3 La suddivisione a blocchi

Il passo successivo, utile sia per il PFF sia per la suddivisione a blocchi, consiste nel dare un "valore" ad ogni livello in modo tale che si possano costruire questi schemi, come mostrato in Tabella 7.2:4, in modo che sia possibile calcolare le interazioni tra i vari livelli.

Riguardo la suddivisione a blocchi, il primo passo è stato decidere di non osservare l'interazione dovuta alla frequenza, in quanto la presenza di +0.5 e di -0.5 al suo interno, valori completamente diversi da quelli presenti negli altri attributi, potrebbe portare a qualche inconveniente.

Grazie a un foglio di calcolo è stato possibile calcolare le interazioni tra i vari attributi. Sono state calcolate le interazioni sia tra due, sia tra tre e sia tra quattro attributi (quattro attributi in quanto il quinto, la frequenza, è stato escluso dal calcolo delle interazioni).

È stato poi deciso il numero di scenari per blocco che si vuole ottenere, in funzione dei valori che le interazioni possono assumere. Con l'esclusione dei valori per l'attributo frequenza, i valori risultanti dalle interazioni a disposizione sono 3, cioè -1, 0 e +1.

In questo modo è possibile avere $3^1 = 3$ combinazioni (-1;0;+1), pari a 3 blocchi, pari a $216/3 = 72$ scenari per blocco, $3^2 = 9$ combinazioni (+1,+1;+1,0; +1,-1; 0,+1; 0,0; 0,-1; -1,+1; -1,0; -1,-1), per 9 blocchi, per $216/9 = 24$ scenari per blocchi, oppure $3^3 = 27$ blocchi, composti da $216/27 = 8$ scenari. La combinazione di 3 interazioni è quella che dà un risultato gradito, in quanto ogni blocco è composto da un numero sufficiente e non troppo elevato di scenari. È stata creata una tabella di tutte le combinazioni possibili, in modo da dare un nome diverso per ogni gruppo di scenari che si sarebbe andato a formare.

	Interazione 1	Interazione 2	Interazione 3	Combinazione delle interazioni	Nome blocco
Combinazioni possibili	1	1	1	1, 1, 1	1
	1	0	1	1, 0, 1	2
	1	-1	1	1, -1, 1	3
	0	1	1	0, 1, 1	4
	0	0	1	0, 0, 1	5
	0	-1	1	0, -1, 1	6
	-1	1	1	-1, 1, 1	7
	-1	0	1	-1, 0, 1	8
	-1	-1	1	-1, -1, 1	9
	1	1	0	1, 1, 0	10
	1	0	0	1, 0, 0	11
	1	-1	0	1, -1, 0	12
	0	1	0	0, 1, 0	13
	0	0	0	0, 0, 0	14
	0	-1	0	0, -1, 0	15
	-1	1	0	-1, 1, 0	16
	-1	0	0	-1, 0, 0	17
	-1	-1	0	-1, -1, 0	18
	1	1	-1	1, 1, -1	19
	1	0	-1	1, 0, -1	20
	1	-1	-1	1, -1, -1	21
	0	1	-1	0, 1, -1	22
	0	0	-1	0, 0, -1	23
	0	-1	-1	0, -1, -1	24
	-1	1	-1	-1, 1, -1	25
	-1	0	-1	-1, 0, -1	26
	-1	-1	-1	-1, -1, -1	27

Tabella 7.3:1 - Possibili Combinazioni tra i livelli degli attributi

Il problema successivo che si è presentato è stato il fatto che non tutte le combinazioni davano come risultato 27 blocchi da 8 scenari, ma suddividevano il numero di scenari in modo differente. Iterando il processo è stato possibile trovare la combinazione che permettesse di avere la suddivisione a gruppi richiesta, composta dall'interazione costo-comfort, distanza-comfort e tempo a bordo-comfort.

Il risultato che si è delineato, quindi, è quello mostrato in Tabella 7.3:2, dove *sc* indica la numerazione dello scenario, *€* indica l'attributo costo, *tb* il tempo a bordo, *fr* la frequenza delle corse, *d* la distanza, *c* il livello di comfort e *bl* il blocco di appartenenza. Per quanto riguarda il comfort, in tabella è stata utilizzata la lettera *p* per indicare il caso in cui si debba viaggiare in piedi, e quindi con valore del livello pari a 0, e *s* nel caso opposto, 1, cioè che si possa viaggiare seduti.

Osservando la tabella è possibile osservare un certo schema simmetrico per la divisione in blocchi. Se i primi scenari sono stati divisi tra i gruppi secondo il seguente schema: 1, 10, 19 partendo dagli ultimi scenari, lo schema è il medesimo. Si può osservare, quindi, che per ogni gruppo di scenario resteranno fissi i livelli riguardanti il costo del viaggio, il tempo a bordo e la distanza, mentre varieranno il comfort e la frequenza. Questo risultato è congruente con il fatto che ci siano 8 scenari per gruppo, e la frequenza e il comfort sono caratterizzati, rispettivamente, da 4 e 2 livelli. Ma è anche congruente con il fatto che la frequenza non è stata affatto utilizzata per il calcolo delle interazioni, mentre il comfort è presente in ogni singola interazione presa in considerazione per la combinazione.

7.4 Il Piano Fattoriale Fratto

Come già precedentemente indicato, il Piano Fattoriale Fratto verrà unicamente svolto come esercizio, ma non verrà utilizzato per la composizione dell'indagine SP per la calibrazione del modello. Utilizzando gli stessi valori assunti per i livelli nel capitolo precedente, che vengono riportati in Tabella 7.4:1, si effettua l'operazione di parzializzazione.

Attributo	Livello	Valore
Distanza: Casa-Stazione Origine + Stazione di Destinazione-Meta	15 min	-1
	20 min	0
	30 min	+1
Costo	2.00 €	-1
	2.75 €	0
	4.15 €	+1
Frequenza	120 min	+1
	60 min	0.5
	30 min	-0.5
	15 min	-1
Tempo a bordo	20 min	-1
	22 min	0
	27 min	+1
Comfort	0	-1
	1	+1

Tabella 7.4:1 - Valori per ogni livello

È necessario scegliere l'attributo il cui livello viene determinato dall'interazione degli altri attributi.

Non è possibile scegliere la frequenza, in quanto non è possibile ricavarne i valori (-1, -0.5, +0.5, +1) a partire da quelli assegnati agli altri attributi. Inoltre, si decide di escludere ancora una volta questo attributo dal processo di interazione per gli stessi motivi già spiegati durante il processo di suddivisione per blocchi. Non è fattibile neanche ricavare i valori del comfort in quanto l'interazione dei rimanenti tre attributi andrebbe a creare un livello di valore 0 non presente per l'attributo comfort. È quindi conseguente la scelta di uno dei tre attributi da 3 livelli come risultato dell'interazione degli altri quattro attributi.

Inoltre, per avere un numero uguale di tutti i livelli dedotti, si decide di utilizzare l'interazione di uno dei tre attributi da 3 livelli con il comfort. In questo modo i livelli pari a 1 saranno in numero uguale ai livelli pari a 0, entrambi uguali al numero di livelli pari a -1. È stato scelto di trovare il valore del livello del tempo a bordo in funzione di comfort e costo.

costo	comfort	tempo a bordo
1	1	1
1	-1	-1
0	-1	0
0	1	0
-1	1	-1
-1	-1	1

Tabella 7.4:2 - Fattoriale Fratto per l'attributo tempo a bordo

In questo modo il numero degli scenari verrà ridotto ad un terzo, in quanto è stata eliminata l'indipendenza dei 3 livelli di un attributo.

$$N_{PFF} = \frac{N_{PFC}}{3} = \frac{216}{3} = 72$$

Nonostante venga diminuito significativamente il numero di scenari da sottoporre, è comunque necessario utilizzare la suddivisione a blocchi. Avendo in questo caso da dividere solamente 72 scenari, e rifacendosi ai ragionamenti del paragrafo 7.3 riguardante la suddivisione a blocchi, sarà necessaria la combinazione data solamente da due interazioni. In questo modo si avranno $3^2 = 9$ blocchi da 8 scenari. Sarebbe stato possibile anche parzializzare ulteriormente, ad esempio ricavando i livelli della distanza dalla interazione di tempo a bordo e comfort. In questo modo, però, indirettamente sarebbe stato ricavato il valore di un livello a partire da un altro livello già precedentemente ricavato.

	Interazione 1	Interazione 2	Combinazione delle interazioni	Nome Blocco
combinazioni possibili	1	1	1, 1	A
	1	0	1, 0	B
	1	-1	1, -1	C
	0	1	0, 1	D
	0	0	0, 0	E
	0	-1	0, -1	F
	-1	1	-1, 1	G
	-1	0	-1, 0	H
	-1	-1	-1, -1	I

Tabella 7.4:3 - Possibili Combinazioni tra i livelli degli attributi

Con la stessa metodologia già presentata nel paragrafo 7.3 si arriva al risultato in Tabella 7.4:4.

sc.	€	tb	fr	d	c	bl	sc.	€	tb	fr	d	c	bl	sc.	€	tb	fr	d	c	bl
001	€ 4.15	27	120	30	p	A	025	€ 2.75	22	120	30	p	D	049	€ 2.00	20	120	30	p	G
002	€ 4.15	27	120	20	p	B	026	€ 2.75	22	120	20	p	E	050	€ 2.00	20	120	20	p	H
003	€ 4.15	27	120	15	p	C	027	€ 2.75	22	120	15	p	F	051	€ 2.00	20	120	15	p	I
004	€ 4.15	27	60	30	p	A	028	€ 2.75	22	60	30	p	D	052	€ 2.00	20	60	30	p	G
005	€ 4.15	27	60	20	p	B	029	€ 2.75	22	60	20	p	E	053	€ 2.00	20	60	20	p	H
006	€ 4.15	27	60	15	p	C	030	€ 2.75	22	60	15	p	F	054	€ 2.00	20	60	15	p	I
007	€ 4.15	27	30	30	p	A	031	€ 2.75	22	30	30	p	D	055	€ 2.00	20	30	30	p	G
008	€ 4.15	27	30	20	p	B	032	€ 2.75	22	30	20	p	E	056	€ 2.00	20	30	20	p	H
009	€ 4.15	27	30	15	p	C	033	€ 2.75	22	30	15	p	F	057	€ 2.00	20	30	15	p	I
010	€ 4.15	27	15	30	p	A	034	€ 2.75	22	15	30	p	D	058	€ 2.00	20	15	30	p	G
011	€ 4.15	27	15	20	p	B	035	€ 2.75	22	15	20	p	E	059	€ 2.00	20	15	20	p	H
012	€ 4.15	27	15	15	p	C	036	€ 2.75	22	15	15	p	F	060	€ 2.00	20	15	15	p	I
013	€ 4.15	20	120	30	s	I	037	€ 2.75	22	120	30	s	F	061	€ 2.00	27	120	30	s	C
014	€ 4.15	20	120	20	s	H	038	€ 2.75	22	120	20	s	E	062	€ 2.00	27	120	20	s	B
015	€ 4.15	20	120	15	s	G	039	€ 2.75	22	120	15	s	D	063	€ 2.00	27	120	15	s	A
016	€ 4.15	20	60	30	s	I	040	€ 2.75	22	60	30	s	F	064	€ 2.00	27	60	30	s	C
017	€ 4.15	20	60	20	s	H	041	€ 2.75	22	60	20	s	E	065	€ 2.00	27	60	20	s	B
018	€ 4.15	20	60	15	s	G	042	€ 2.75	22	60	15	s	D	066	€ 2.00	27	60	15	s	A
019	€ 4.15	20	30	30	s	I	043	€ 2.75	22	30	30	s	F	067	€ 2.00	27	30	30	s	C
020	€ 4.15	20	30	20	s	H	044	€ 2.75	22	30	20	s	E	068	€ 2.00	27	30	20	s	B
021	€ 4.15	20	30	15	s	G	045	€ 2.75	22	30	15	s	D	069	€ 2.00	27	30	15	s	A
022	€ 4.15	20	15	30	s	I	046	€ 2.75	22	15	30	s	F	070	€ 2.00	27	15	30	s	C
023	€ 4.15	20	15	20	s	H	047	€ 2.75	22	15	20	s	E	071	€ 2.00	27	15	20	s	B
024	€ 4.15	20	15	15	s	G	048	€ 2.75	22	15	15	s	D	072	€ 2.00	27	15	15	s	A

Tabella 7.4:4 - Descrizione di ogni singolo scenario per il PFF completo di blocco di appartenenza

Anche in questo caso si notano le stesse caratteristiche del caso della suddivisione in blocchi per il Piano Fattoriale Completo: la simmetria della suddivisione in blocchi degli scenari e la variazione all'interno dello stesso blocco di solo comfort e frequenza.

Da osservare il fatto che se si fossero utilizzati dei valori differenti per rappresentare i livelli degli attributi, si sarebbe potuto agire in modo differente riguardo al Piano Fattoriale Fratto. Infatti, se si fosse utilizzato, ad esempio, il valore di +0.5 e di -0.5 per descrivere i livelli dell'attributo comfort, si sarebbe potuto far rientrare nel giro dell'interazioni anche l'attributo frequenza, riuscendo inoltre a diminuire ulteriormente il numero di scenari da sottoporre.

8 Il software

Dal Piano Fattoriale Completo si è individuato un sottoinsieme di scenari ognuno dei quali è sottoposto ad almeno un singolo intervistato. Sono stati individuati, infatti, 27 blocchi composti da 8 scenari ciascuno.

Affinché si possa avere a disposizione un numero significativo di risposte, ma con un utilizzo contenuto di tempo, si è deciso di implementare la propria indagine sul web. Successivamente il questionario implementato è stato inviato via mail e attraverso social network a tutti gli intervistati in modo tale che potessero autonomamente rispondere.

Questa modalità ha il rischio che le domande possano essere male interpretate. È quindi necessario che siano più semplici e chiare possibili in modo che possano esserci il minor numero possibile di incomprensioni. Un altro aspetto negativo di questa modalità di intervista è il fatto che l'utente contattato può decidere di non rispondere o dimenticarsi del questionario.

8.1 Le domande

La stesura definitiva delle domande è stata preceduta da una fase di test a cui sono stati sottoposti alcuni utenti, sia esperti del settore, sia comuni passeggeri, col fine di verificarne la chiarezza ed intellegibilità. È stato così possibile raccogliere preziosi indicazioni determinanti per la stesura definitiva delle domande pubblicate, poi, online.

Al momento dell'attività di brainstorming che ha preceduto la compilazione del questionario, si è deciso di dividerlo idealmente in tre parti.

In una *prima parte* informativa, spedita via mail, viene spiegata quale sarà la finalità del questionario. Essa si conclude con il link al quale potersi collegare direttamente al sondaggio per la raccolta dei dati. Essa ha la finalità di invogliare a rispondere all'indagine in quanto le risposte raccolte potranno avere una ricaduta positiva sul sistema ferroviario, sottolineandone la brevità. Si richiede di rispondere al sondaggio e di inoltrarlo a più persone in modo da poter ricevere più risposte possibili.

A seguire il testo della mail informativa:

“ Ciao!

Per poter redigere la mia Tesi ho bisogno di raccogliere dei dati riguardanti la scelta del mezzo di trasporto per effettuare degli spostamenti casa-lavoro o casa-scuola giornalieri. Questi dati mi saranno utili per capire come modificare un servizio ferroviario per meglio rispondere alle esigenze degli utenti.

Ti chiedo, quindi, di rispondere a questo questionario, composto da una decina di domande, dove ti sarà richiesto di scegliere tra automobile e treno a seconda delle caratteristiche descritte.

Ti chiedo, infine, di inoltrare questo questionario a tutti quelli che credi possano essere interessati.

il questionario: <http://www.scoutpioltello.it/Survey/index.php?r=survey/index/sid/458692/lang/it>

grazie mille per la preziosa collaborazione

Luca Lampiano”

Nella *seconda parte* di tipo conoscitivo e informativo, inizia il vero e proprio questionario, in cui viene ricordata sinteticamente la sua finalità. Viene poi indagata l'attività lavorativa svolta dall'intervistato, e quindi spiegate in modo dettagliato ma sintetico le modalità di compilazione del questionario. Conoscere l'attività lavorativa dell'intervistato ha unicamente fini statistici, anche se sarebbe stato possibile utilizzare

Il metodo
Il software

tali dati nel modello che rappresenta il comportamento dell'intervistato. Ci si è però scontrati con la difficoltà di quantificare quest'attributo per poterlo inserire all'interno del livello.

La spiegazione dettagliata della modalità di lettura della domanda descrive la situazione in cui ci si dovrà immaginare di trovarsi (spostamento sistematico casa-lavoro o casa-scuola, 5 giorni alla settimana) e ogni singolo attributo presentato.

Per una più semplice lettura è stato cambiato il nome di alcuni attributi, anche solo per allinearli alla loro unità di misura. Così la distanza, che descriverà il tempo necessario per raggiungere la stazione da casa e il tempo necessario per raggiungere la propria meta dalla stazione di destinazione, è stato rinominato *tempo a piedi*, così come il comfort è stato rinominato con *grado di affollamento*.

A seguire il testo della prima parte del questionario:

“ Immagina di dover compiere uno spostamento sistematico casa-lavoro o casa-scuola, 5 giorni la settimana, e di dover scegliere tra treno e automobile secondo le seguenti caratteristiche descritte:

costo: *si riferisce al costo del carburante (ed eventuale pedaggio autostradale) necessario per lo spostamento in automobile e al costo del biglietto ferroviario;*

frequenza: *è l'intervallo che intercorre tra due passaggi successivi del treno che interessa per lo spostamento;*

tempo a piedi: *è la somma del tempo necessario per raggiungere a piedi la stazione da casa e del tempo necessario per raggiungere la propria destinazione dalla stazione di arrivo;*

tempo a bordo: *il tempo necessario per tale spostamento (treno: da stazione di partenza a stazione di destinazione; automobile: da casa a destinazione, compreso il tempo necessario per trovare parcheggio pari a 5 min);*

grado di affollamento: *riesci a sederti oppure devi viaggiare in piedi.“*

La *terza e ultima parte* è l'indagine vera propria, dove viene chiesto di scegliere tra l'automobile e il treno al variare dei livelli degli attributi. Un esempio di domanda è quella riportata in Figura 8.1:1.

Preferisci:

	treno	automobile
costo	2.00 €	3.58 €
frequenza	15 minuti	-
tempo a piedi	15 minuti	-
tempo a bordo	20 minuti	31 minuti
grado di affollamento		

Scegliere solo una delle seguenti voci

- automobile
 treno

Figura 8.1:1 - Esempio di domanda del questionario

Dopo aver ideato lo schema del questionario, è opportuno poterlo compilare con uno strumento che permetta di caricarlo su di una pagina internet.

8.2 La scelta del software

Esistono diversi software professionali utilizzabili per effettuare le operazioni richieste. Per scegliere il software più adatto, bisogna definire innanzi tutto quali siano le caratteristiche minime necessarie.

La prima caratteristica, e fondamentale, è quella di poter raccogliere i dati su di un file facilmente leggibile e maneggevole. Questo permetterà, raccolti tutti i dati, la loro analisi. Una seconda importante caratteristica è quella di poter inviare un link via mail per rimandare al questionario. In questo modo sarà possibile utilizzare lo strumento della posta elettronica per poter invitare più persone possibili a rispondere. Inoltre questo permetterà anche di invitare altre persone semplicemente inoltrando la mail ricevuta: operazione poco onerosa in termini di tempo per colui che inoltra la mail, ma che potenzialmente può coinvolgere un numero importante di utenti contattati. Una terza caratteristica voluta è quella di poter sottoporre un blocco di domande, diverso per ogni intervistato. Inoltre si è cercato un software che potesse permettere la replicabilità dell'indagine a costo nullo. Infine si è ricercata come caratteristica, la possibilità di poter inserire delle immagini. Infatti, l'utilizzo di un'immagine può avere una potenzialità esplicativa maggiormente immediata e diretta rispetto ad una mera descrizione della situazione in esame. Questa funzionalità è stata sfruttata per la descrizione del comfort di viaggio.

La scelta è ricaduta su LimeSurvey, che presenta caratteristiche in linea con quelle espresse.

LimeSurvey [38] è un software web-based che risponde a tutte queste necessità. LimeSurvey è un tool open source, specifico per la creazione di questionari per indagini pubblicate sul Web, che con alcune limitazioni, può essere utilizzato anche per il data entry di questionari cartacei. LimeSurvey è una applicazione multilingua (30 lingue tra cui l'italiano), scritta in PHP e con supporto di MySQL o MS SQL. È una applicazione molto utilizzata e conosciuta, tanto che viene utilizzata anche dall'Istat.

Il fatto di essere web-based richiede, tuttavia, di avere un server a cui appoggiarsi per caricare il questionario. Si è quindi, inizialmente, utilizzato il software gratuito XAMPP, che permette di virtualizzare sul proprio personal computer la presenza di un server. Così facendo si è cominciato a conoscere il software che successivamente è stato caricato su di un server.

Questa tool, che utilizza un sito internet come appoggio, permette di creare sondaggi sul web, ed è molto ricca di opzioni molto interessanti. Suddivide il sondaggio in varie parti, al cui interno sono presenti varie sotto sezioni: Indagine-Gruppi di domande-Domande-Risposte. Questa struttura è visibile anche durante la compilazione del questionario, come mostrato in Figura 8.2:1.

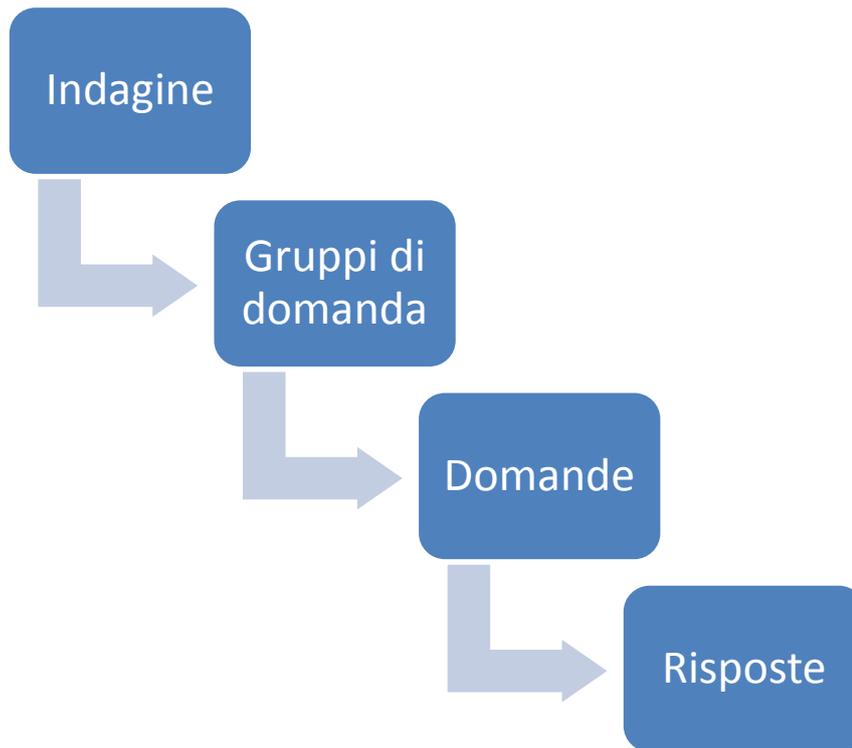


Diagramma 8.2:1 - Struttura questionario LimeSurvey

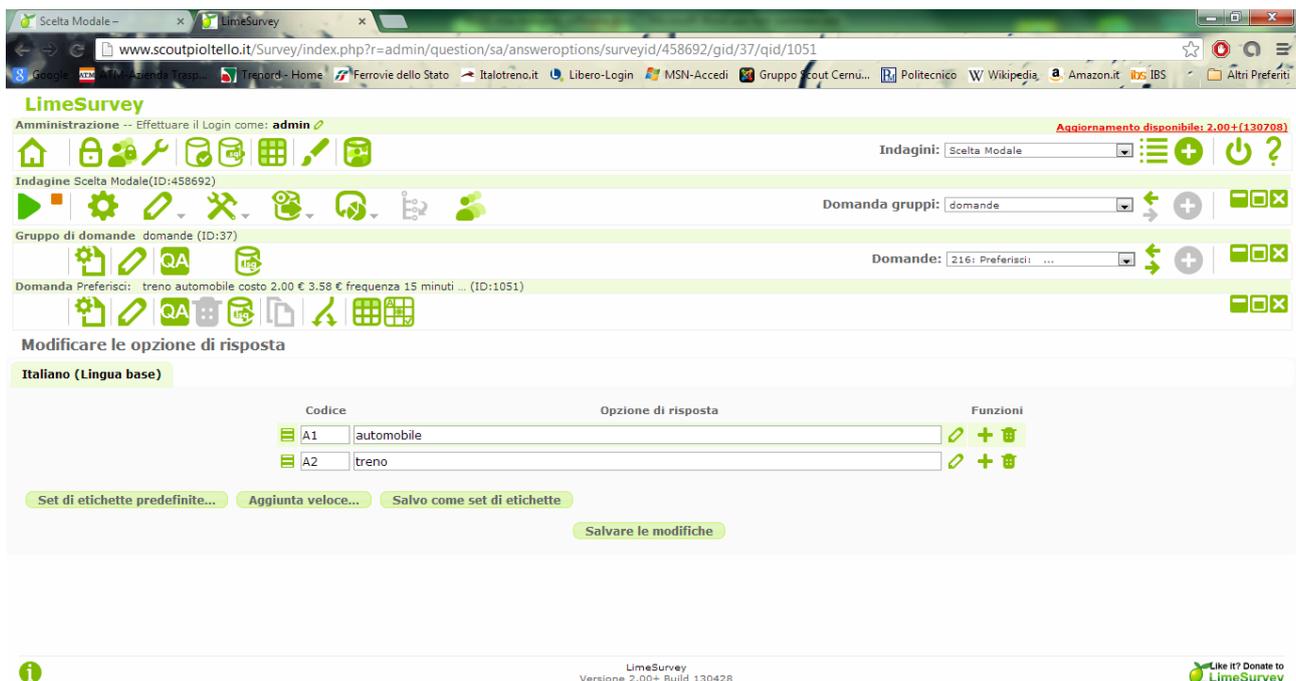


Figura 8.2:1 - Screenshot della struttura del software

Questo schema si sposa molto bene con la struttura descritta in precedenza, in quanto permette di trattare separatamente la parte introduttiva (la parte seconda richiamata nel paragrafo 8.1) e la parte del questionario vero e proprio (parte terza richiamata dal paragrafo 8.1) tramite i gruppi di domande. All'interno di questi due gruppi saranno poi presenti le domande vere e proprie, caratterizzate da diverse tipologie di risposte.

È possibile, inoltre, redigere un'introduzione di benvenuto per la prima parte del sondaggio e una parte di commiato con un ringraziamento finale, come mostrato in Figura 8.2:2. La Figura 8.2:3 mostra come si presenta la pagina iniziale del sondaggio.

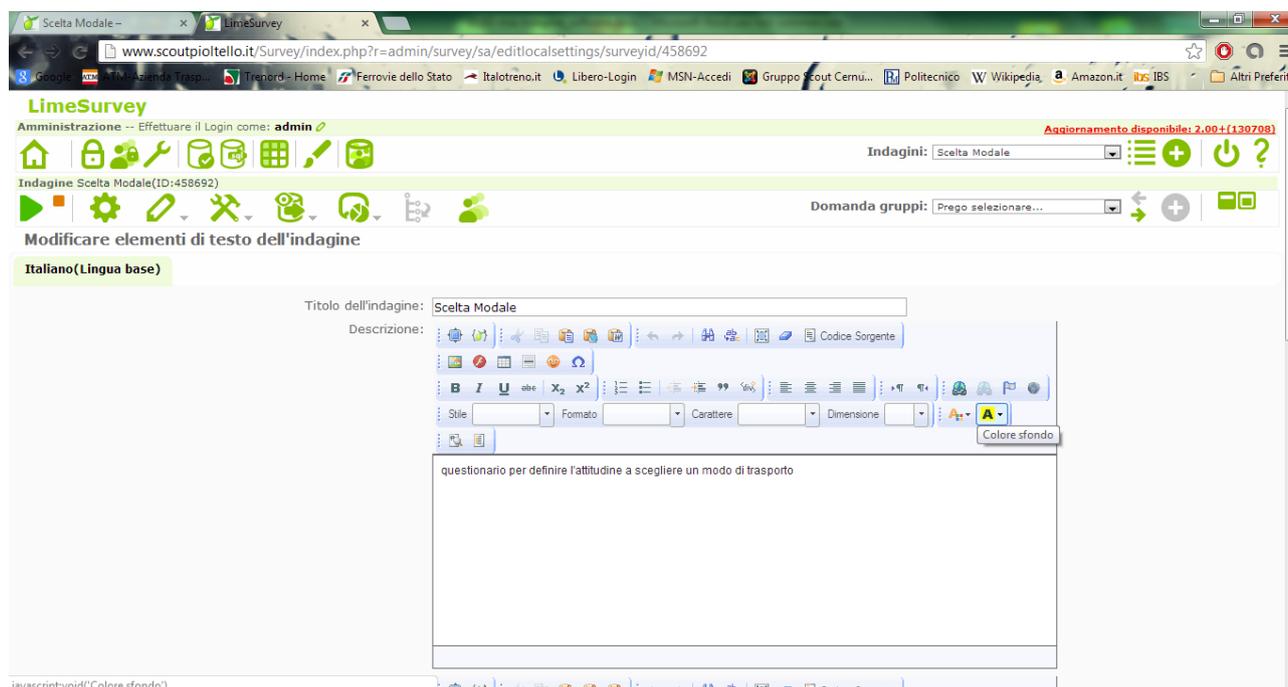


Figura 8.2:2 - Screenshot del software LimeSurvey per la compilazione della descrizione del questionario

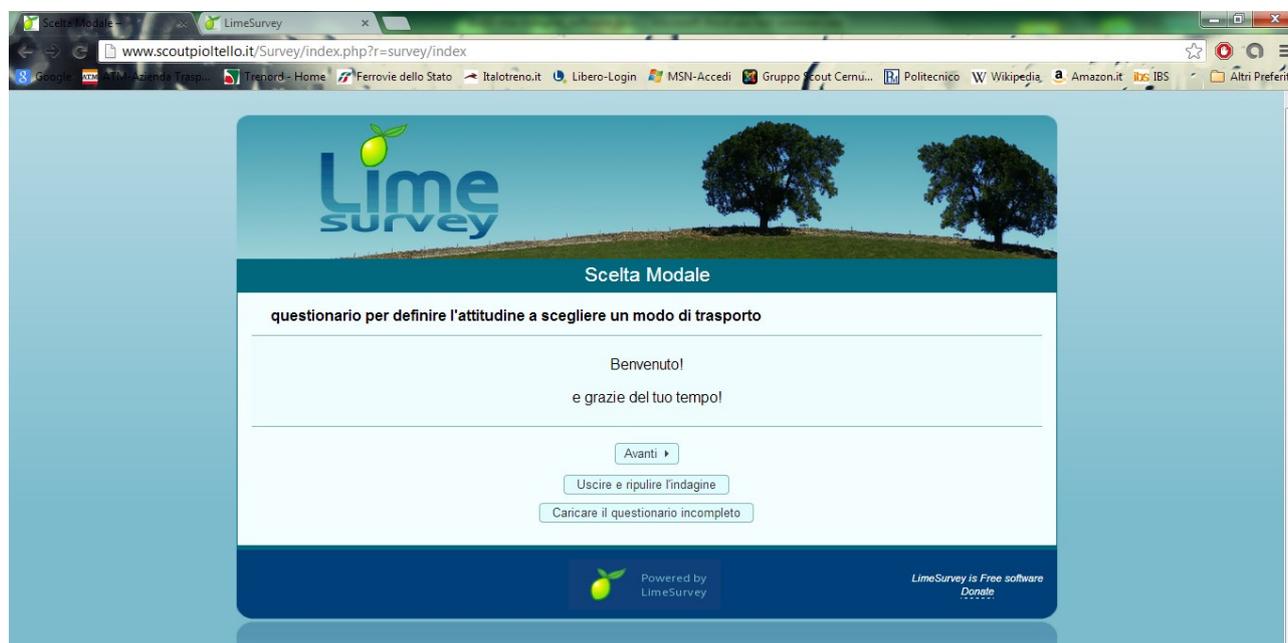


Figura 8.2:3 - Pagina iniziale del sondaggio

LimeSurvey propone un folto numero di tipologie differenti di domande, che vanno dalla risposta aperta, alla scelta, alla gerarchizzazione, e altre ancora; permette, oltre all'inserimento di soli testi (utilizzabili per le spiegazioni), di inserire al posto di una domanda un'equazione. Questa funzione è stata utilizzata per generare dei numeri utili per la presentazione di un solo blocco di domande. Si è deciso di rendere obbligatorie tutte le risposte a tutte le domande in modo da avere più dati possibili.

8.2.1 Gruppo di domande 1: introduzione

In questa parte viene presentato il sondaggio come già descritto nel paragrafo 8.1. Le domande al suo interno sono tre, La prima domanda riguarda l'occupazione dell'intervistato, che contempla le seguenti opzioni: studente, studente universitario, studente e lavoratore, lavoratore, disoccupato, pensionato.

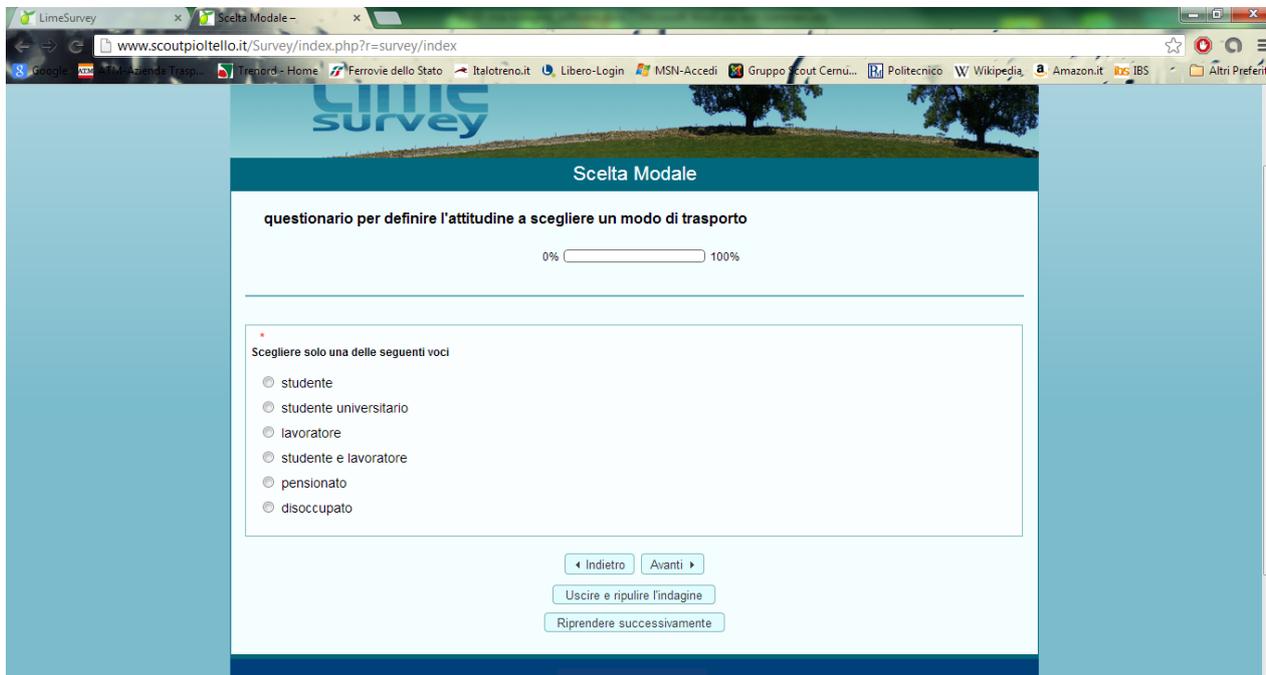


Figura 8.2:4 - Sondaggio: occupazione

La seconda domanda è utilizzata per spiegare gli attributi utilizzati durante il questionario.

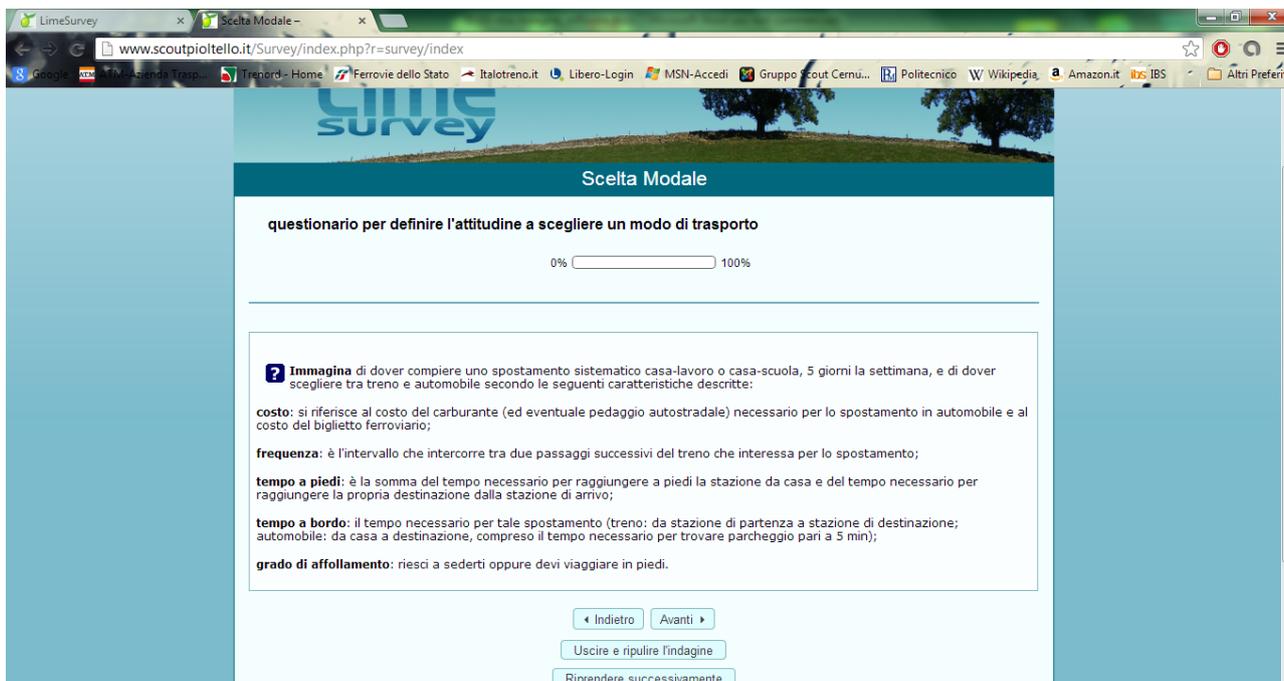


Figura 8.2:5 - Sondaggio: spiegazione degli attributi

La terza e ultima domanda, invece, non è mostrata all'utente in quanto contiene l'equazione che genera i numeri necessari per mostrare un solo blocco di domande per utente. L'equazione utilizzata è di tipo *random*, cioè genera numeri interi casuali all'interno di un intervallo consentito. Sarebbe stata migliore una funzione che permettesse di contare le risposte e presentare all'utente successivo il blocco di domande successivo. Questo tipo di funzione, al momento della compilazione, non era ancora presente all'interno del software.

La funzione utilizzata è la seguente:

$$\{\text{rand}(1,27)\}$$

Essa genera un numero a caso tra 1 e 27 che di fatto assegna un blocco costituito da 8 domande all'intervistato. All'interno delle domande appartenenti a ciascun blocco, poi, sarà presente una funzione del tipo IF che detterà la condizione di visualizzazione della domanda a seconda del numero generato dalla funzione *random*.

8.2.2 Gruppo di domande 2: il questionario

Questa parte è composta dalle domande che costituiscono l'elemento centrale dell'indagine, per le quali sono state utilizzate delle risposte di tipo *Radio Button*, che è del tipo *Choice*. Per ognuna delle 216 domande sono state imposte alcune condizioni. La più importante è l'inserimento della funzione IF di cui si parlava nel paragrafo precedente, la cui trascrizione è la seguente:

$$((00_{\text{equazione.NAOK}} == "\#\#"))$$

Al posto di *##* è stato inserito il numero del blocco a cui appartiene la domanda. Utilizzando questa formula, la domanda verrà visualizzata solo nel caso in cui l'equazione $\{\text{rand}(1,27)\}$ dia come risultato il numero presente in $((00_{\text{equazione.NAOK}} == "\#\#"))$. In questo modo è stato possibile tradurre la suddivisione per blocchi.

Un'altra condizione inserita, oltre all'obbligatorietà della risposta, è l'ordine casuale delle domande. In questo modo si suppone di poter ottenere maggiore attenzione da parte dell'intervistato, in quanto non riconoscerà una logica nell'ordine delle domande.

8.2.3 Chiusura dell'Indagine

Alla fine del questionario, oltre al ringraziamento per aver compilato il sondaggio, è possibile visionare le risposte che sono state date.

Altre opzioni inserite nell'indagine riguardano la possibilità di modificare le risposte date e di poter interrompere la compilazione del questionario per poi riprenderla successivamente.

I dati vengono poi raccolti dal sito da cui è possibile scaricarli in vari formati, tra cui il formato *.xls*, per l'analisi e l'elaborazione successive.

9 Il bacino degli intervistati

9.1 Quantità di risposte ricevute

Il questionario è stato inviato con 145 mail che invitavano alla compilazione dell'indagine unitamente alla richiesta di inoltrare il medesimo messaggio a tutti coloro che potessero essere interessati. I risultati sono stati registrati fino a quando non si sono ricevute più risposte. In totale sono state raccolte 347 risposte complete per un periodo di 25 giorni. Si è potuto, pertanto, osservare una buona disponibilità da parte degli utenti contattati sia a rispondere al questionario, sia a inoltrarlo a terzi. Nella Tabella 9.1:1 viene mostrato l'andamento della ricezione di risposte nel tempo.

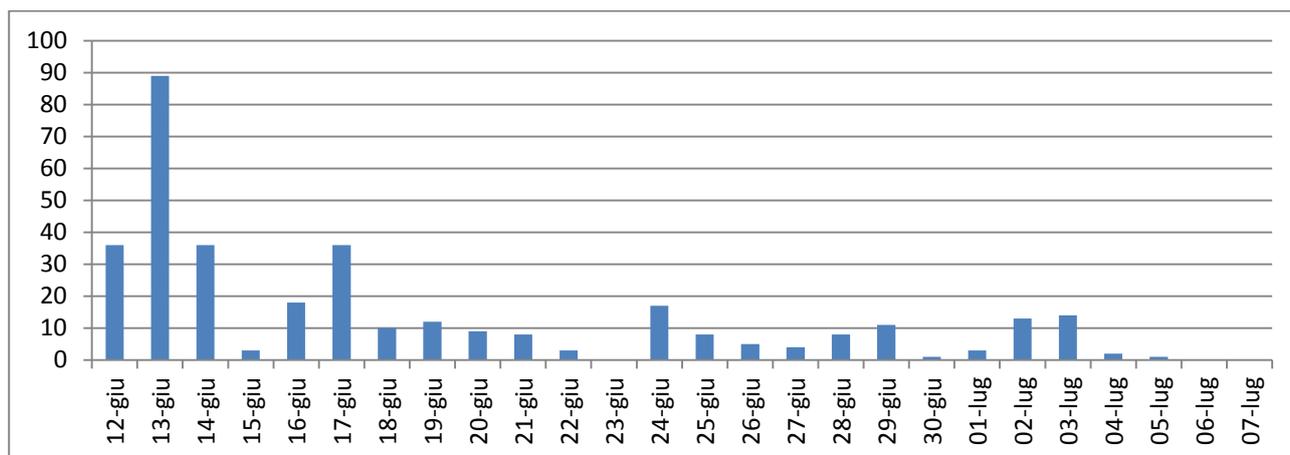


Tabella 9.1:1 - Andamento del numero di risposte complete ricevute nei 25 giorni di osservazione

Scaricando dal sito il foglio Excel riassuntivo di tutte le risposte ricevute, si può osservare che sono state registrate 398 risposte, di cui 347 complete e 51 incomplete. Nello specifico, si osservi la Tabella 9.1:2, dove si suddividono le risposte per gruppo di domande. Nella prima colonna è indicato il gruppo di appartenenza, nella seconda colonna il numero totale di risposte ricevute. La colonna y indica il numero di sondaggi completati per ogni particolare blocco, la colonna n, invece, il numero di sondaggi non completati. Si è deciso che per l'analisi dei dati verranno utilizzate unicamente le risposte dei sondaggi completati. Per la colonna y è stata utilizzata una formattazione condizionale colorata per far risaltare quali potessero essere i blocchi di domande con un numero esiguo di risposte. È il caso del blocco 21 che ha ricevuto solo 7 risposte di cui solamente 4 complete. Un valore così basso è ancora più evidente se lo si confronta con quello del gruppo 6, del gruppo 9 o del 18, dove le risposte completate sono più del quadruplo e tenendo conto anche del fatto che la media delle risposte completate ricevute per ogni gruppo è pari circa a 13, più di tre volte tanto delle risposte ricevute del gruppo 21. Si palesa ancora di più, quindi, la necessità di avere disponibile, e quindi utilizzare, una funzione che non restituisca numeri casuali, ma con un determinato ordine.

gruppo	n risp	y	n
1	13	13	0
2	14	13	1
3	10	10	0
4	17	17	0
5	9	9	0
6	19	18	1

gruppo	n risp	y	n
7	16	15	1
8	10	10	0
9	19	18	1
10	15	13	2
11	15	14	1
12	11	11	0
13	10	10	0
14	19	18	1
15	15	14	1
16	9	7	2
17	14	14	0
18	19	19	0
19	13	13	0
20	12	11	1
21	7	4	3
22	16	16	0
23	16	15	1
24	9	9	0
25	15	15	0
26	11	10	1
27	11	11	0

Tabella 9.1:2 - Numero di risposte per blocco di domande

È possibile esaminare anche le statistiche che riguardano l'occupazione degli intervistati, riportata nella Tabella 9.1:3, dove si può osservare che il maggior numero degli intervistati è lavoratore. Questo elemento risulta essere positivo per gli scopi che ci si è prefissato, in quanto, come dicono le statistiche Istat già precedentemente riportate (Grafico 6.1:2), sono proprio i lavoratori coloro che utilizzano meno il mezzo di trasporto collettivo.

Per questo motivo risulta particolarmente significativo investigare quali siano gli aspetti da migliorare in un servizio di trasporto pubblico affinché costoro possano modificare questa propensione.

Occupazione	n° utenti		
studente	18	Y	16
		N	2
studente universitario	114	Y	102
		N	12
studente e lavoratore	33	Y	25
		N	8
lavoratore	206	Y	192
		N	14
pensionato	4	Y	3
		N	1
disoccupato	10	Y	9
		N	1
	13	Y	0
		N	13

Tabella 9.1:3 - Risposte per occupazione

Il metodo

I dati raccolti

La Tabella 10.1:1 è stata semplificata rispetto a quella presente tra gli allegati per una più immediata lettura.

Per quanto riguarda la descrizione dei dati nelle colonne:

- nella prima colonna, marcata come “*Id*”, viene dato un numero identificativo unitario per ogni risposta data;
- per quanto riguarda la seconda colonna, identificata come “*Com*” (originariamente “*Completato*”), viene indicato se il questionario è stato completato (*Y*) oppure no (*N*);
- la terza colonna, “*Ultpag*” (nel file originale *Ultima pagina*), registra l’ultima pagina del questionario visualizzata dall’utente, che in caso di completamento è la numero 219;
- la quarta colonna, “*occ*” (“*00_occupazione*”) registra la risposta alla domanda riguardante l’occupazione: *s* (*studente*), *su* (*studente universitario*), *s & l* (*studente e lavoratore*), *l* (*lavoratore*), *p* (*pensionato*), *d* (*disoccupato*);
- la colonna “*eq*” (“*00_equazione*”) riporta il risultato dell’equazione che calcola il numero casuale tra 1 e 27;
- le colonne successive, invece, restituiscono la risposta alla domanda di cui il numero è riportato nella prima riga. Naturalmente nessun utente ha risposto a tutte le 216 domande, ma solo alle otto specifiche date dalla suddivisione per blocchi. Inoltre, la tabella riportata non mostra tutte le domande presenti nel questionario in quanto, altrimenti, il carattere utilizzato in tabella sarebbe stato così piccolo da non permetterne la visualizzazione.

Sono state eliminate dalla Tabella 10.1:1 alcune colonne (ma presenti nell’allegato), non interessanti per la trattazione:

- *lingua iniziale*; riporta la lingua con la quale è possibile rispondere. Per questo questionario è stata utilizzata unicamente la lingua italiana, ma sarebbe stato possibile, ad inizio questionario, selezionare la lingua preferita;
- *indirizzo IP*; permette di registrare l’indirizzo IP di chi risponde al questionario, e quindi, con un secondo passaggio, poter capire la zona geografica di provenienza. Tale operazione, per il notevole onere computazionale richiesto e in quanto non giustificata dalle attuali finalità del presente lavoro, non è stata affrontata;
- *00_spiegone*; questa colonna è vuota in quanto dovrebbe raccogliere le risposte alla domanda *00_spiegone*, la quale, però, non necessitava di nessuna risposta perché utilizzata per presentare le caratteristiche del questionario.

La difficoltà di interpretare un file (Tabella 10.1:1) che raccoglie dati di tipo disaggregato, che raccoglie cioè ciascuna risposta di ogni singolo utente, è l’impossibilità di capire quali siano le caratteristiche dello scenario proposto, oltre a non permettere una visione d’insieme di tutte le domande poste. Le risposte sono state quindi rielaborate e aggregate secondo la Tabella 10.1:2.

id	gruppo	Costo [€]	ttreno [min]	freq [min]	tpiedi [min]	comfort	%	n° risp
001	1	4.15	27	120	30	p	0.00%	13
002	10	4.15	27	120	20	p	0.00%	13
003	19	4.15	27	120	15	p	0.00%	13
004	1	4.15	27	60	30	p	7.69%	13
005	10	4.15	27	60	20	p	7.69%	13
006	19	4.15	27	60	15	p	15.38%	13

id	gruppo	Costo [€]	ttreno [min]	freq [min]	tpiedi [min]	comfort	%	n° risp
007	1	4.15	27	30	30	p	15.38%	13
008	10	4.15	27	30	20	p	14.29%	13
009	19	4.15	27	30	15	p	30.77%	13
010	1	4.15	27	15	30	p	23.08%	13
011	10	4.15	27	15	20	p	15.38%	13
012	19	4.15	27	15	15	p	38.46%	13
013	2	4.15	22	120	30	p	7.69%	13
014	11	4.15	22	120	20	p	14.29%	14
015	20	4.15	22	120	15	p	0.00%	11
016	2	4.15	22	60	30	p	7.69%	13
017	11	4.15	22	60	20	p	20.00%	14
018	20	4.15	22	60	15	p	8.33%	11
019	2	4.15	22	30	30	p	30.77%	13
020	11	4.15	22	30	20	p	28.57%	14
021	20	4.15	22	30	15	p	45.45%	11
022	2	4.15	22	15	30	p	30.77%	13
023	11	4.15	22	15	20	p	35.71%	14
024	20	4.15	22	15	15	p	45.45%	11
025	3	4.15	20	120	30	p	30.00%	10
026	12	4.15	20	120	20	p	9.09%	11
027	21	4.15	20	120	15	p	20.00%	4
028	3	4.15	20	60	30	p	20.00%	10
029	12	4.15	20	60	20	p	9.09%	11
030	21	4.15	20	60	15	p	0.00%	4
031	3	4.15	20	30	30	p	20.00%	10
032	12	4.15	20	30	20	p	36.36%	11
033	21	4.15	20	30	15	p	20.00%	4
034	3	4.15	20	15	30	p	40.00%	10
035	12	4.15	20	15	20	p	54.55%	11
036	21	4.15	20	15	15	p	40.00%	4
037	4	2.75	27	120	30	p	0.00%	17
038	13	2.75	27	120	20	p	0.00%	10
039	22	2.75	27	120	15	p	18.75%	16
040	4	2.75	27	60	30	p	5.88%	17
041	13	2.75	27	60	20	p	20.00%	10
042	22	2.75	27	60	15	p	31.25%	16
043	4	2.75	27	30	30	p	23.53%	17
044	13	2.75	27	30	20	p	50.00%	10
045	22	2.75	27	30	15	p	50.00%	16
046	4	2.75	27	15	30	p	35.29%	17
047	13	2.75	27	15	20	p	70.00%	10
048	22	2.75	27	15	15	p	68.75%	16
049	5	2.75	22	120	30	p	11.11%	9
050	14	2.75	22	120	20	p	10.53%	18
051	23	2.75	22	120	15	p	18.75%	15
052	5	2.75	22	60	30	p	11.11%	9
053	14	2.75	22	60	20	p	26.32%	18

*Il metodo
I dati raccolti*

id	gruppo	Costo [€]	ttreno [min]	freq [min]	tpiedi [min]	comfort	%	n° risp
054	23	2.75	22	60	15	p	40.00%	15
055	5	2.75	22	30	30	p	33.33%	9
056	14	2.75	22	30	20	p	44.44%	18
057	23	2.75	22	30	15	p	47.37%	15
058	5	2.75	22	15	30	p	73.33%	9
059	14	2.75	22	15	20	p	42.11%	18
060	23	2.75	22	15	15	p	80.00%	15
061	6	2.75	20	120	30	p	0.00%	18
062	15	2.75	20	120	20	p	0.00%	14
063	24	2.75	20	120	15	p	11.11%	9
064	6	2.75	20	60	30	p	11.11%	18
065	15	2.75	20	60	20	p	21.43%	14
066	24	2.75	20	60	15	p	11.11%	9
067	6	2.75	20	30	30	p	33.33%	18
068	15	2.75	20	30	20	p	42.86%	14
069	24	2.75	20	30	15	p	33.33%	9
070	6	2.75	20	15	30	p	22.22%	18
071	15	2.75	20	15	20	p	42.86%	14
072	24	2.75	20	15	15	p	44.44%	9
073	7	2.00	27	120	30	p	12.50%	15
074	16	2.00	27	120	20	p	0.00%	7
075	25	2.00	27	120	15	p	26.67%	15
076	7	2.00	27	60	30	p	56.25%	15
077	16	2.00	27	60	20	p	0.00%	7
078	25	2.00	27	60	15	p	33.33%	15
079	7	2.00	27	30	30	p	40.00%	15
080	16	2.00	27	30	20	p	42.86%	7
081	25	2.00	27	30	15	p	46.67%	15
082	7	2.00	27	15	30	p	66.67%	15
083	16	2.00	27	15	20	p	57.14%	7
084	25	2.00	27	15	15	p	46.67%	15
085	8	2.00	22	120	30	p	30.00%	10
086	17	2.00	22	120	20	p	14.29%	14
087	26	2.00	22	120	15	p	10.00%	10
088	8	2.00	22	60	30	p	40.00%	10
089	17	2.00	22	60	20	p	14.29%	14
090	26	2.00	22	60	15	p	50.00%	10
091	8	2.00	22	30	30	p	50.00%	10
092	17	2.00	22	30	20	p	28.57%	14
093	26	2.00	22	30	15	p	60.00%	10
094	8	2.00	22	15	30	p	50.00%	10
095	17	2.00	22	15	20	p	35.71%	14
096	26	2.00	22	15	15	p	80.00%	10
097	9	2.00	20	120	30	p	10.53%	18
098	18	2.00	20	120	20	p	26.32%	19
099	27	2.00	20	120	15	p	9.09%	11
100	9	2.00	20	60	30	p	27.78%	18

id	gruppo	Costo [€]	ttreno [min]	freq [min]	tpiedi [min]	comfort	%	n° risp
101	18	2.00	20	60	20	p	47.37%	19
102	27	2.00	20	60	15	p	36.36%	11
103	9	2.00	20	30	30	p	31.58%	18
104	18	2.00	20	30	20	p	36.84%	19
105	27	2.00	20	30	15	p	45.45%	11
106	9	2.00	20	15	30	p	44.44%	18
107	18	2.00	20	15	20	p	42.11%	19
108	27	2.00	20	15	15	p	36.36%	11
109	27	4.15	27	120	30	s	9.09%	11
110	18	4.15	27	120	20	s	21.05%	19
111	9	4.15	27	120	15	s	10.53%	18
112	27	4.15	27	60	30	s	18.18%	11
113	18	4.15	27	60	20	s	10.53%	19
114	9	4.15	27	60	15	s	22.22%	18
115	27	4.15	27	30	30	s	36.36%	11
116	18	4.15	27	30	20	s	36.84%	19
117	9	4.15	27	30	15	s	44.44%	18
118	27	4.15	27	15	30	s	45.45%	11
119	18	4.15	27	15	20	s	63.16%	19
120	9	4.15	27	15	15	s	61.11%	18
121	26	4.15	22	120	30	s	20.00%	10
122	17	4.15	22	120	20	s	21.43%	14
123	8	4.15	22	120	15	s	20.00%	10
124	26	4.15	22	60	30	s	20.00%	10
125	17	4.15	22	60	20	s	14.29%	14
126	8	4.15	22	60	15	s	30.00%	10
127	26	4.15	22	30	30	s	30.00%	10
128	17	4.15	22	30	20	s	21.43%	14
129	8	4.15	22	30	15	s	60.00%	10
130	26	4.15	22	15	30	s	60.00%	10
131	17	4.15	22	15	20	s	57.14%	14
132	8	4.15	22	15	15	s	80.00%	10
133	25	4.15	20	120	30	s	6.67%	15
134	16	4.15	20	120	20	s	0.00%	7
135	7	4.15	20	120	15	s	20.00%	15
136	25	4.15	20	60	30	s	20.00%	15
137	16	4.15	20	60	20	s	14.29%	7
138	7	4.15	20	60	15	s	46.67%	15
139	25	4.15	20	30	30	s	26.67%	15
140	16	4.15	20	30	20	s	42.86%	7
141	7	4.15	20	30	15	s	81.25%	15
142	25	4.15	20	15	30	s	40.00%	15
143	16	4.15	20	15	20	s	57.14%	7
144	7	4.15	20	15	15	s	93.33%	15
145	24	2.75	27	120	30	s	33.33%	9
146	15	2.75	27	120	20	s	7.14%	14
147	6	2.75	27	120	15	s	33.33%	18

*Il metodo
I dati raccolti*

id	gruppo	Costo [€]	ttreno [min]	freq [min]	tpiedi [min]	comfort	%	n° risp
148	24	2.75	27	60	30	s	33.33%	9
149	15	2.75	27	60	20	s	50.00%	14
150	6	2.75	27	60	15	s	55.56%	18
151	24	2.75	27	30	30	s	44.44%	9
152	15	2.75	27	30	20	s	64.29%	14
153	6	2.75	27	30	15	s	61.11%	18
154	24	2.75	27	15	30	s	33.33%	9
155	15	2.75	27	15	20	s	78.57%	14
156	6	2.75	27	15	15	s	72.22%	18
157	23	2.75	22	120	30	s	20.00%	15
158	14	2.75	22	120	20	s	50.00%	18
159	5	2.75	22	120	15	s	11.11%	9
160	23	2.75	22	60	30	s	43.75%	15
161	14	2.75	22	60	20	s	61.11%	18
162	5	2.75	22	60	15	s	44.44%	9
163	23	2.75	22	30	30	s	66.67%	15
164	14	2.75	22	30	20	s	72.22%	18
165	5	2.75	22	30	15	s	55.56%	9
166	23	2.75	22	15	30	s	68.75%	15
167	14	2.75	22	15	20	s	83.33%	18
168	5	2.75	22	15	15	s	77.78%	9
169	22	2.75	20	120	30	s	25.00%	16
170	13	2.75	20	120	20	s	20.00%	10
171	4	2.75	20	120	15	s	41.18%	17
172	22	2.75	20	60	30	s	50.00%	16
173	13	2.75	20	60	20	s	60.00%	10
174	4	2.75	20	60	15	s	64.71%	17
175	22	2.75	20	30	30	s	56.25%	16
176	13	2.75	20	30	20	s	90.00%	10
177	4	2.75	20	30	15	s	82.35%	17
178	22	2.75	20	15	30	s	62.50%	16
179	13	2.75	20	15	20	s	90.00%	10
180	4	2.75	20	15	15	s	88.24%	17
181	21	2.00	27	120	30	s	20.00%	4
182	12	2.00	27	120	20	s	45.45%	11
183	3	2.00	27	120	15	s	40.00%	10
184	21	2.00	27	60	30	s	60.00%	4
185	12	2.00	27	60	20	s	63.64%	11
186	3	2.00	27	60	15	s	70.00%	10
187	21	2.00	27	30	30	s	60.00%	4
188	12	2.00	27	30	20	s	90.91%	11
189	3	2.00	27	30	15	s	90.00%	10
190	21	2.00	27	15	30	s	50.00%	4
191	12	2.00	27	15	20	s	90.91%	11
192	3	2.00	27	15	15	s	100.00%	10
193	20	2.00	22	120	30	s	8.33%	11
194	11	2.00	22	120	20	s	14.29%	14

id	gruppo	Costo [€]	ttreno [min]	freq [min]	tpiedi [min]	comfort	%	n° risp
195	2	2.00	22	120	15	s	30.77%	13
196	20	2.00	22	60	30	s	18.18%	11
197	11	2.00	22	60	20	s	50.00%	14
198	2	2.00	22	60	15	s	57.14%	13
199	20	2.00	22	30	30	s	58.33%	11
200	11	2.00	22	30	20	s	71.43%	14
201	2	2.00	22	30	15	s	76.92%	13
202	20	2.00	22	15	30	s	75.00%	11
203	11	2.00	22	15	20	s	85.71%	14
204	2	2.00	22	15	15	s	84.62%	13
205	19	2.00	20	120	30	s	15.38%	13
206	10	2.00	20	120	20	s	15.38%	13
207	1	2.00	20	120	15	s	53.85%	13
208	19	2.00	20	60	30	s	38.46%	13
209	10	2.00	20	60	20	s	38.46%	13
210	1	2.00	20	60	15	s	69.23%	13
211	19	2.00	20	30	30	s	61.54%	13
212	10	2.00	20	30	20	s	46.15%	13
213	1	2.00	20	30	15	s	76.92%	13
214	19	2.00	20	15	30	s	61.54%	13
215	10	2.00	20	15	20	s	61.54%	13
216	1	2.00	20	15	15	s	76.92%	13

Tabella 10.1:2 - Risultati del questionario

Nella prime due colonne sono riportati il numero identificativo della domanda, di cui sono state registrate le risposte, e il gruppo di appartenenza per quanto riguarda la suddivisione a blocchi. Per le successive 5 colonne, sono ricordate le caratteristiche dello scenario solo per quanto riguarda gli attributi del treno, in quanto le caratteristiche dell'alternativa automobile sono fisse (costo 3.58 € e tempo a bordo 31 min):

- *costo*; il costo del biglietto ferroviario (2.00 €, 2.75 € e 4.15 €);
- *ttreno*; il tempo speso a bordo del treno (20 min, 22 min e 27 min);
- *freq*; la frequenza tra due passaggi successivi (120 min, 60 min, 30 min e 15 min)
- *tpiedi*; il tempo necessario per raggiungere la stazione di origine a cui sommare il tempo necessario per raggiungere la propria meta a partire dalla stazione di destinazione (15 min, 20 min, 30 min);
- *comfort*; indica se sono presenti posti a sedere (s) o se è necessario stare in piedi (p).

Nella penultima colonna è indicata la percentuale di scelta per quanto riguarda l'alternativa treno di cui, naturalmente, il relativo complementare a 100 rappresenta la percentuale di scelta del mezzo automobile. Infine, nell'ultima colonna, è riportato il numero totale di risposte ricevute per quella determinata domanda.

La difficoltà di avere dati aggregati è l'impossibilità di poter visualizzare ogni singola risposta e quindi poter scoprire eventuali risposte palesemente non razionali.

10.1.1 Analisi dei dati raccolti

Una considerazione riguardo ai dati è che confrontando tra di loro le percentuali, si osserva che alcune non sono "razionali". Si prenda come esempio il caso, riportato nella Tabella 10.1:3, tra gli scenari 192 e 216. La percentuale di scelta dell'alternativa treno della domanda 216, che è quella con le caratteristiche più

Il metodo

I dati raccolti

favorevoli per il treno, è pari quasi al 77%, mentre per lo scenario 192, la percentuale di scelta dell'alternativa treno è di addirittura del 100%.

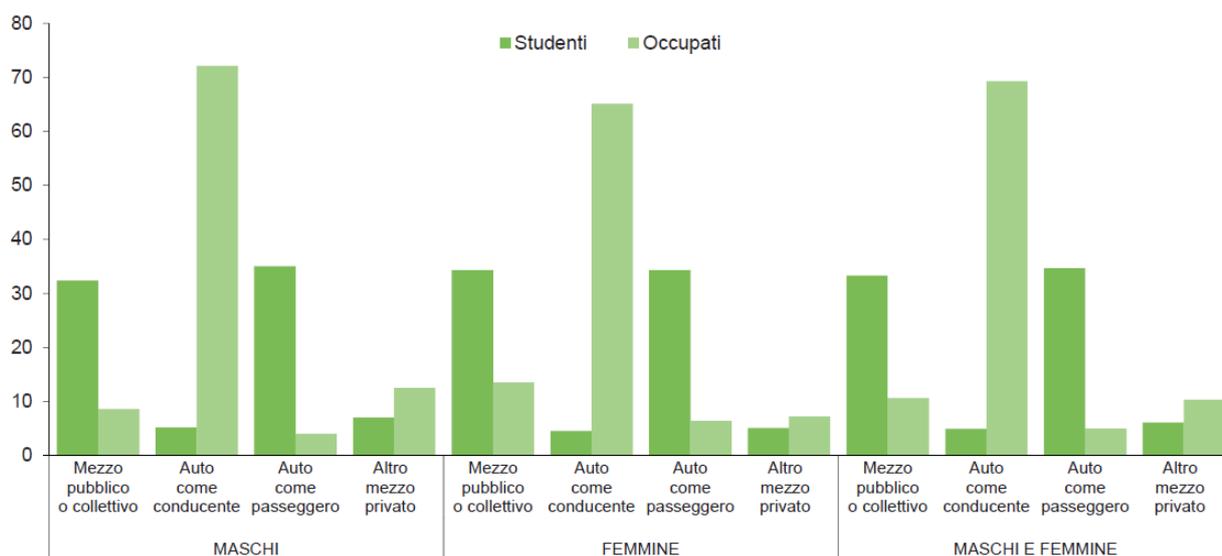
id	gruppo	Costo [€]	ttreno [min]	freq [min]	tpiedi [min]	comfort	%	n° risp
192	3	2.00	27	15	15	s	100.00%	10
216	1	2.00	20	15	15	s	76.92%	13

Tabella 10.1:3 - Confronto tra due scenari

Come si può osservare facilmente, i due scenari sono quasi del tutto uguali se non per il fatto che il 192 è descritto da un tempo a bordo di 27 min, mentre lo scenario 216 ha un tempo a bordo di 20 min.

Questa discrepanza è dovuta al fatto che gli utenti che hanno risposto agli scenari 192 non sono gli stessi utenti che hanno, invece, risposto per gli scenari 216.

Si potrebbe anche presumere che questa scelta sia dovuta anche alla differente occupazione dell'utente. Infatti, ricordando le statistiche dell'Istat di [22], che si riportano nel paragrafo 6.1, tra lavoratori e studenti, sono i primi coloro che preferiscono spostarsi in automobile piuttosto che coi mezzi pubblici.



Fonte: Istat, Indagine multiscopo sulle famiglie "Aspetti della vita quotidiana"

Grafico 10.1:1 - Ripartizione modale in Italia tra trasporto pubblico e mezzo privato

Si riportano quindi le parti interessate relative al gruppo di domande 192 e 216, in modo da poter verificare la tipologia di utenti che hanno risposto alle domande di cui sopra.

id	Com	Utlpag	occupazione	eq	25	28	31	34	192	189	186	183
11	Y	219	lavoratore	3	a	a	a	a	t	t	a	a
45	Y	219	lavoratore	3	t	t	t	t	t	t	t	t
89	Y	219	lavoratore	3	a	a	a	a	t	a	a	a
97	Y	219	studente universitario	3	a	a	a	a	t	t	t	a
101	Y	219	lavoratore	3	a	a	a	t	t	t	t	a
130	Y	219	lavoratore	3	t	t	t	t	t	t	t	t
221	Y	219	studente universitario	3	a	a	a	a	t	t	t	a
280	Y	219	studente universitario	3	a	a	a	t	t	t	a	a
319	Y	219	lavoratore	3	t	a	a	a	t	t	t	t
351	Y	219	studente universitario	3	a	a	a	a	t	t	t	t

Tabella 10.1:4 - Risposte relative al gruppo 3 a cui appartiene la domanda numero 192

id	Com	Utlpag	occupazione	eq	1	4	7	10	207	210	213	216
18	Y	219	lavoratore	1	a	a	a	a	t	t	t	t
69	Y	219	studente e lavoratore	1	a	a	t	t	t	t	t	t
124	Y	219	lavoratore	1	a	a	a	a	a	a	a	a
150	Y	219	lavoratore	1	a	a	a	a	a	a	a	a
173	Y	219	lavoratore	1	a	a	a	a	t	t	t	t
193	Y	219	studente universitario	1	a	a	a	t	t	t	t	t
253	Y	219	studente universitario	1	a	a	a	a	a	t	t	t
260	Y	219	lavoratore	1	a	t	t	t	a	t	t	t
271	Y	219	studente universitario	1	a	a	a	a	t	t	t	t
301	Y	219	lavoratore	1	a	a	a	a	t	t	t	t
329	Y	219	lavoratore	1	a	a	a	a	t	t	t	t
350	Y	219	lavoratore	1	a	a	a	a	a	a	a	a
416	Y	219	lavoratore	1	a	a	a	a	a	a	t	t

Tabella 10.1:5 - Risposte relative al gruppo 1 a cui appartiene la domanda numero 216

Nel caso della domanda 216 si può notare come gli utenti che hanno scelto l'alternativa auto siano tutti lavoratori, in linea con quanto viene riportato dalla statistica Istat.

11 Elaborazione dei dati

La raccolta dei dati permette di conoscere dei valori puntuali rispetto alla scelta tra le due alternative treno e automobile in corrispondenza dei livelli utilizzati per descrivere l'indagine in uno spazio a n dimensioni quanti sono gli attributi. Modellizzando il comportamento di scelta è possibile conoscere a livello teorico la percentuale di scelta per quanto riguarda l'alternativa treno in corrispondenza di livelli diversi non utilizzati per questa indagine. Per fare ciò è necessario calibrare il modello per mezzo dei dati raccolti dall'indagine. Il modello che si utilizzerà per la descrizione del comportamento di scelta è il Logit Binomiale, già approfondito nel capitolo 3.1.2.

È possibile affrontare il Logit Binomiale in due diversi modi, o come caso semplice del Logit Multinomiale o come suggerito da Alan Agresti, per il quale il Logit Binomiale può essere descritto tramite la scelta o la non scelta di una delle due alternative dello scenario.

Nel caso in cui si parli di Logit Binomiale come caso particolare del Logit Multinomiale (Ennio Cascetta in [3]), la formula è la seguente:

$$p[A] = \frac{\exp(V_A/\theta)}{\exp(V_A/\theta) + \exp(V_B/\theta)}$$

dove:

$$V_q = \beta_q x_q$$

con x_q livello dell'attributo x e β coefficiente dell'attributo x scelto dall'utente q .

θ è il parametro della variabile di Gumbel le cui caratteristiche sono state già affrontate nel capitolo 3.1.

Nel caso, invece, in cui, ci si riferisca al Logit Binomiale nell'accezione data da Alan Agresti in [1], la formulazione del modello è:

$$p[A] = \frac{\exp(V_A)}{1 + \exp(V_A)}$$

È necessario decidere quale modello utilizzare per poter descrivere il comportamento dell'utente. Il modello di Logit Binomiale di Agresti sembra essere più generale in quanto la domanda che sottintende è se si prenderebbe il treno a condizione di determinate caratteristiche oppure no. Vista in questo modo, l'alternativa al treno non è più solamente l'automobile, ma tutto ciò che non è treno. Quindi una visione più generale del problema.

11.1 Logit Binomiale (Cascetta)

Nel caso si volesse utilizzare il modello di Cascetta, il modello si potrebbe calibrare mediante un software di calcolo a fogli elettronici, ad esempio Microsoft Excel.

La stima del modello, secondo Cascetta e riportato da Maja in [12], è da eseguirsi mediante il metodo della Massima Verosimiglianza (o Maximum Likelihood) che fornisce i valori dei coefficienti incogniti che consentono di rendere massima la probabilità di riprodurre le scelte effettuate dagli utenti.

La probabilità di osservare l'insieme delle scelte degli n decisori del campione, cioè di ottenerne una certa stima, è data dal prodotto delle probabilità che ciascun utente q -esimo preferisca l'alternativa $i(q)$ effettivamente scelta dall'utente q , cioè $p[i(q)](X^q, \beta, \theta)$, a condizione di avere a disposizione un campione di osservazioni assolutamente indipendenti fra di loro. Questo significa, all'atto pratico, che la scelta del q -esimo utente non deve essere influenzata dalla scelta di altri utenti.

Nel caso in cui si abbia a che fare con un campionamento casuale semplice (estrazione casuale di n utenti a cui sottoporre il questionario dall'universo N), caso vicino a quello in trattazione, la condizione di indipendenza è soddisfatta e le suddette probabilità sono a loro volta calcolate con il modello in esame e quindi dipendono dal vettore di coefficienti $[\beta_k, \theta_r]$. Quindi anche la probabilità L di osservare l'intero campione risulta funzione dei coefficienti incogniti:

$$L(\beta\theta) = L(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_K, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_R) = \prod_{q=1}^n p^q[i(q)](X^q, \beta, \theta)$$

La stima dei coefficienti $[\beta, \theta]$ che fornisce la massima verosimiglianza, $[\beta^*, \theta^*]$, indicato anche come $[\beta, \theta]_{ML}$, 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, il cui caso più semplice è quello del Logit Multinomiale (e quindi Logit Binomiale).

Per rendere, comunque, più agevole l'operazione, si può sostituire la funzione di verosimiglianza con una sua trasformazione ottenuta esprimendo il suo logaritmo naturale, denominato *funzione log-Likelihood*:

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

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.

È ora possibile implementare la funzione di Massima Verosimiglianza all'interno di un foglio di calcolo, su cui verranno riportate tutte le risposte date da ogni singolo utente.

Per ogni utente q si calcola il valore della funzione log-Likelihood in base alla risposta che è stata data:

$$\ln(L) = V(q) - Y(q)$$

dove $V(q)$ è l'esponente del numeratore della formulazione del Logit Binomiale secondo Cascetta;

$Y(q)$ è il logaritmo naturale del denominatore della formulazione del Logit Binomiale secondo Cascetta.

Infatti il logaritmo di un rapporto è pari alla differenza dei logaritmi.

Quindi

$$V(q) = \sum \beta_q X_q \text{ e } Y(q) = \ln(\exp(\sum \beta_q x_q / \theta) + \exp(\sum \beta_r x_r / \theta))$$

Con q l'alternativa scelta tra q e r .

Per quanto riguarda il valore dei β si farà riferimento a delle caselle in cui sono stati inseriti dei valori casuali.

Una volta calcolati i valori di ogni $\ln(L)$ per ogni singolo utente, si trova il valore della somma di questi valori.

Ultimo passaggio delle operazioni è quello di utilizzare lo strumento risolutore, impostando di trovare il massimo di questa somma (cella obiettivo) variando i valori delle celle dei β (celle variabili).

Lo strumento risolutore è uno strumento che per tentativi trova come massimizzare (minimizzare) o rendere nullo un valore al variare del valore di altre celle.

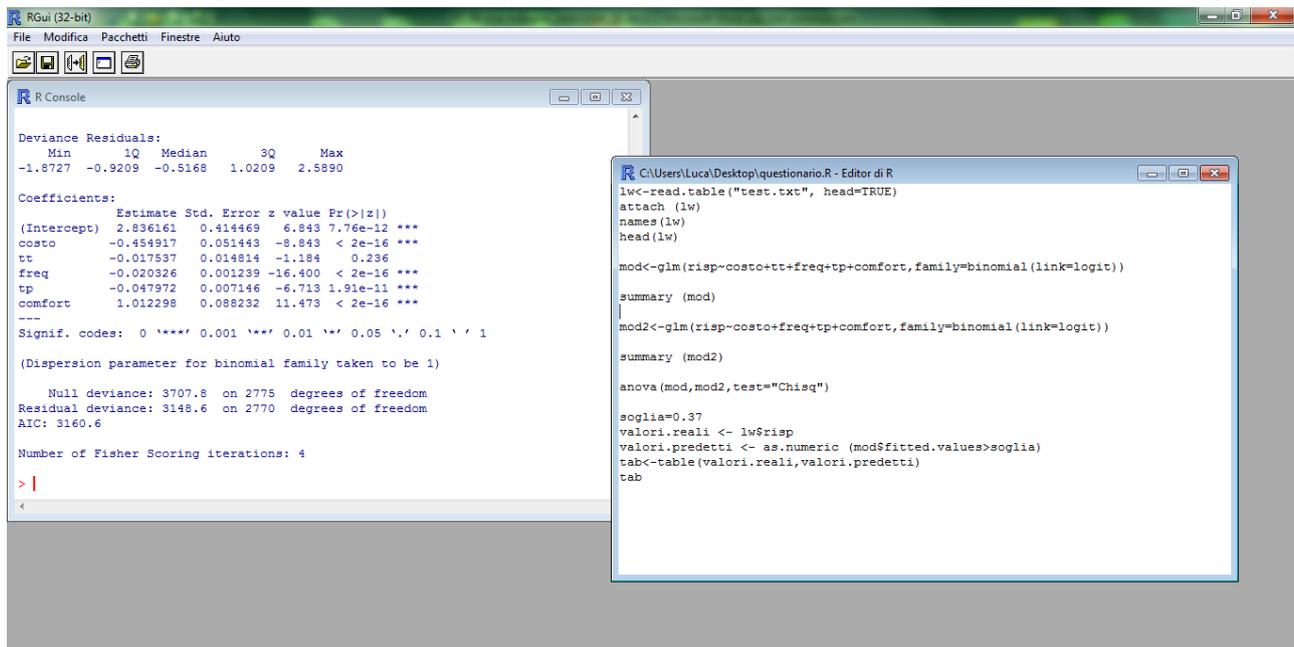
Il ricorso a tale strumento, tuttavia, non sempre riesce a trovare il valore migliore ricercato. Inoltre ha delle criticità nel risolvere il problema affidatogli nel caso in cui, condizione abbastanza frequente, nel foglio

siano presenti funzioni di tipo condizionale, come è riscontrabile sul sito di supporto al software di Microsoft [32].

11.2 Logit Binomiale (Agresti)

Nel caso in cui si facesse riferimento al Logit Binomiale di Agresti, è comunque opportuno utilizzare il metodo della Massima Verosimiglianza ricorrendo a strumenti differenti. Tra questi, il software R, [39], costituisce una valida possibilità. Esso è un ambiente di sviluppo specifico per l'analisi statistica, è un software libero, disponibile per diversi sistemi operativi. L'interfaccia funziona a righe di comando (Figura 11.2:1); non risulta, pertanto, d'immediata e semplice programmazione ma permette, essendo stato progettato intorno ad un vero linguaggio di programmazione, di aggiungere ulteriori funzionalità attraverso la definizione appunto di nuove funzioni.

R è una suite integrata di servizi software per la manipolazione dei dati, il calcolo e la visualizzazione grafica.



```
RGui (32-bit)
File Modifica Pacchetti Finestre Aiuto

R Console
Deviance Residuals:
  Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.8727 -0.9209 -0.5168  1.0209  2.5890

Coefficients:
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept)  2.836161    0.414469   6.843 7.76e-12 ***
costo        -0.454917    0.051443  -8.843 < 2e-16 ***
tt           -0.017537    0.014814  -1.184  0.236
freq         -0.020326    0.001239 -16.400 < 2e-16 ***
tp           -0.047972    0.007146  -6.713 1.91e-11 ***
comfort      1.012298    0.088232  11.473 < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)

Null deviance: 3707.8  on 2775  degrees of freedom
Residual deviance: 3148.6  on 2770  degrees of freedom
AIC: 3160.6

Number of Fisher Scoring iterations: 4

> |

R C:\Users\Luca\Desktop\questionario.R - Editor di R
lw<-read.table("test.txt", head=TRUE)
attach(lw)
names(lw)
head(lw)

mod<-glm(risp~costo+tt+freq+tp+comfort, family=binomial(link=logit))
summary(mod)

mod2<-glm(risp~costo+freq+tp+comfort, family=binomial(link=logit))
summary(mod2)

anova(mod,mod2, test="Chisq")

soglia=0.37
valori.reali <- lw$risp
valori.predetti <- as.numeric(mod$fitted.values>soglia)
tab<-table(valori.reali, valori.predetti)
tab
```

Figura 11.2:1 - Screenshot software R

Inizialmente viene richiamato, attraverso la riga di comando

```
lw <- read.table("test.txt", head = TRUE)
```

il file *test.txt*, preparato preventivamente (di cui, in Figura 11.2:2, uno stralcio), al cui interno sono elencate tutte le domande del questionario e tutte le risposte ottenute

id_gruppo	id_domanda	costo	tt	freq	tp	comfort risp
1	1	4.15	27	120	30	0
1	4	4.15	27	60	30	0
1	7	4.15	27	30	30	0
1	10	4.15	27	15	30	0
1	1	4.15	27	120	30	0
1	4	4.15	27	60	30	0
1	1	4.15	27	120	30	0
1	4	4.15	27	60	30	0
1	7	4.15	27	30	30	0
1	10	4.15	27	15	30	0
1	207	2	20	120	15	1
1	210	2	20	60	15	1
1	213	2	20	30	15	1
1	216	2	20	15	15	1
1	1	4.15	27	120	30	0
1	4	4.15	27	60	30	0
1	7	4.15	27	30	30	0
1	10	4.15	27	15	30	0
1	207	2	20	120	15	1
1	210	2	20	60	15	1
1	213	2	20	30	15	1
1	216	2	20	15	15	1
1	1	4.15	27	120	30	0
1	4	4.15	27	60	30	0
1	7	4.15	27	30	30	0
1	10	4.15	27	15	30	0
1	1	4.15	27	120	30	0
1	4	4.15	27	60	30	0
1	7	4.15	27	30	30	0
1	10	4.15	27	15	30	0
1	207	2	20	120	15	1
1	1	4.15	27	120	30	0
1	207	2	20	120	15	1
1	1	4.15	27	120	30	0
1	4	4.15	27	60	30	0

Figura 11.2:2 - File test.txt

Si può osservare che gli attributi riportati sono solamente quelli riguardanti il treno, in quanto il Logit Binomiale di Agresti propone la scelta o la non scelta dell'alternativa treno. La caratteristica comfort è stata tradotta in 1 nel caso di presenza di posti a sedere e 0 nel caso in cui non siano presenti posti.

Poiché le caratteristiche descritte sono quelle relative al treno, la scelta dell'alternativa treno è stata tradotta con 1, mentre 0 è il caso in cui la scelta fatta è di non prendere il treno.

All'interno della riga di comando è presente anche l'indicazione, tramite la dicitura *head = TRUE*, che la prima riga del file andrà a comporne l'intestazione.

Nella riga successiva di comando, l'indicazione *attach(lw)* dispone che tutti i comandi successivi specificati al software devono essere eseguiti per tutta la tabella *lw*.

Nelle due righe successive di comando, quindi, tramite le indicazioni *names(lw)* e *head(lw)*, si controlla se il software ha letto in modo corretto il file *test.txt*, dividendo gli attributi secondo una tabella.

Il comando successivo è il vero e proprio calcolo dei valori dei coefficienti:

```
mod <- glm(risp~costo + tt + freq + tp + comfort, family = binomial(link = logit))
```

Oltre a dividere tra attributi e risposta, il comando indica l'utilizzo del Logit Binomiale. Il calcolo viene eseguito tramite la funzione *glm*, che si riferisce ai *Generalized Linear Models*. Come riportato da Agresti in [1], i modelli lineari generalizzati estendono i modelli di regressione ordinaria per comprendere le distribuzioni di risposta nonnormali(cioè che non sono di tipo Gaussiano) e funzioni di modellizzazione della media. Tre componenti specificano un modello lineare generalizzato: un componente random che identifica la variabile di risposte Y e la sua distribuzione di probabilità; un componente sistematico che specifica le variabili esplicative usate nella funzione predittrice lineare; e una funzione collegamento che specifica la funzione di E(Y) che il modello pone uguale alla componente sistematica.

Per quanto riguarda il caso in esame, la risposta è una Bernoulli (automobile=0, treno=1) e dunque la funzione *link* è il *Logit* (detto parametro naturale della bernoulli e che solitamente viene scelto in questi casi). Tale modello è chiamato *regressione logistica*.

L'ultimo comando è quello che ricapitola i risultati:

```
summary(mod)
```

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(>|z|)	
(Intercept)	2.836161	0.414469	6.843	7.76E-12	***
costo	-0.45492	0.051443	-8.843	< 2.00E-16	***
tt	-0.01754	0.014814	-1.184	0.236	
freq	-0.02033	0.001239	-16.4	< 2.00E-16	***
tp	-0.04797	0.007146	-6.713	1.91E-11	***
comfort	1.012298	0.088232	11.473	< 2.00E-16	***

Tabella 11.2:1 - Risultati dal software R

Nella colonna evidenziata della Tabella 11.2:1, sono segnati i valori dei coefficienti β calcolati dal software per gli attributi segnati nella colonna precedente.

Per quanto riguarda *Intercept* (intercetta), esso è un termine noto da sommare all'interno dell'esponente, è l'equivalente del valore di q all'interno dell'equazione della retta $y = mx + q$.

Lo *standard error* è una sorta di varianza che viene normalizzata.

Lo *z value* è dato dal rapporto tra il valore stimato e lo standard error che verrà utilizzato per la colonna successiva.

Per quanto riguarda il valore di $Pr(>|z|)$, esso indica la probabilità che, nel caso in cui la distribuzione dei risultati fosse gaussiana e centrata sullo zero, il valore calcolato coincida con lo zero. Più il valore indicato è piccolo, più è probabile che il valore calcolato per i β sia verosimile.

L'ultima colonna della tabella si chiude con alcuni asterischi. Essi hanno il compito di dare l'idea di quanto il software riconosce come validi i coefficienti trovati. Il numero di asterischi varia da nessuno ad un massimo di tre, che descrive la situazione ottimale.

11.2.1 Validazione del modello

Per quanto riguarda la validazione del modello, cioè la verifica che la calibrazione abbia raggiunto un buon grado di descrizione della realtà, Cascetta, in [3], consiglia alcune operazioni.

La prima operazione è quella di un test informale riguardo le aspettative sui segni dei coefficienti calibrati e sui loro reciproci rapporti. Segni errati dei coefficienti indicano che molto probabilmente ci sono errori nella base dati utilizzata per il calcolo degli attributi, nei risultati dell'indagine o nella specificazione del modello.

Per quanto riguarda il test sulle aspettative rispetto al segno, poi richiamato alla fine di questo paragrafo, esso ha esito positivo, come è riscontrabile dalla Tabella 11.2:2, in quanto il segno di tutti i coefficienti riguardo attributi che comportano un costo per l'utente è negativo, mentre il segno dell'unico coefficiente che riguarda un attributo che è avvertito come una caratteristica positiva da parte dell'utente, è positivo.

Attributo	Valore
costo	-0.45492
tt	-0.01754
freq	-0.02033
tp	-0.04797
comfort	+1.012298

Tabella 11.2:2 - Segno dei coefficienti calibrati

Il secondo test informale riguarda il rapporto tra i coefficienti calibrati diversi. Un esempio può essere il rapporto tra i coefficienti del tempo e del costo monetario, il quale può essere interpretato come *valore del tempo* o *VOT* (Value Of Time). Questo valore può essere confrontato con i risultati di altre calibrazioni. I parametri di attributi corrispondenti a diverse aliquote del tempo di viaggio dovrebbero presentare valori assoluti crescenti in corrispondenza di componenti meno gradite all'utenza.

$$VOT = \frac{\beta_t}{\beta_\epsilon} \quad [€/h]$$

I coefficienti sono in quest'ordine in quando il modulo dei coefficienti è il reciproco di quello degli attributi a cui si riferiscono.

Cascetta fa riferimento ad un VOT , per il tempo a bordo, in linea con le indicazioni proposte dalla letteratura tecnica di circa 5€/h per quanto riguarda i lavoratori, e di 1.60 € per gli studenti universitari.

In Tabella 11.2:3 sono riportati i VOT calcolati per i tre tempi inseriti all'interno dell'indagine e i valori di riferimento riportati da Cascetta: tempo a bordo, tempo a piedi e frequenza. Quest'ultima potrebbe essere ricondotta ad una sorta di tempo d'attesa.

		Valore calcolato	Valore di riferimento (da Cascetta)
$VOT_{frequenza}$	$\frac{\beta_{frequenza}}{\beta_{costo}}$	2.68 €/h	(tempo di attesa) studente universitario: 7.75 €, lavoratore: 12.90 €
$VOT_{tempo\ a\ piedi}$	$\frac{\beta_{tempo\ a\ piedi}}{\beta_{costo}}$	6.33 €/h	studente universitario: 3.09 €, lavoratore: 8.88 €
$VOT_{tempo\ a\ bordo}$	$\frac{\beta_{tempo\ a\ bordo}}{\beta_{costo}}$	2.31 €/h	studente universitario: 1.60 €, lavoratore: 5.16 €

Tabella 11.2:3 - VOT per i vari tempi presenti nell'indagine

Si può osservare come i valori calcolati siano in linea con quelli riportati da Cascetta: assumono, infatti, dei valori compresi tra il VOT relativo allo studente universitario e il VOT relativo al lavoratore. L'eccezione è la relazione tra il VOT inerente alla frequenza e quello inerente al tempo di attesa. Probabilmente l'ipotesi fatta precedentemente rispetto al possibile parallelismo tra tempo di attesa e frequenza non è verificata. Infatti, se si pensa che l'andamento dell'arrivo degli utenti alla stazione di un mezzo di trasporto collettivo sia del tipo riportato nel Grafico 1.1:1, e quindi con un andamento fortemente non lineare, si può concludere che il rapporto tra questi due tempi (tempo di attesa e frequenza) non sia lineare.

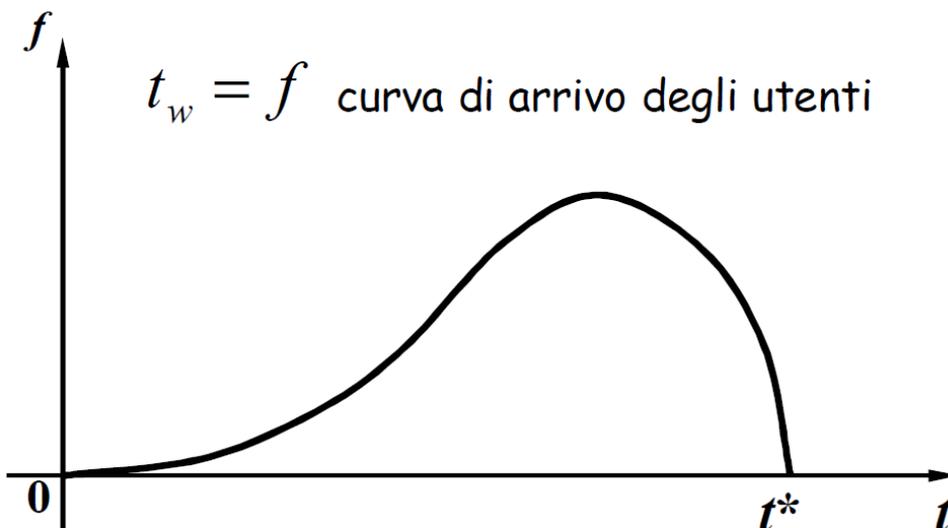


Grafico 11.2:1 - Curva di arrivo degli utenti

Cascetta, poi, riporta, inoltre dei test formali per campioni sufficientemente numerosi, come il *test t-Student su singoli coefficienti*, il *test chi-quadro su vettori di coefficienti* e il *test sulla forma funzionale del modello*. Però, come già affrontato nel paragrafo 10.1.1, il campione non risulta essere sufficientemente numeroso e quindi sarebbe poco produttivo eseguire i test riportati dall'autore.

11.2.2 Osservazioni

Le osservazioni che possono essere fatte riguardo ai dati calcolati tramite il software R sono le seguenti:

- i valori β calcolati dal software sono, almeno per quanto riguarda il segno, coerenti con quello che ci si aspettava. Infatti hanno segno negativo i coefficienti degli attributi che sono percepiti come un costo (costo, tempo a bordo, tempo a piedi, frequenza) per l'utente, hanno segno positivo gli attributi restanti (comfort). Nel caso in cui l'attributo che descrive il comfort fosse stato concepito con valori opposti a quelli pensati, cioè un valore 0 nel caso in cui ci fossero dei posti a sedere, 1, invece, per il caso opposto, anche il valore di questo coefficiente sarebbe stato negativo;
- osservando i valori dello standard error calcolati, si può capire come variano i valori calcolati di ogni singola risposta rispetto alla media. Questo potrebbe significare che, più questo valore è basso, più i risultati trovati per ogni singola risposta si trovino in linea con il risultato finale. Quindi si potrebbe pensare che più è basso il valore dello standard error, più l'utente si comporta in modo simile a tutti gli altri utenti. Partendo da questa considerazione, si potrebbe supporre che per la frequenza (standard error pari a 0.001) l'utente si comporti in modo più o meno prevedibile, cosa che invece non accade per quanto riguarda il comfort (cioè la presenza o meno di posti a sedere) con uno standard error pari a 0.08. Questo potrebbe dipendere dal fatto che i risponditori sono del tipo più disparato: lo studente, avendo una disponibilità economica minore, e quindi disposto a scendere a maggiori compromessi, non darà molta importanza alla disponibilità di posti a sedere; mentre un lavoratore, che dispone di una maggiore disponibilità economica, sarà più esigente;
- avere uno standard error alto per l'intercetta, potrebbe indicare che la soglia data da questa intercetta non si adatti perfettamente ad ogni situazione, ma vari di molto da caso a caso;
- un valore così alto per quanto riguarda il $Pr(>|z|)$ dell'attributo tempo a bordo vuol significare che il coefficiente non è in grado di rappresentare nel modo migliore la realtà dei dati raccolti. Anche questo può essere un motivo per il quale il VOT relativo al tempo a bordo non si avvicina ai valori suggeriti da Cascetta.

11.2.3 Rappresentazione del modello

Una volta calcolati i coefficienti relativi al modello, è possibile rappresentare la probabilità di scelta dell'alternativa treno al variare degli attributi tramite il seguente modello:

$$p = \frac{e^{-0.45492 \cdot c - 0.01754 \cdot t_t - 0.04797 \cdot t_p + 1.012298 \cdot cf - 0.02033 \cdot f + 2.836161}}{1 + e^{-0.45492 \cdot c - 0.01754 \cdot t_t - 0.04797 \cdot t_p + 1.012298 \cdot cf - 0.02033 \cdot f + 2.836161}}$$

dove c indica l'attributo costo, t_t l'attributo tempo a bordo, t_p il tempo a piedi, cf il comfort e f la frequenza.

Verrà, quindi, riportata tramite grafici la probabilità di scelta dell'alternativa treno al variare di un singolo attributo, tenendo fissi gli altri quattro. Per questa rappresentazione si è deciso di utilizzare i valori medi degli attributi fissi, o, se possibile, valori coincidenti con quelli presenti già nella realtà dell'esempio della linea Como-Lecco:

- costo: 2.75 €;
- frequenza: 120 min;
- tempo a piedi: 20 min;
- tempo a bordo: 27 min;
- comfort: 1 (posti a sedere liberi).

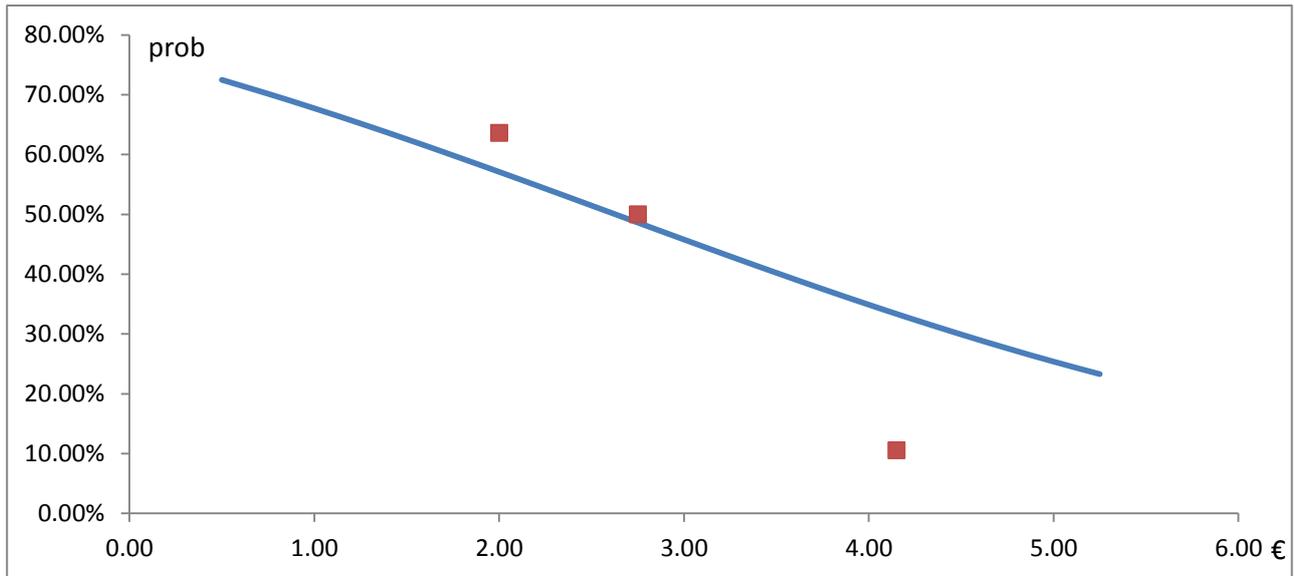


Grafico 11.2:2 - Variazione dell'attributo costo

Nel Grafico 11.2:2, dove tutti gli attributi sono fissi tranne il costo che varia (tratto blu), è possibile osservare come i risultati osservati si discostino sensibilmente per quanto riguarda i valori periferici rispetto ai risultati raccolti con il questionario, in modo particolare la probabilità di scelta legata alla situazione che prevede il pagamento di un biglietto ferroviario pari a 4.15 €, mentre il valore reale di 2.75 € si avvicina di molto alla modellizzazione fatta.

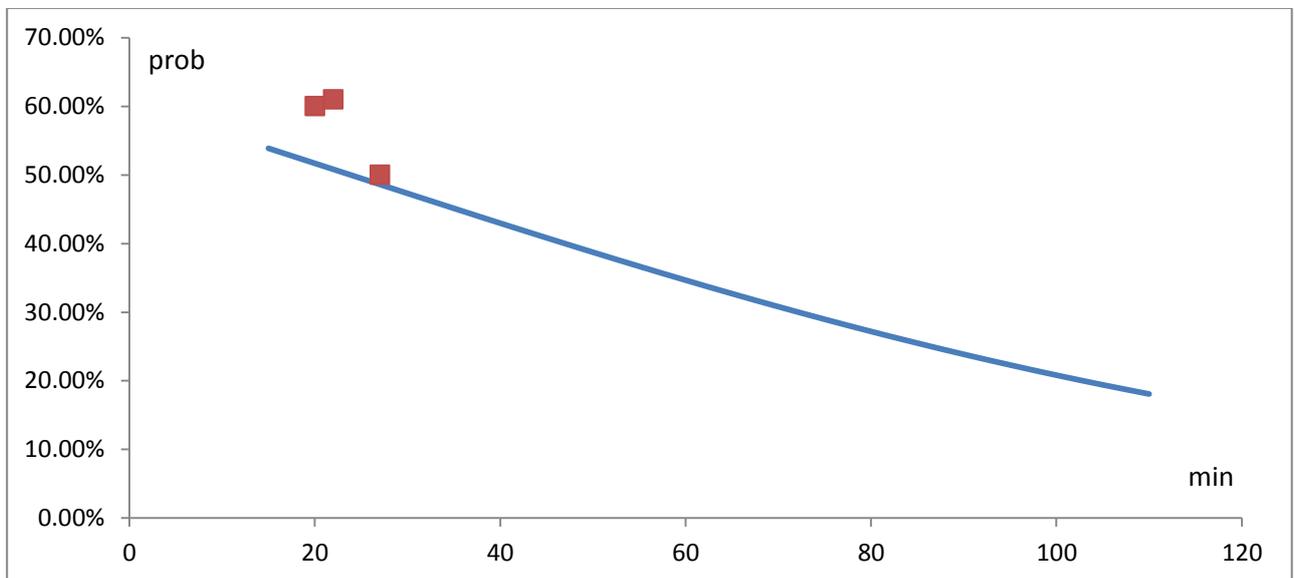


Grafico 11.2:3 - Variazione dell'attributo tempo a bordo

Anche nel caso del Grafico 11.2:3 solo uno dei tre valori raccolti si avvicina al valore calcolato dal modello, quello relativo al tempo a bordo di 27 min. Si può osservare, comunque, come in questo caso le probabilità riferite al tempo a bordo di 22 min e di 20 min siano in controtendenza rispetto al comune pensare. Questo discostamento tra la realtà "osservata" e modellizzata, per quanto riguarda l'attributo tempo a bordo è perfettamente in linea con le osservazioni fatte nel paragrafo 11.2.2.

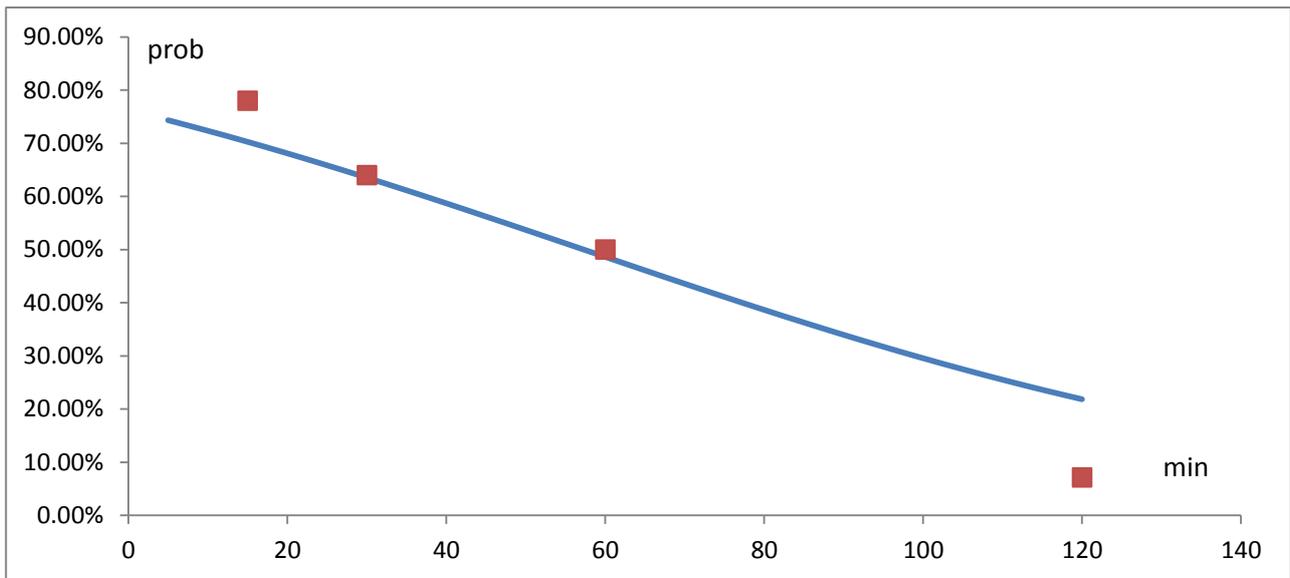


Grafico 11.2:4 - Variazione dell'attributo frequenza

In questo caso (Grafico 11.2:4) il modello sembra meglio descrivere i dati che sono stati raccolti per la calibrazione. Infatti, a parte il caso della frequenza a 120 min, per il quale c'è un discostamento di più del 10%, i dati riferiti a 15 min, 30 min e 60 min sono nei pressi della linea disegnata dal modello.

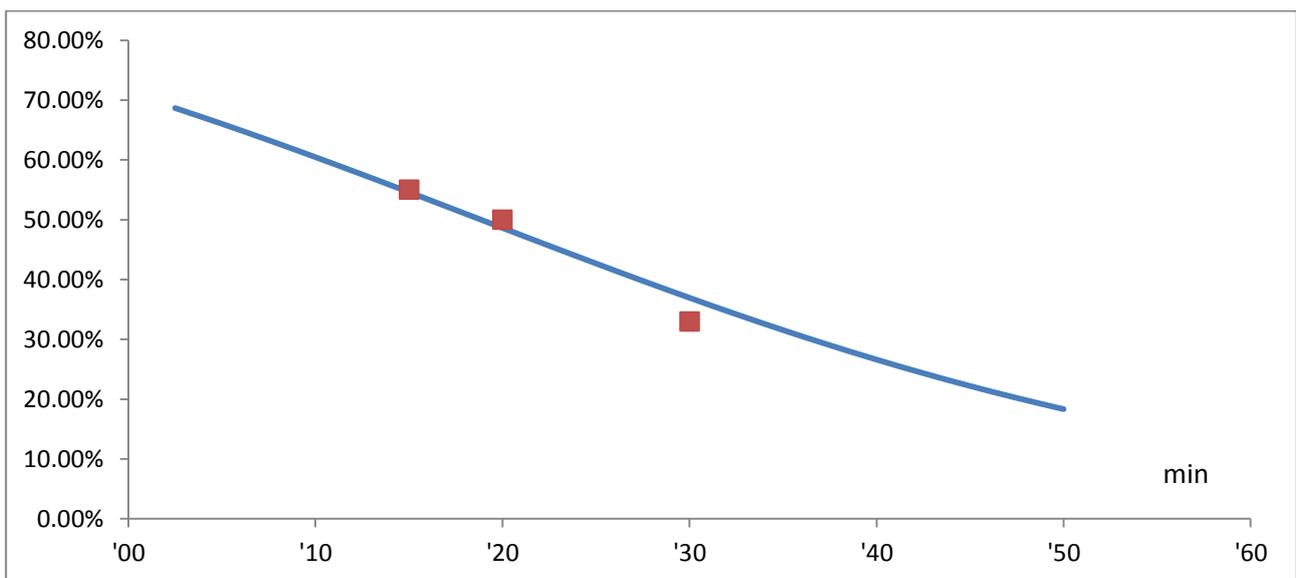


Grafico 11.2:5 - Variazione dell'attributo tempo a piedi

Anche in questo caso (Grafico 11.2:5) il modello si avvicina di molto ai dati che sono stati raccolti.

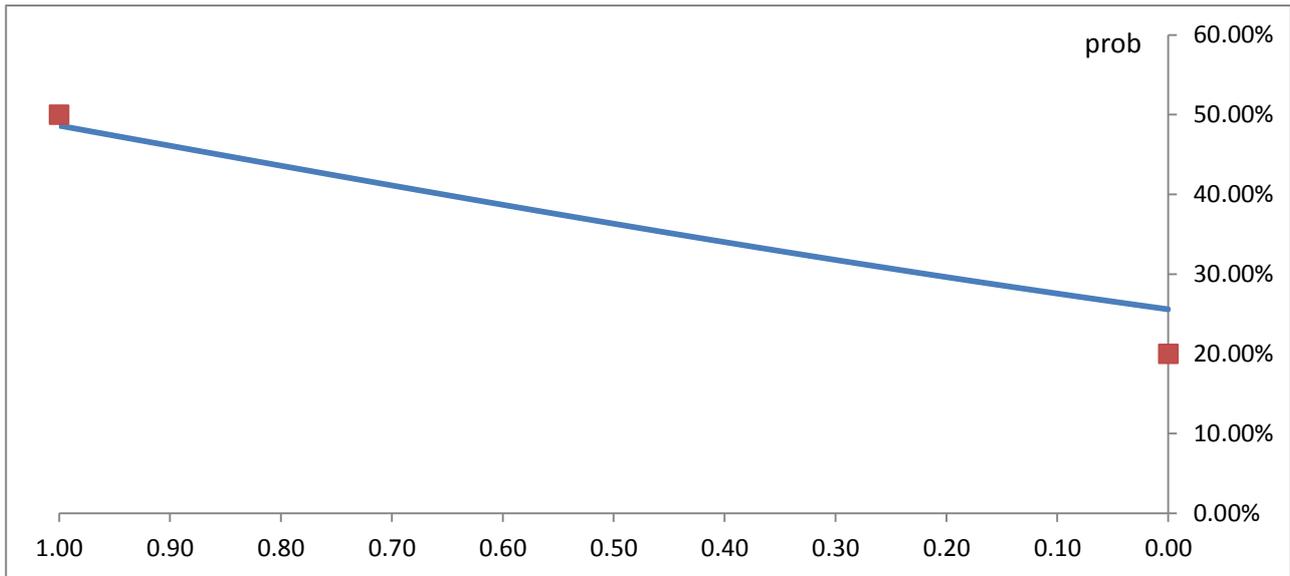


Grafico 11.2:6 - Variazione dell'attributo comfort

Infine in quest'ultimo caso i valori raccolti non si discostano di molto da come il modello rappresenta il comportamento di scelta degli utenti (Grafico 11.2:6). Il grafico è stato rappresentato con l'asse delle ascisse invertito in modo tale da mostrare lo stesso trend della funzione (decrescente).

12 Conclusione

12.1 La normalizzazione

Completate queste operazioni, è possibile ordinare i valori degli attributi studiati a partire dal valore dei loro coefficienti. È possibile procedere in questa attività con una certa sicurezza in quanto il modello è stato validato tramite test informali ed inoltre, tramite casi specifici, si è confrontata la sua congruenza con i dati raccolti.

Attributo	Valore
costo	-0.45492
tt	-0.01754
freq	-0.02033
tp	-0.04797
comfort	+1.012298

Tabella 12.1:1 - Coefficienti degli attributi

Per poter classificare gli attributi, è necessario considerare i valori assoluti dei loro coefficienti. Ci si può chiedere a questo punto se coefficienti positivi e negativi abbiano lo stesso valore. Una seconda operazione di calcolo dei coefficienti mediante R, per la quale il comfort è stato descritto contrariamente a quanto fatto in precedenza come attributo negativo, cioè valore 0 nel caso di cui ci siano posti a sedere e 1 nel caso opposto, ha illustrato che il valore del coefficiente comfort cambia solo il segno, senza cambiare valore, così come i valori stimati degli altri coefficienti non variano. L'unico valore che cambia è il valore dell'intercetta.

Dalle elaborazioni sinora condotte, quindi, si può dedurre che, in linea generale, l'attributo maggiormente percepito come impattante sia il comfort, in quanto il suo coefficiente è di valore di poco superiore all'unità. Sorgono, tuttavia, dei dubbi sul fatto che questo attributo sia effettivamente significativo. Infatti, se si osserva il grafico riguardante la sua variazione (Grafico 12.1:1), esso appare molto appiattito: la probabilità di scelta passa dal 25% per nessun posto a sedere al 50% per il treno completamente vuoto.

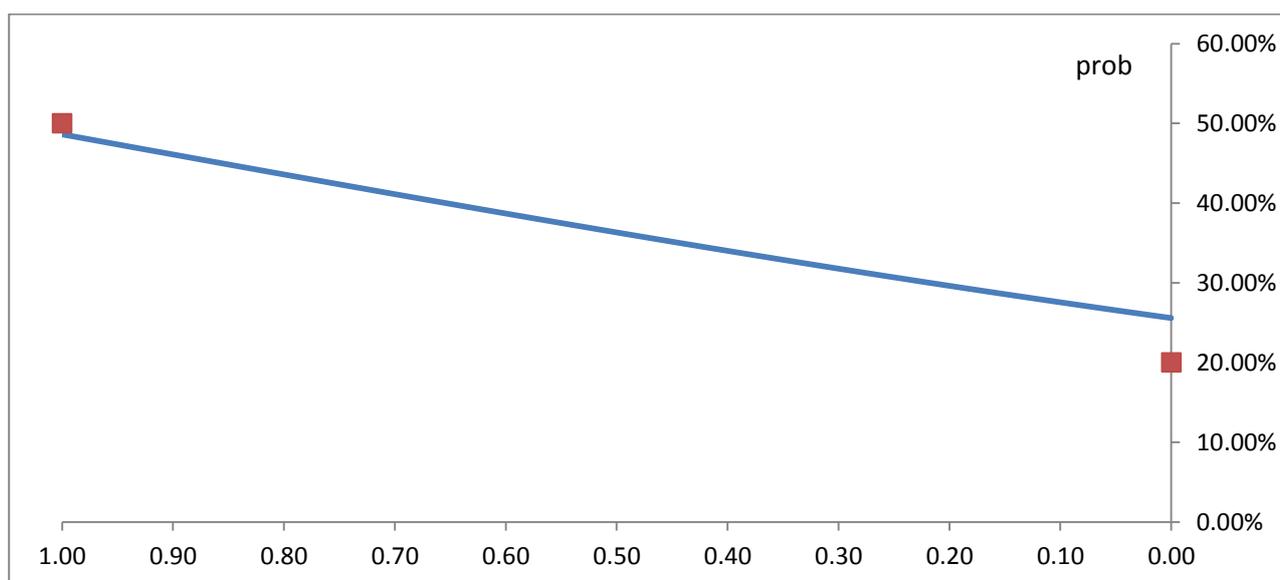


Grafico 12.1:1 - Variazione dell'attributo comfort

Se invece si esamina il grafico, ad esempio, della frequenza (Grafico 12.1:2), si può osservare che tra gli estremi la variazione sia molto più ampia: si va, infatti, da circa il 20% di probabilità di scelta registrato per

Conclusione

una frequenza di 120 *min*, ad una probabilità di circa il 70% per una frequenza di 15 *min*. Con una variazione di probabilità di circa il doppio (50%) rispetto a quella che si ha per il comfort (25%).

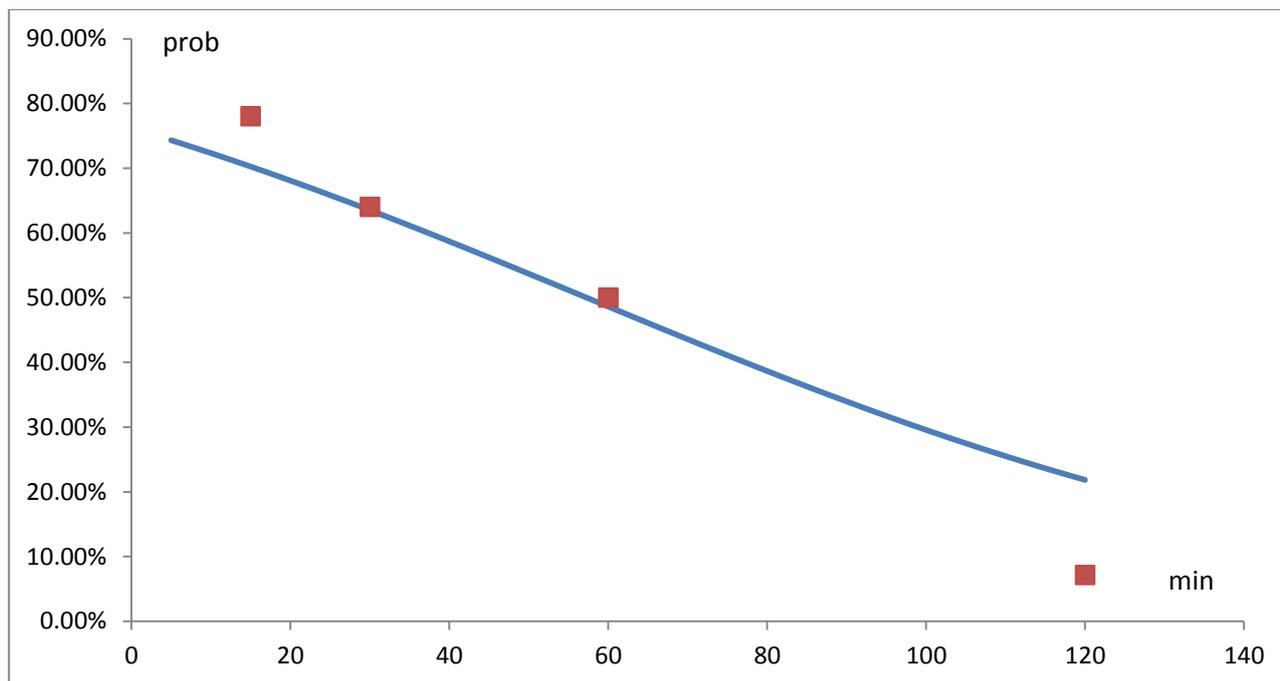


Grafico 12.1:2 - Variazione dell'attributo frequenza

Questo è dovuto al fatto che alcuni coefficienti hanno le unità di misura differenti tra loro (Tabella 12.1:2), e quindi non confrontabili. Inoltre, elemento ancor più rilevante, l'intervallo in cui agiscono (inteso come estensione tra i valori estremi che possono assumere gli attributi) è completamente differente da attributo ad attributo. Si prendano come esempio gli attributi frequenza e tempo a bordo, caratterizzati dalla stessa unità di misura. L'intervallo di operazione del livello di frequenza varia da 15 *min* a 120 *min*, per una gap di 105 *min*; l'intervallo in cui opera, invece, il tempo a bordo è ben minore, circa 7 *min*, variando tra 20 *min* e 27 *min*. Questo significa che sarà necessario trovare una sorta di normalizzazione di questi coefficienti, in modo tale che possano essere resi confrontabili.

Attributo	Unità di misura del coefficiente
Costo	[1/€]
Frequenza	[1/ <i>min</i>]
Tempo a piedi	[1/ <i>min</i>]
Tempo a bordo	[1/ <i>min</i>]
Comfort	—

Tabella 12.1:2 - Moduli dei coefficienti

È possibile fare una sorta di normalizzazione utilizzando i livelli estremi degli attributi come estremi del processo di normalizzazione, in quanto si è già discusso nel paragrafo 7.1.1, riguardante i livelli degli attributi, che i valori massimi e minimi dei livelli imposti agli attributi sono i più ragionevoli, oltre i quali non è utile andare. Si pone, quindi, un limite di ragionevolezza ipotizzando un andamento lineare del livello dell'attributo.

In Tabella 12.1:3 sono proposte delle normalizzazioni per i livelli degli attributi.

Attributo	Livello	Normalizzazione
Costo	4.15 €	1
	2.75 €	0.35
	2.00 €	0
Frequenza	120 min	1
	60 min	0.43
	30 min	0.14
	15 min	0
Tempo a piedi	30 min	1
	20 min	0.33
	15 min	0
Tempo a bordo	27 min	1
	22 min	0.29
	20 min	0
Comfort	<i>in piedi</i>	0
	<i>seduto</i>	1

Tabella 12.1:3 - Normalizzazione dei livelli degli attributi

La normalizzazione eseguita per un generico livello l è stata calcolata secondo la seguente formula, che riprende le affermazioni fatte precedentemente riguardo gli estremi dell'intervallo e la linearità della variazione dei livelli degli attributi.

$$\frac{l - l_{\min}}{l_{\max} - l_{\min}}$$

In questo caso agli attributi è stato dato lo stesso trend che hanno nella situazione normalizzata: valore unitario nel caso di livello alto, valore nullo nel caso del livello minimo. Ci si aspetta quindi che i segni dei coefficienti siano uguali a quelli dei precedenti calcoli riportati dal paragrafo 11.2. In questo modo il valore del coefficiente normalizzato rispecchia come viene percepito dall'utente quel determinato costo: maggiore è il valore, maggiormente è percepito negativamente dall'utente.

Il software R, in questo caso, restituisce i seguenti valori dei coefficienti, evidenziati in Tabella 12.1:4.

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(>|z|)	
(Intercept)	0.55112	0.10808	5.099	3.41E-07	***
costo	-0.97807	0.1106	8.843	< 2.00E-16	***
tt	-0.12276	0.1037	1.184	0.236	
freq	-2.13425	0.13014	16.4	< 2.00E-16	***
tp	-0.71958	0.10719	6.713	1.91E-11	***
comfort	1.0123	0.08823	11.473	< 2.00E-16	***

Tabella 12.1:4 - Risultati dei coefficienti secondo la normalizzazione effettuata

Confrontando questi risultati con i precedenti del paragrafo 11.2, è possibile notare che il grado di accuratezza del calcolo non è variato, se non per quanto riguarda l'intercetta. Sono invece cambiati i valori di standard error. Questo risultato si poteva aspettare in quanto è cambiato l'intervallo dei valori dei livelli di ogni attributo.

Il metodo

Conclusione

È possibile, come precedentemente fatto, rappresentare i risultati del modello tramite grafici, che si riportano nel seguito. Per ognuno solo un singolo attributo varia mentre tutti gli altri sono fissi. In questo caso i valori degli attributi che non variano vengono assunti pari a 0.5.

Naturalmente il grafico relativo al comfort avrà lo stesso andamento del grafico precedente, in quanto l'intervallo a cui si fa riferimento è il medesimo e variano solo i valori degli attributi fissi.

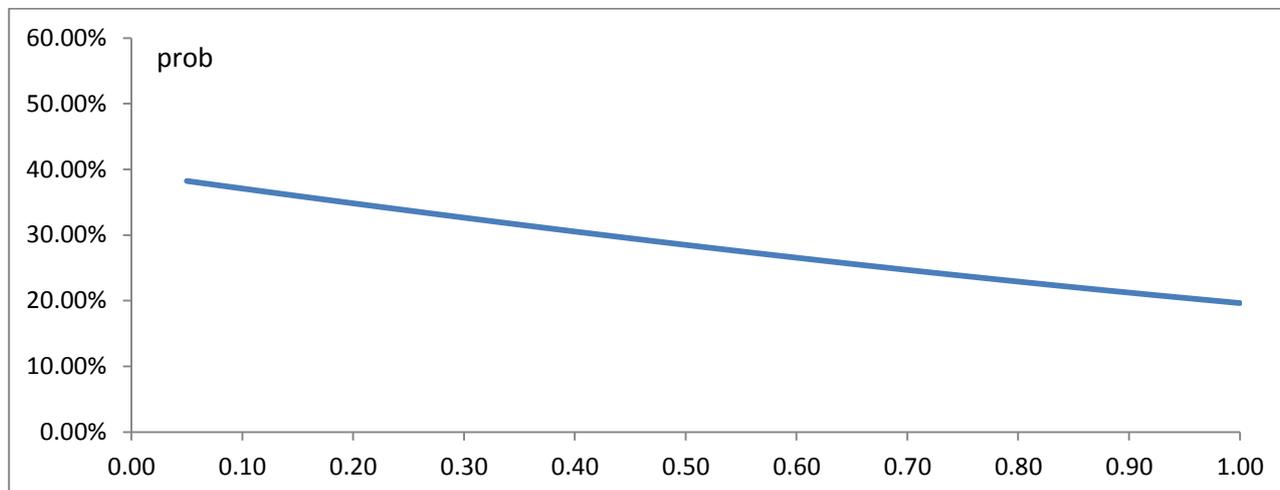


Grafico 12.1:3 - Variazione dell'attributo costo

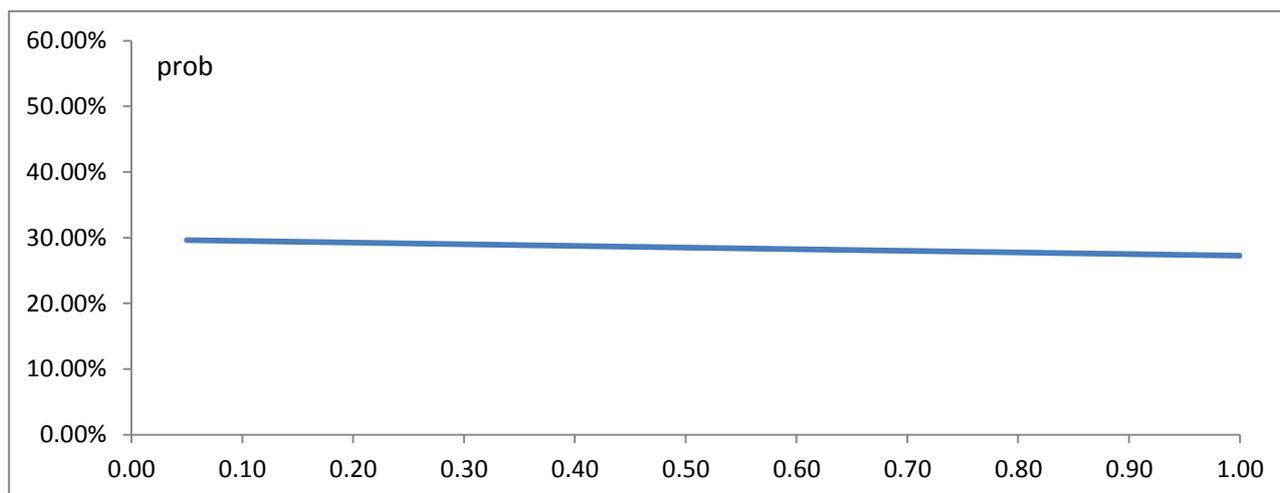


Grafico 12.1:4 - Variazione dell'attributo tempo a bordo

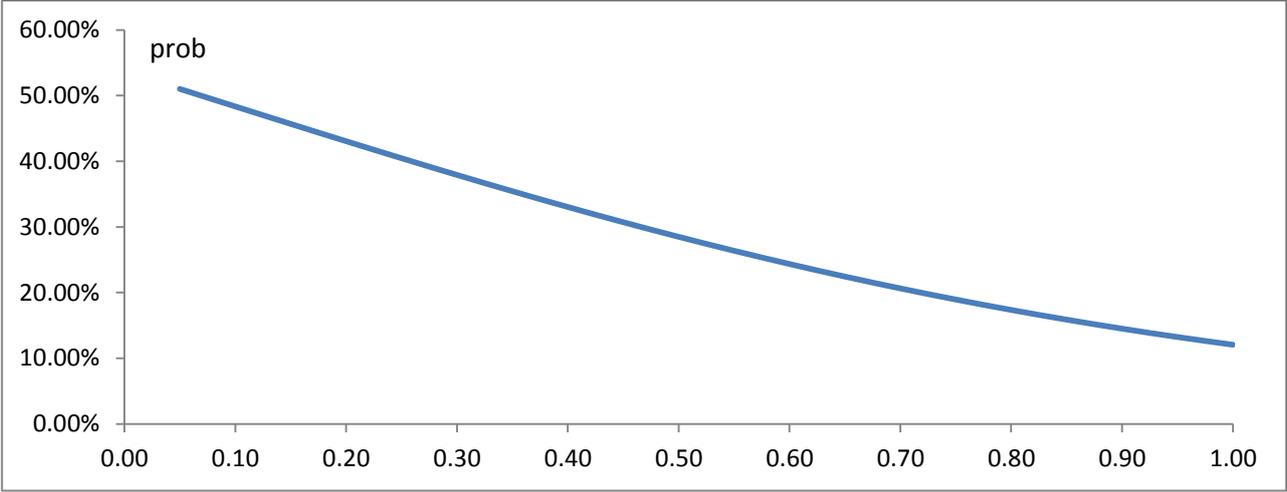


Grafico 12.1:5 - Variazione dell'attributo frequenza

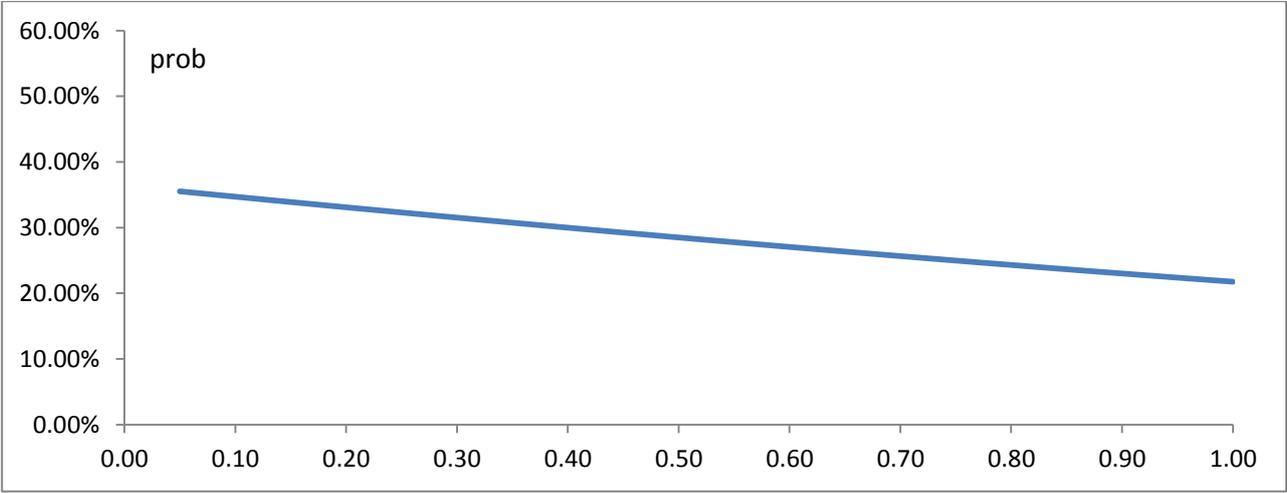


Grafico 12.1:6 - Variazione dell'attributo tempo a piedi

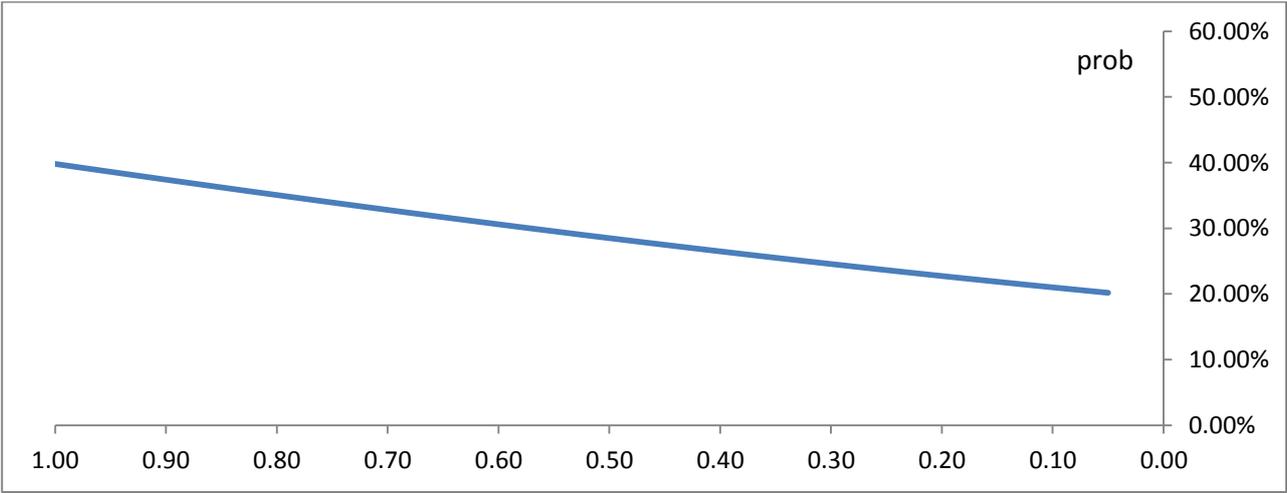


Grafico 12.1:7 - Variazione dell'attributo comfort

12.2 Analisi critica dei risultati emersi

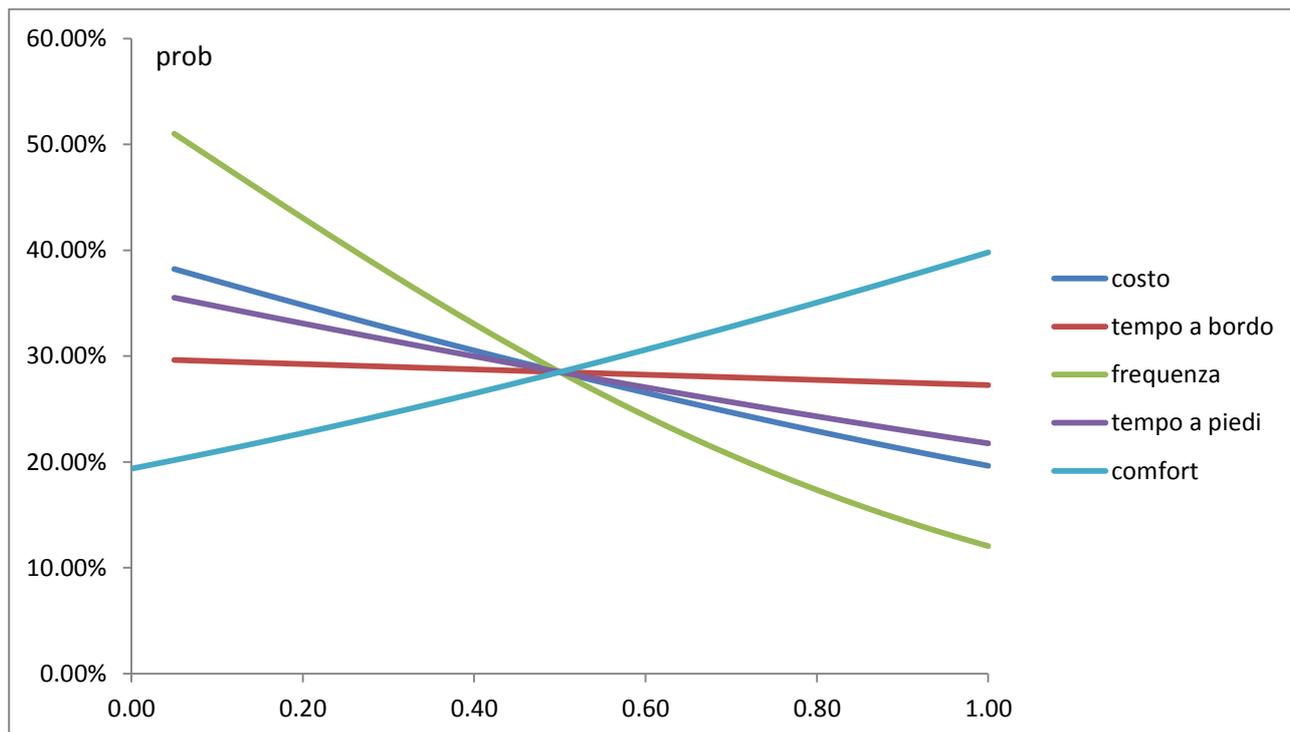


Grafico 12.2:1 - Variazione di tutti gli attributi

Giunti a questo punto è ora possibile classificare gli attributi secondo il loro peso, (Tabella 12.1:4) il quale permette di tradurre la “rilevanza percepita” da parte dei soggetti intervistati. Naturalmente questo si riferisce a un caso generale. Varrà la pena, per ogni caso specifico a cui verrà applicato questo metodo, fare delle osservazioni particolari. È altresì importante sottolineare che il risultato generale ottenuto può essere comunque un’indicazione preliminare valida per ogni tipo di linea che si voglia analizzare per migliorarne il servizio.

In Tabella 12.2:1 si riportano unicamente gli attributi riclassificati in ordine d’importanza, secondo il valore assoluto del coefficiente β calcolato attraverso il software R.

frequenza	-2.13425
comfort	1.0123
costo	-0.97807
tempo a piedi	-0.71958
tempo a bordo	-0.12276

Tabella 12.2:1 - Classifica degli attributi

Le limitazioni riguardanti questa classificazione si devono agli intervalli di normalizzazione scelti. Un loro eventuale cambiamento potrebbe variare le gerarchie all’interno di questa classificazione. Nonostante ciò si crede che i limiti scelti siano ragionevoli in quanto calibrati su un caso sufficientemente considerabile come rappresentativo (vedi paragrafo 7.1.1) e non necessitino di una ulteriore modifica, se il caso esaminato riguarda uno spostamento casa-lavoro o casa-scuola all’interno di 20-25 km.

Un’altra limitazione riguarda il fatto che il campione degli intervistati non sia completamente rappresentativo dell’universo. Infatti gli strumenti utilizzati per la diffusione del questionario, soprattutto l’uso dei social network, non sono fruibili da parte di tutti, per età, per ceto sociale, per cultura.

Dalla Tabella 12.2:1 si evince che l'attributo percepito più importante da parte degli utenti è la frequenza, la quale ha un'importanza pari a più del doppio del secondo attributo per importanza, il comfort, e addirittura vale 20 volte l'attributo tempo a bordo.

A pari livello del comfort si trova l'attributo costo, che, comunque, assume una certa importanza, così come il quarto attributo, il tempo a piedi. Molto distaccato, invece, si trova l'attributo del tempo a bordo. Quest'ultimo risultato può sembrare inaspettato. Infatti il tempo a bordo occupa, a seconda dei casi, più o meno la metà di tutto il tempo dello spostamento. Nonostante ciò ha un valore di molto inferiore rispetto al tempo necessario per lo spostamento a piedi. Questo significa che il tempo a piedi viene percepito molto più come perdita di tempo rispetto a quello speso a bordo del treno. Questa affermazione è in linea con quanto già precedentemente riportato riguardo ai valori di *VOT*. Infatti essi hanno valori diversi a seconda che il tempo sia utilizzato per raggiungere la stazione a piedi oppure per viaggiare sul mezzo di trasporto. Si può inoltre dedurre che gli utenti siano più propensi a viaggiare per un tempo più lungo, ma seduti, piuttosto che viaggiare più velocemente, ma restando in piedi.

Per avere un'idea dei reciproci rapporti che ci sono tra i vari attributi, è utile visionare il Grafico 12.2:2, in cui è ancora più evidente il distacco tra la frequenza e gli altri attributi e tra l'ultimo di questi, il tempo a bordo, e tutti gli altri.

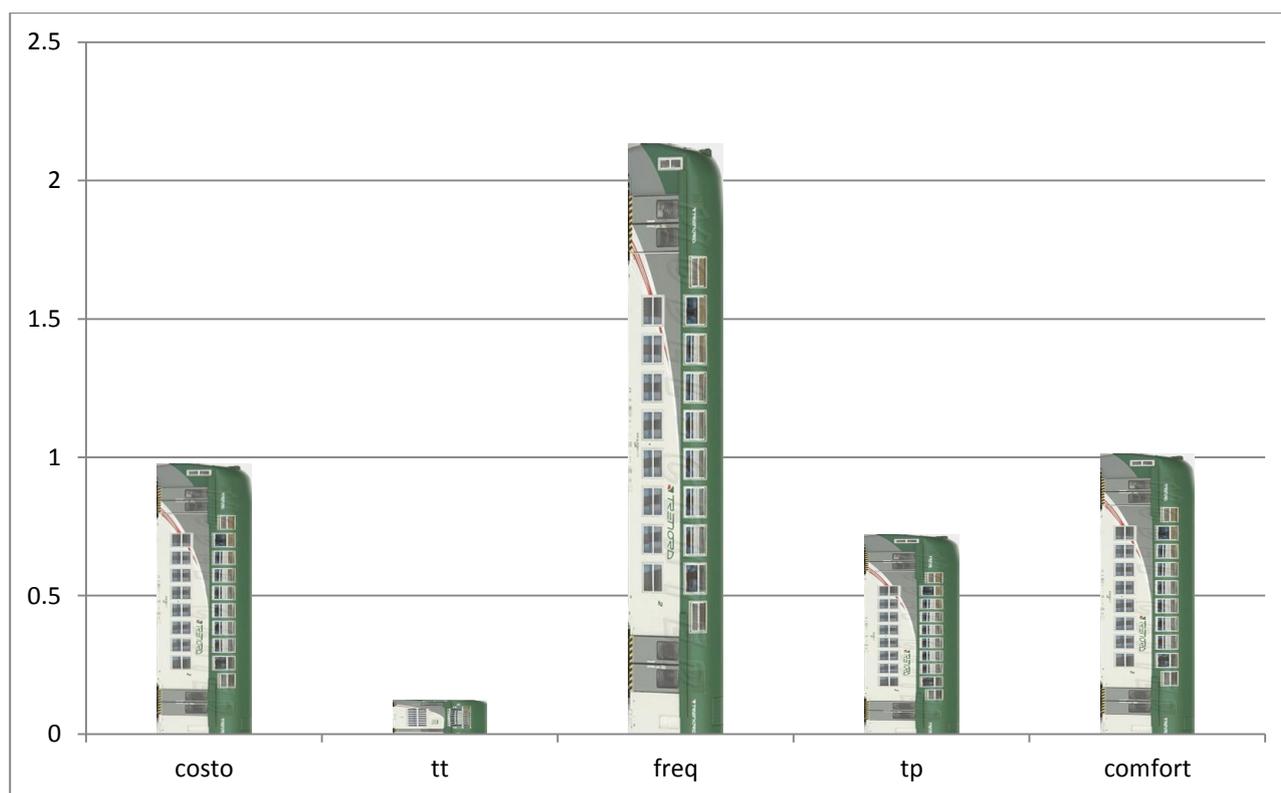


Grafico 12.2:2 - Variazione tra i valori degli attributi

Questa classificazione potrà essere utile strumento per aiutare il decisore politico nella scelta delle modifiche necessarie da apportare al servizio ferroviario affinché si possa realizzare una variazione il più possibile soddisfacente riguardo alla ripartizione modale verso l'uso del sistema ferroviario.

Naturalmente questi risultati devono essere opportunamente adattati alla realtà della linea ferroviaria di cui si vuole modificare il servizio e tenere conto delle risorse a disposizione per la modifica. Una volta deciso quale sia o quali siano gli attributi da variare in un caso specifico, si suggerisce di controllare

Il metodo

Conclusione

attraverso il modello Logit Binomiale, coi coefficienti calcolati nel paragrafo 11.2, la percentuale di scelta dell'alternativa treno, in modo da poter vagliare e valutare la variazione numerica di utenza che passerebbe dall'automobile al treno.

Parte tre: Applicazione

In quest'ultima parte si applicherà la gerarchia calcolata nella parte precedente, "Metodo", a un caso reale: la linea ferroviaria Como-Lecco.

Capitolo 13, Introduzione:	viene descritta la linea ferroviaria Como-Lecco, con una breve presentazione storica del processo che ha condotto alla sua realizzazione;
Capitolo 14, La linea Como-Lecco: l'infrastruttura:	in questo capitolo viene presentata la linea dal punto infrastrutturale, Quale sia il percorso della linea e quali siano le sue fermate. Al termine del capitolo sono presentati gli sviluppi infrastrutturali futuri della linea;
Capitolo 15, La linea Como-Lecco: l'esercizio ferroviario:	il capitolo descrive il servizio offerto all'utenza sulla linea Como-Lecco. Anche in questo caso il capitolo si chiude presentando possibili sviluppi futuri dell'esercizio ferroviario della linea;
Capitolo 16, La linea Como-Lecco: il bacino degli utenti:	in questo quarto capitolo ci si concentra sul bacino degli utenti che potenzialmente serviti dalla linea Como-Lecco. In particolare si suddivide l'utenza in utenza prossima e utenza di bacino, a seconda della distanza che separa il potenziale utilizzatore della linea dalla stazione più prossima;
Capitolo 17, La linea Como-Lecco: applicazione:	l'ultimo capitolo si occupa di applicare in modo critico il metodo sviluppato nella parte precedente alla linea Como-Lecco.

13 Introduzione

Per questo primo capitolo è stata ripresa la Tesi di Molteni Loris, dal titolo “*La metrotranvia di Como - Analisi tecniche delle linee metrotranviarie*”, i cui riferimenti bibliografici sono [2] [8], [29], [30], e [25].

La linea Como-Lecco, secondo la classificazione Trenord, direttrice 10, come è riportato da [40], è una linea ferroviaria della Lombardia di tipo complementare, ossia una linea con minori livelli di densità di traffico, che costituisce la maglia di collegamento nell’ambito dei bacini regionali e connette fittamente tra loro le direttrici principali. Linea non elettrificata e a singolo binario, si trova nel nord della Lombardia e collega i due capoluoghi di provincia. Unico tratto elettrificato è quello che va da Albate Camerlata a Como San Giovanni.

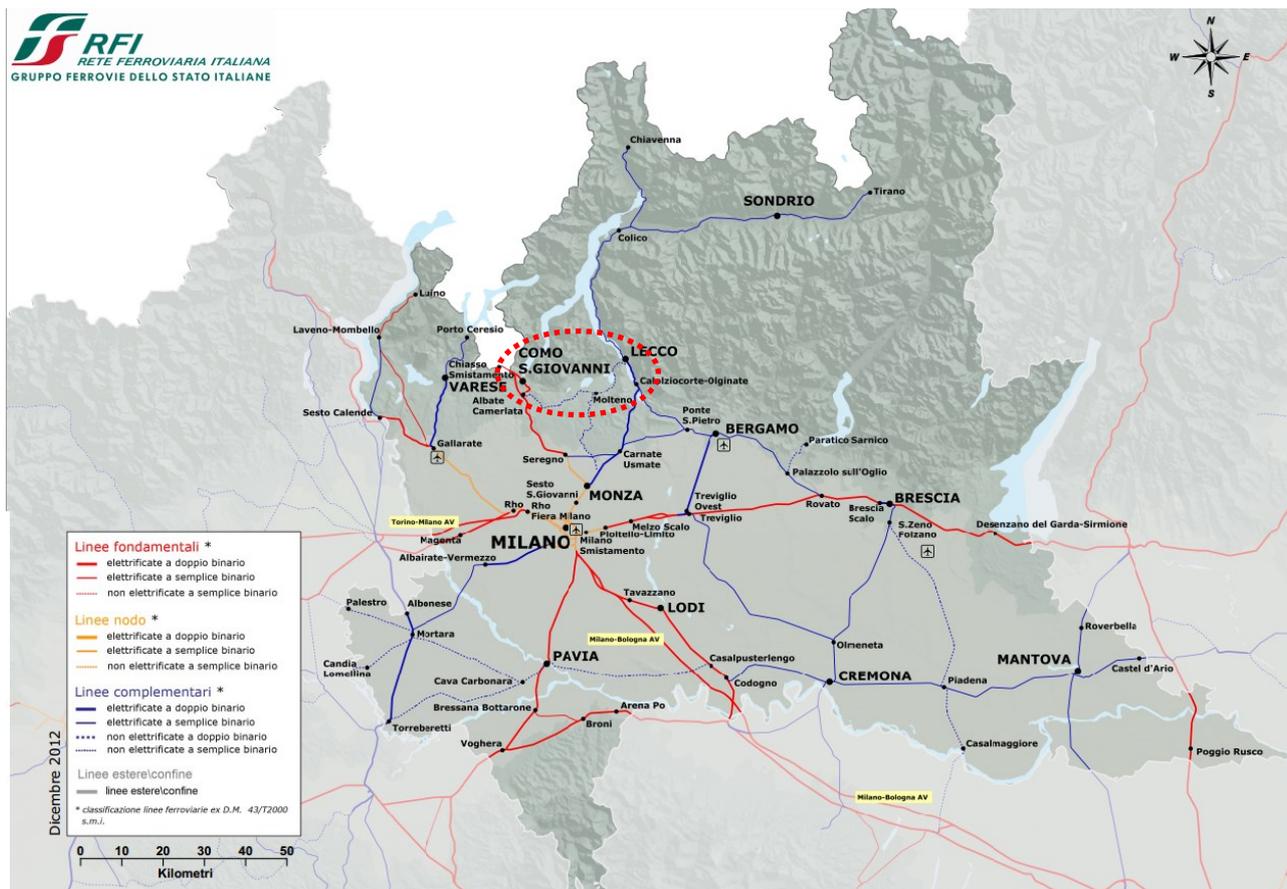


Figura 12.2:1 - Rete ferroviaria lombarda [40]; indicazione della posizione della Como-Lecco

13.1 Linea ferroviaria Lecco-Cantù-Como

Il continuo progresso economico e la necessità di attuare un collegamento est – ovest nella zona pedemontana lombarda, generò l’idea della opportunità di una nuova ferrovia che collegasse direttamente le due città poste alle estremità meridionale dei due rami del Lario: Como e Lecco. Nel 1873 cominciò il dibattito per la scelta del tracciato della linea Como-Lecco, dibattito che si protrasse per molti anni.

Nel 1878 stava per essere presentato alla Camera dei Deputati un progetto di legge per la costruzione di “nuove linee di completamento della rete ferroviaria del Regno”. Attraverso l’intervento diretto del governo si sarebbe tentato, come scritto in [8], di “risolvere la questione ferroviaria d’Italia senza propendere a questa o quella regione, ed a predisporre quasi un piano regolatore entro il quale si sarebbe svolta l’azione dello Stato, delle Province e dei Comuni per le nuove costruzioni ferroviarie”. L’azione congiunta di Camera di Commercio, di Comune e di Provincia di Como, riuscì a far inserire nel progetto di legge il tronco ferroviario Como – Lecco, la cui costruzione sarebbe stata interamente finanziata dallo Stato.

Riconosciuta come linea d'interesse non esclusivamente locale ma importante per le comunicazioni inter-provinciali, come linea di raccordo dell'arteria del Gottardo, il 29 luglio 1879 fu approvata la sua costruzione.

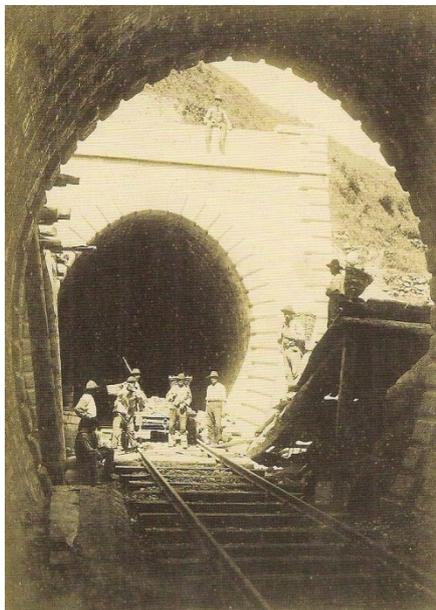


Figura 13.1:1 - Lavori di costruzione della linea ferroviaria Como-Lecco, 1887 da [2]

La soddisfazione per l'approvazione della costruzione della nuova linea non si era ancora esaurita quando si avviò una copiosa discussione sul tracciato da adottare: privilegiare il tratto superiore che sarebbe passato per Montorfano ed Erba, oppure quello inferiore che, passando per Cantù, avrebbe potuto rispondere ai bisogni di un'area più popolata. Gli interessi in gioco erano talmente alti che gli enti pubblici commissionarono la redazione di ben sei progetti: due per il tracciato di Erba, uno per quello intermedio e tre per quello meridionale. Se si fosse considerato solo il collegamento tra i due centri principali, è evidente che la linea sarebbe dovuta passare da Montorfano, Erba e Civate, in quanto il tracciato pedemontano era a tutti gli effetti il più breve. La ragion d'essere delle ferrovie locali non era però soltanto il congiungimento dei due capolinea, bensì doveva considerare il peso commerciale delle località attraversate e l'entità della popolazione servita. Per Cantù la nuova linea avrebbe significato un deciso miglioramento delle comunicazioni con il capoluogo Iariano, con Lecco e con gli altri centri della Brianza; significava inoltre, fatto non secondario, poter

finalmente disporre di una stazione ferroviaria ai margini del centro abitato, come presentato da [25]. La discussione in merito all'andamento del tracciato interessò soltanto il tratto comasco, in quanto quello da Lecco a Pontenuovo riscontrò sin dal primo momento un'unanime condivisione.

Il progetto su cui si concentrò il favore della commissione provinciale fu quello redatto dagli ingegneri Tatti e Milesi, progetto che favoriva i comuni di Cantù, di Alzate e di Fabbrica Durini. Il 10 novembre 1880 il Consiglio Provinciale decideva a favore della linea bassa, avallando in sostanza le decisioni espresse da Cantù. La decisione suscitò le proteste di Erba, che vedeva tradite le proprie aspirazioni. Nonostante ciò, il Consiglio Provinciale, supportato dal Ministero e dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, non cambiò la propria posizione e approvò ben tre volte la nuova linea, come si può verificare da [29] e [30]. Tuttavia le

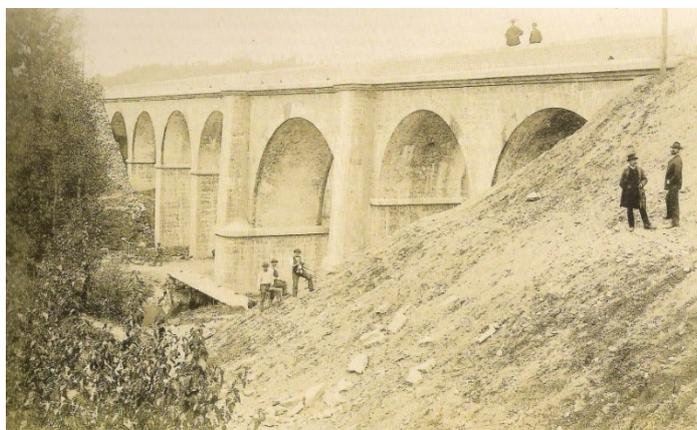


Figura 13.1:2 - Linea ferroviaria Como-Cantù-Lecco, Costruzione del ponte sul Lambro, 1887 da [2]

resistenze di Erba si trascinarono ancora per molto, con l'unico risultato di ritardare i lavori e inasprire ancor di più gli animi. Seguì un ulteriore studio che ebbe il solo effetto di minare la serietà della situazione. "Per questa ferrovia Como-Lecco - si legge su [29] e [30] - si son già fatti tanti studi e tracciati e progetti quanti non se ne fecero per nessuna grande ferrovia del mondo. Si studiò e si progettò non per anni, ma per lustri, e da più di una decina di ingegneri".

Mentre nel comasco si continuava a discutere ancora tra tracciato alto o basso, nel lecchese veniva appaltato il tronco Pontenuovo – Merone – Oggiono. Era il segnale che il tempo era esaurito e che finalmente stava arrivando l'avvio dell'opera. Infine venne

costruito il tracciato basso, favorendo Cantù, e i lavori si protrassero per alcuni anni, data l'orografia del territorio che imponeva l'apertura di alcune gallerie. Il 20 novembre 1888 la linea veniva aperta all'esercizio.

Attualmente la linea, per molta parte non elettrificata, è poco utilizzata e viene percorsa da pochi treni al giorno. Molti studi sono stati fatti nel tentativo di riqualificarla, soprattutto con l'intento di poterla sfruttare come collegamento metrotranviario tra Como e Cantù.

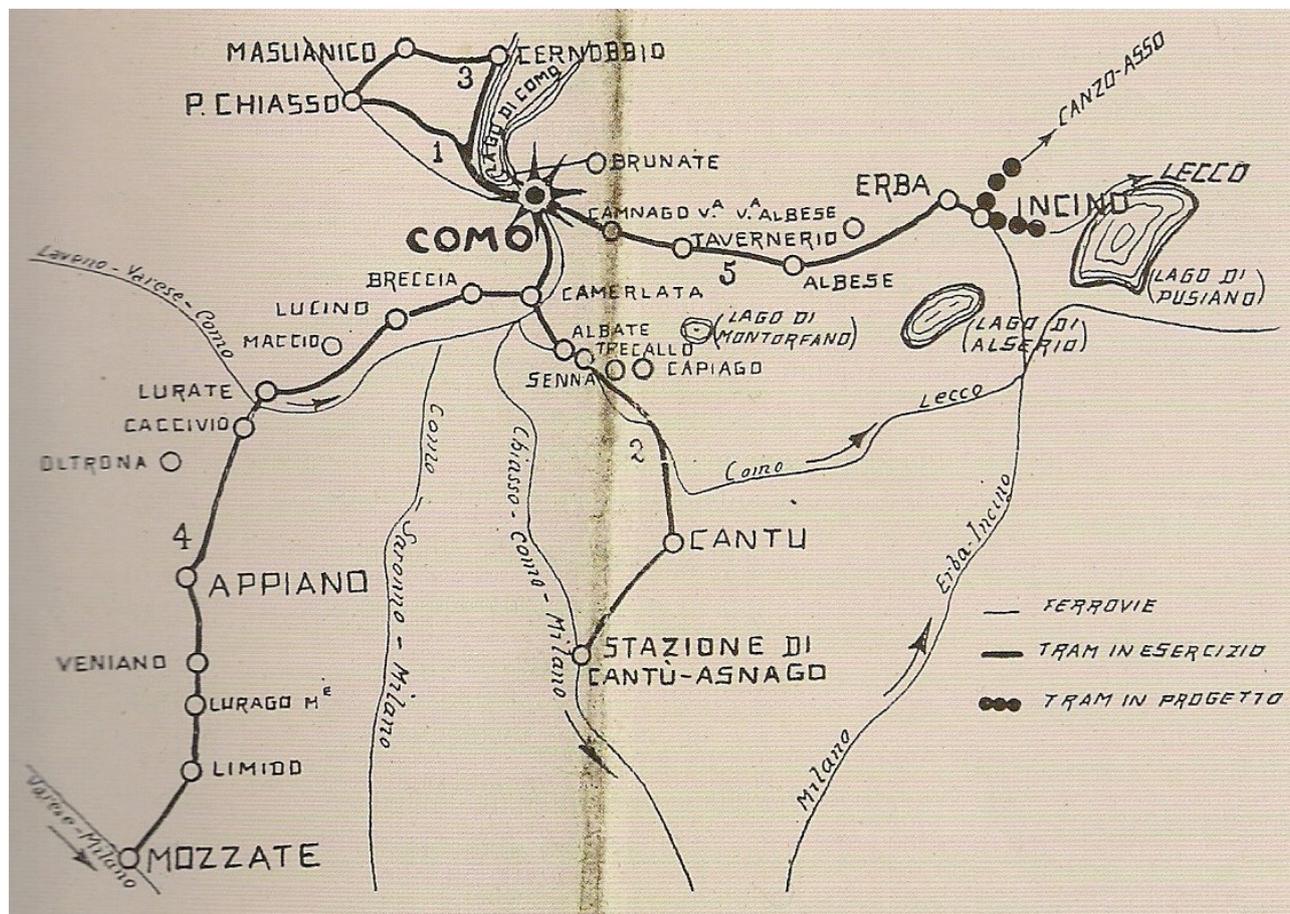


Figura 13.1:3 - Il sistema di trasporto su rotaia nell'area meridionale comasca, 1913, da [2]

L'ultima affermazione riportata dalla Tesi di Molteni va a confermare che la linea Como-Lecco è poco utilizzata. Nell'ottica di un possibile rilancio finalizzato a incrementare l'attrattività della linea, i possibili investimenti economici potrebbero trarre benefici ed efficacia dall'applicazione del metodo di gerarchia degli attributi costruito nella parte precedente della corrente Tesi.

È da sottolineare il fatto che il destino della linea Como-Lecco sia legato alla linea Monza-Molteno-Lecco, più frequentata della precedente, come si può evincere da [26]. Infatti l'ultimo tratto della linea che parte da Monza per collegarsi a Lecco ricade sul tracciato della citata Como-Lecco, a partire dalla stazione di Molteno. Da qui il nome di Lecco-Molteno-Como. Inoltre, come si afferma in [23], la direttrice Como-Lecco, per competenza geografica è strettamente legata alla direttrice 8 Milano-Monza-Molteno-Lecco, anch'essa a semplice binario, non elettrificata. Nello stesso documento si afferma poi che gli interventi sul materiale rotabile su questa direttrice portano benefici anche alla Lecco-Molteno-Como.

14 La linea Como-Lecco: l'infrastruttura

14.1 La linea

Come riportato da [26], la linea Lecco-Albate Camerlata, a semplice binario non elettrificato, ha uno sviluppo di 37 km.

La velocità massima consentita dalla linea è di 85 km/h in rango A e di 90 km/h in rango B; la pendenza massima è del 16%, valore che viene raggiunto in molte tratte della linea in conseguenza della morfologia del territorio.

Dal punto di vista *funzionale*, s'individua una distribuzione delle località di servizio poste a una distanza di circa 3 km l'una dall'altra, tale da rendere la linea ferroviaria assimilabile come grafo e impostazioni di velocità a quelli propri di un sistema suburbano (pur non avendone ovviamente le stesse prestazioni meccaniche e di servizio). Il sistema di distanziamento prevede una sola sezione di blocco tra i posti di movimento, in alcuni casi ubicati a circa 8 km l'uno dall'altro. Questo determina una ridotta potenzialità e, in caso di minima perturbazione della circolazione, un decadimento della regolarità del servizio. Inoltre, i movimenti d'incrocio nei posti di movimento non possono avvenire contemporaneamente e questo aspetto peggiora il tempo di percorrenza dei treni tra i due estremi della linea ferroviaria. Non vi sono sottopassaggi pedonali nelle stazioni.

Dal punto di vista *geometrico* il tracciato è caratterizzato da un'elevata tortuosità che si ripercuote anche sulle località di servizio, spesso collocate in curva, con il conseguente incremento dei tempi di sosta dei treni per la salita/discesa dei passeggeri.

Dal punto di vista *strutturale* la linea ferroviaria risulta come di seguito composta.

- Armamento: rotaie bonificate (cioè rilavorate, asportandone le parti usurate) e giuntate su traverso in legno 50UNI con deviatori S50UNI/170/0.12 o S50UNI/170/0.10; gli impianti di sicurezza e segnalamento sono datati e obsoleti. In alcune stazioni sono, infatti, presenti ancora apparati del tipo A.D.M. (Apparati per Deviatori Manuali), mentre il distanziamento in linea dei treni, fra Albate Camerlata e Molteno, è gestito con il blocco telefonico;
- Fermate/stazioni: i fabbricati viaggiatori, realizzati agli albori del Novecento, sono nella maggioranza dei casi abbastanza trascurati e vetusti, spesso preda di atti vandalici o di graffiti; di recente RFI ha creato una struttura dedicata per la gestione di questi asset ferroviari, Terminali Viaggiatori e Merci (T.V.M.). RFI sta tentando con grande sforzo di recuperare questi fabbricati mediante la cessione in comodato d'uso o locazione a terzi degli edifici, con contratti a condizioni particolari, in modo da preservarne o migliorarne le condizioni di conservazione e di fruizione per gli utenti del servizio ferroviario. I marciapiedi hanno dimensioni geometriche variabili e non conformi agli standard né per larghezza né per lunghezza, la quale lunghezza in alcune fermate è appena sufficiente per ricevere composizioni di tre vetture. Nella maggioranza dei casi i marciapiedi sono con cordolo formato da blocchi in pietra, riempimento in materiale lapideo e pavimentazione (conglomerato bituminoso o autobloccanti); altrove, la pavimentazione è formata dal terreno vegetale opportunamente curato. Non vi sono pensiline nei marciapiedi, salvo qualche tettoia immediatamente a ridosso dei fabbricati viaggiatori. Il passaggio da un marciapiede all'altro nelle stazioni avviene per mezzo di passerelle in legno a raso tra i binari.

Nella stazione di Merone la linea s'incrocia, a raso, con quella delle Ferrovie Nord Milano (linea Milano-Asso).

14.1.1 Le stazioni e le fermate

Come si può evincere da [21], riportato come Allegato 2, lungo la linea Como-Lecco sono presenti 14 tra stazioni e fermate, a cui si aggiunge la quindicesima stazione Como San Giovanni, riportate in Tabella 14.1:1. In tabella, inoltre, sono indicate le distanze tra le varie stazioni o fermate, per un percorso totale, come si diceva precedentemente, di quasi 37 km, a cui si aggiungono i 5 km tra Albate-Camerlata e Como San Giovanni per arrivare a quasi 42 km.

Stazione/fermata di partenza	Stazione/fermata di arrivo	distanza
Lecco	Valmadrera	3735.15 m
Valmadrera	Civate	2126.6 m
Civate	Sala al Barro-Galbiate	1262.3 m
Sala al Barro-Galbiate	Oggiono	4592 m
Oggiono	Molteno	2998.91 m
Molteno	Casletto-Rogeno	2187.26 m
Casletto-Rogeno	Moiana	1586.88 m
Moiana	Merone Pontenuovo	1524.05 m
Merone Pontenuovo	Anzano del Parco	3852.2 m
Anzano del Parco	Brenna Alzate	2159.05 m
Brenna Alzate	Cantù	4543.37 m
Cantù	Albate-Trecallo	3907.55 m
Albate-Trecallo	Albate-Camerlata	2302.98 m
Albate-Camerlata	Como San Giovanni	5060 m

Tabella 14.1:1 - Elenco delle distanze tra le stazioni e fermate delle linea

Come riportato in [5] e in [13], gli impianti ferroviari nei quali si svolge la circolazione dei treni si possono suddividere in due grandi gruppi:

- *linee*, cioè le vie attrezzate per la circolazione dei veicoli;
- *posti di servizio* (o *località di servizio*), cioè i punti terminali o intermedi delle linee nei quali si svolgono le operazioni.

Le località di servizio possono essere suddivise in:

- *stazioni*: sono posti di movimento nei quali possono svolgersi le seguenti operazioni:
 - circolazione o corsa dei treni: arrivo, partenza, transito,
 - movimento dei treni: incrocio, precedenza,
 - manovra: spostamento di veicoli tra diversi binari senza l'impegno di tratti di linea,
 - composizione, scomposizione dei treni,
 - servizio viaggiatori e merci;
- *fermate*: località di servizio esclusivo per viaggiatori nelle quali non si effettuano operazioni di movimento né di manovra; sono normalmente impresenziate, cioè prive di personale, in quanto le operazioni di corsa non richiedono l'impiego di particolari impianti o apparati;
- *scali di smistamento*: posti di servizio dedicati al servizio merci, caratterizzati normalmente da grandi estensioni e da un numero elevato di binari;
- *posti di movimento*: posti fissi abilitati alle operazioni di movimento, ma non al servizio viaggiatori o merci; sono generalmente situati in posizioni intermedie tra due stazioni molto distanti per svolgere operazioni di incrocio e/o precedenza, e quindi per aumentare la potenzialità di una linea.

- *posti di blocco*: posti fissi generalmente situati in posizioni intermedie tra due stazioni molto distanti utilizzati esclusivamente per operazioni di distanziamento dei treni; non vi si effettuano operazioni di movimento e sono normalmente presenziati da deviatori aventi mansioni di guardia-blocco;
- *bivi*: posti di diramazione e/o convergenza di più linee; possono essere manovrati direttamente sul posto da guardia-blocco o in telecomando da posti di movimento o altri posti di servizio;
- *passaggi a livello* (PL o attraversamenti a raso): punti di intersezione con la rete stradale particolarmente delicati nell'esercizio ferroviario; fino a non molti anni fa erano normalmente manovrati sul posto da cantonieri; attualmente sono azionati automaticamente dal passaggio dei treni o manovrati dal personale delle stazioni; i PL sono solitamente protetti dal segnalamento, pertanto i segnali di protezione di sezioni di blocco al cui interno siano presenti passaggi a livello si possono disporre a via libera soltanto in seguito alla loro completa chiusura.

14.1.2 Caratteristiche generali della linea

In Figura 14.1:1 si riporta lo schema funzionale semplificato della linea e della linea Monza-Molteno-Lecco.

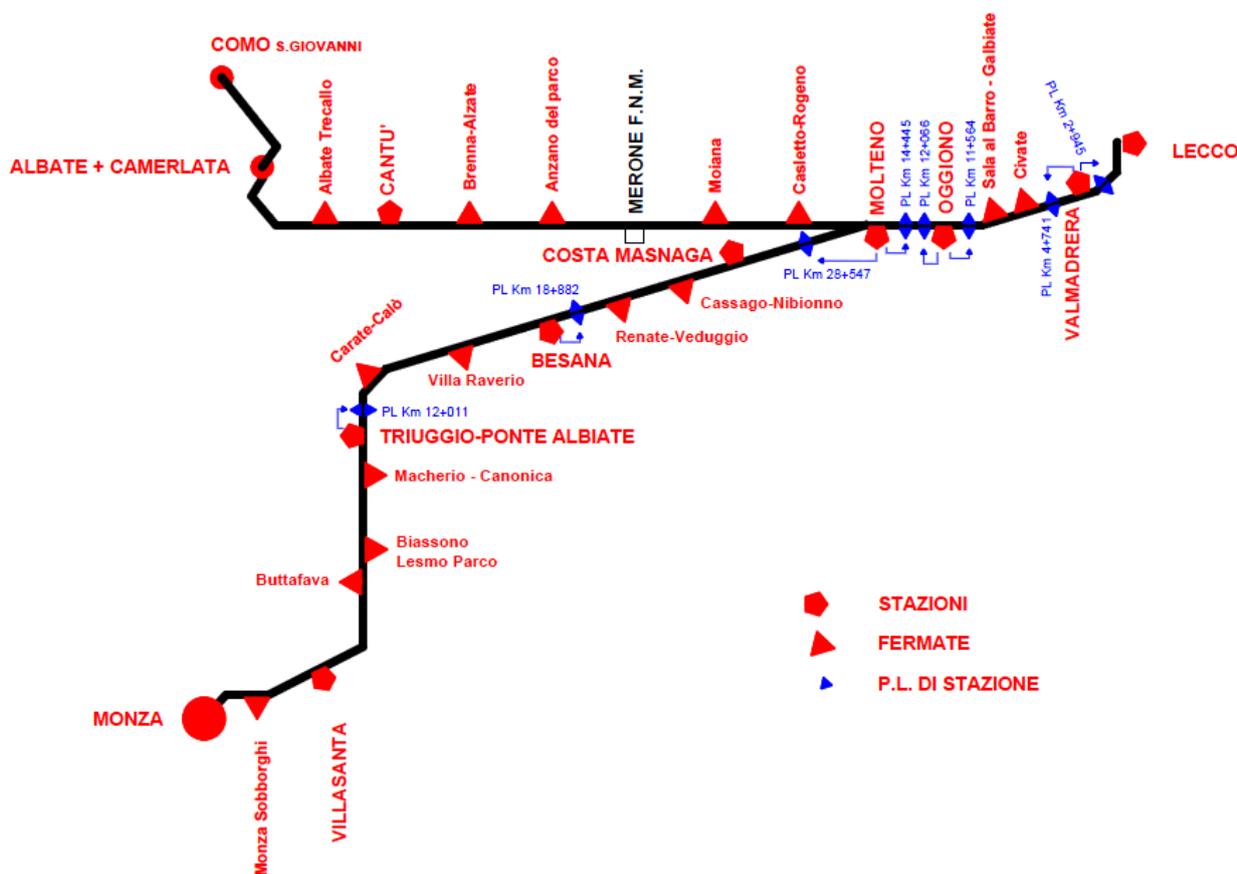


Figura 14.1:1 - Schema funzionali delle linee Monza-Molteno-Lecco e Como-Lecco

In Figura 14.1:2, invece, si riporta il tracciato su mappa. Da essa si può intuire la questione, di cui si accennava nel capitolo 13.1, riguardante la proposta di tracciati inferiori e superiori per la progettazione. La presenza di laghi, soprattutto verso Lecco, ha indotto questa suddivisione dei tracciati. Partendo da Lecco, il tracciato incontra il lago di Annone, il lago di Pusiano e il lago di Alserio.



Figura 14.1:2 - Tracciato della linea Como-Lecco

[26] riporta, inoltre, una tabella in cui sono descritti i dati infrastrutturali della linea: la Tabella 14.1:2.

Caratteristiche infrastrutturali	Stato attuale	
Stazioni	Lecco, Valmadrera, Oggiono, Molteno, Merone, Cantù, Albate Camerlata	
Fermate	Civate, Sala al Barro-Galbiate, Casletto-Rogeno, Moiana, Brenna-Alzate, Albate Trecallo	
Località munite di sottopasso	Lecco	
N° di sottopassi	1	
N° di sottovia	21	
N° di cavalcavia	20	
N° di ponti	79	
N° passaggi a livello	22	
Ascesa massima	16‰	
Grado di Prestazione massimo	18	
Velocità massima di tracciato	75	Fino al km 11
	85	Fino al km 16
	75	Fino al km 21 + 171
	85	Fino al km 35 + 649
	80	Fino al km 36 + 778
Categoria	D4 (22 t/asse, 8 t/m), con limitazione a 70 km/h per carichi eccedenti la categoria C3	
Codifica	P.M.O.1 senza profilo elettrificazione	
Armamento e traverse	50 UNI con traverse in legno	
Massicciata	Tipo B	
Interasse binari in stazione	3.935 m	
Elettrificazione	assente	

Tabella 14.1:2 - caratteristiche infrastrutturali della linea Lecco-Albate Camerlata

Se la definizione e la conseguente differenza tra stazione e fermata è già stata fornita nel paragrafo 14.1.1, e se il significato di alcune diciture è evidente, è, invece, necessario fornire alcune spiegazioni:

- **grado di prestazione:** da
- [4], Cassano definisce un determinato grado di prestazione come il valore numerico dato dalla pendenza cosiddetta fittizia (I) che è somma della pendenza della linea (i) (espressa in [‰mm/ml] data dall'effettivo dislivello sulla proiezione orizzontale della linea) e dalla resistenza addizionale dovuta alle curve (r_c) espressa in [Kg/tonn]:

$$I = i + r_c$$

I gradi di prestazione nelle ferrovie italiane sono 31 e a ciascuno di essi si associa un determinato valore della pendenza fittizia (I) caratterizzando linee o tratti di linee ai fini della prestazione. Nel caso in esame il grado di prestazione 18 è associato alla pendenza fittizia di 18.40‰;

- **velocità massima di tracciato:** le distanze chilometriche sono prese a partire da Lecco;
- **categoria:** si riferisce al carico per asse che la linea può sopportare;
- **codifica:** è il profilo minimo per quanto riguarda la presenza di ostacoli lungo la linea;
- **massicciata:** la massicciata di tipo B è un tipo di sezione ferroviaria con misure minori.

È possibile dare uno sguardo all'interessata della linea Como-Lecco nell'Allegato 2.

14.1.3 Inquadramento delle aree attraversate

Come si afferma in [26], dal punto di vista ferroviario, la caratteristica geografica principale del territorio è una non favorevole configurazione geo-morfologica delle aree interessate, trattandosi di zone di medio-bassa collina nella parte meridionale ed occidentale e di zone di montagna nella parte orientale prossima a Lecco, con frequenti corsi d'acqua che, pur se di piccola portata, condizionano notevolmente il tracciato ferroviario. A questi fattori naturali va aggiunto il fatto che le suddette aree presentano un elevato indice di urbanizzazione.

La linea Lecco-Albate Camerlata ha pendenza pressoché uniforme da Lecco fino a Merone, poi sale verso Cantù, e ridiscende andando verso Albate Camerlata (e poi Como).

Altimetricamente, la linea varia dalla quota di 213,58 m della stazione di Lecco, per salire ai 363,60 m al km 27 + 937 verso Cantù e ridiscendere fino ai 276,84 m della stazione di Albate Camerlata (e poi alla quota di 216,30 m della stazione di Como San Giovanni). Ad Albate Camerlata, stazione situata a circa 5 Km da quella RFI di Como San Giovanni, la linea si immette sulla relazione internazionale Milano-Monza-Seregno-Como-Chiasso → Svizzera → Germania/Francia. Anche questa linea è caratterizzata dalla presenza di tutti i tipi di sezioni possibili, variamente distribuite, con una prevalenza delle gallerie nelle porzioni più occidentali ed orientali ed una prevalenza dei rilevati nella parte centrale.

L'area in esame ricade nelle province di Lecco, Como, Monza.

Dal punto di vista idrografico il territorio nel suo complesso è caratterizzato dalla presenza di un reticolo di corsi d'acqua naturali ed artificiali molto sviluppato. Il corso d'acqua più presente è il fiume Lambro con i suoi numerosi affluenti. Seguendo la morfologia di questa porzione di fascia pedemontana e Prealpi Lombarde, i corsi d'acqua naturali hanno di massima andamento Nord-Sud e pendenze modeste.

14.2 Progetti futuri

Sempre in [26] sono riportate alcune ipotesi d'intervento per riqualificare la linea. Questi interventi hanno lo scopo di rendere più funzionale e soprattutto più efficiente il servizio sulle linee Lecco-Molteno-Monza e Molteno-Albate. Entrambe interessano una parte diversa della linea in esame, coprendola completamente.

In [26], si accenna a:

- elettrificazione delle linee con conseguente possibilità di prevedere un diverso tipo di materiale rotabile più idoneo al traffico pendolare (in termini di capacità di trasporto e prestazioni);
- velocità di deviate a 60 km/h per tutti gli scambi collocati sui binari d'incrocio o in corrispondenza di bivi/intersezioni tra linee ferroviarie diverse;
- possibilità di gestione dei movimenti contemporanei dei treni in ambito stazione;
- nuovo arredo tecnologico per le infrastrutture (sovrastuttura ferroviaria, marciapiedi, segnalamento, elettrificazione, sistema di controllo della circolazione, informazioni al pubblico, ecc);
- riorganizzazione dei marciapiedi di stazione al fine di renderli idonei ad accogliere anche rotabili di dimensioni diverse dalle attuali sia in termini di lunghezza sia di altezza rispetto al piano del ferro: tutto ciò dovrà tendere ad agevolare l'incarozzamento e la discesa dai treni, con conseguenti risparmi di tempo presso le fermate e benefici quindi sui tempi di percorrenza delle linee;
- soppressione, con eventuale sostituzione, del maggior numero di passaggi a livello.

Esistono poi ipotesi riguardanti la soppressione di fermate lungo la linea per velocizzare la velocità di tratta. Queste soppressioni dovrebbero essere necessariamente affrontate di concerto con le Amministrazioni Comunali in un'ottica di servizio pubblico garantito sulle città di Lecco, Como, Monza/Milano. Infatti, le fermate previste nei paesi toccati dalle linee rappresentano, in molti casi, la modalità di accesso ai capoluoghi di provincia soprattutto per gli studenti che gravitano su tali città.



Figura 14.2:1 - Automotrice termica Aln668 serie 100 attualmente in servizio sulle due linee

Il documento, poi, focalizza l'attenzione maggiormente sull'elettificazione della linea, descrivendo gli elementi principali degli interventi connessi alla realizzazione degli impianti di alimentazione di trazione elettrica. Tali impianti comprendono la linea aerea e le stazioni elettriche di trasformazione e conversione dell'energia elettrica. Come già sottolineato da [26], lo scopo di un eventuale intervento di elettificazione è quello di prevedere un diverso tipo di materiale rotabile più idoneo al traffico pendolare in termini di capacità di trasporto e prestazioni.

L'elettificazione della linea comporta la messa in opera dei sostegni della linea di contatto e la costruzione di sottostazioni elettriche lungo la linea. Sarà necessario, inoltre, un adeguamento delle gallerie. Infatti l'elettificazione delle linee richiederà la verifica degli ingombri e delle sagome degli ostacoli incontrate lungo i tracciati, in particolare la già citata sagoma PMO1, ma con profilo di elettificazione (Figura 14.2:2). Il Profilo Minimo degli Ostacoli n. 1 è compatibile con la sagoma cinematica internazionale G1.

Linea Ferroviaria	Galleria	Lunghezza in metri
MONZA-MOLTENO	Galleria di Macherio	89,40
	Galleria di Carate	120,07
	TOTALE	209,47
LECCO-ALBATE CAMERLATA	Galleria di Lecco	241,55
	Galleria di Porto	106,00
	Galleria di S. Lazzaro	88,58
	Galleria di Oggiono	240,42
	Colle di Fabbrica	611,00
	Colle del Terro	548,40
	Colle di Montressone	432,70
	Colle di Montecastello	703,90
	Colle di Trecallo	363,68
TOTALE	3336,23	

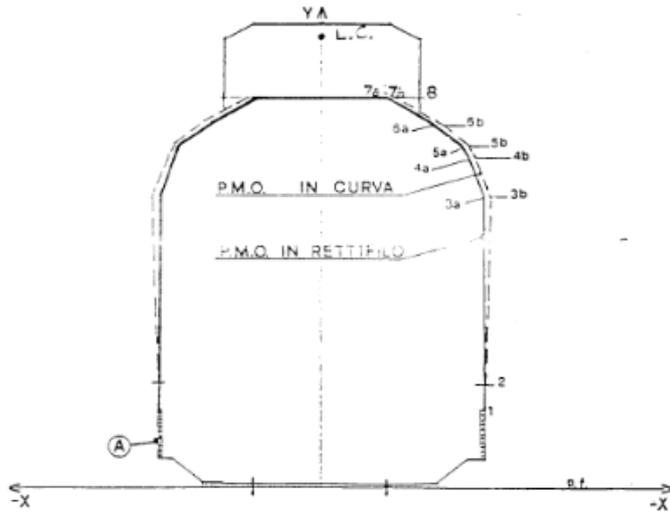
Tabella 14.2:1 - Lunghezza delle gallerie presenti sulla linea Monza-Molteno e sulla linea Lecco-AlbateCamerlata

Secondo la normativa ferrovia sulle gallerie ferroviarie (decreto 28 ottobre 2005 "Sicurezza nelle gallerie ferroviarie"), le gallerie presenti su entrambe le linee ferroviarie appaiono rispettose delle disposizioni di sicurezza dal punto di vista dell'esercizio ferroviario e degli interventi in casi di emergenza e soccorsi, in quanto sono gallerie piuttosto corte (lunghezze inferiori al chilometro), come è possibile osservare dalla Tabella 14.2:1.

Con l'elettificazione delle linee e quindi la necessità di ancorare le sospensioni della linea aerea alla volta delle gallerie stesse, s'impone la verifica degli spazi necessari a disposizione per l'installazione di tali sospensioni e per le escursioni del pantografo dei veicoli.

A tale scopo, potranno essere individuate soluzioni che limitino l'ingombro della linea aerea in galleria, quali, ad esempio, soluzioni di catenaria rigida in luogo della catenaria di tipo classico. Tale soluzione, infatti, richiede uno spazio molto più limitato rispetto alla catenaria classica, a tutto vantaggio quindi dello sfruttamento degli spazi già oggi disponibili.

Applicazione
La linea Como-Lecco: l'infrastruttura



PUNTI DI RIFER. TO	COORDINATE (m)		
	Y	X _{esterno C. Esterno}	X _{interno C. Interno}
1	0850	1750	1750
2	1170	1750	1750
3a	3250	1750	—
3b	3250	1848	1823
4a	3700	1566	—
4b	3700	1654	1624
5a	3800	1525	—
5b	3800	1562	1531
6a	4010	1194	—
6b	4010	1367	1335
7a	4310	0700	—
7b	4310	0790	0754
B	4310	1050	1050
Altezza L.C. (m)	Sotto Sospensione	Normale	5000
	In Camata	Minima	4650
		Minima	4510

(A) per la parte bassa vedi allegato B, circolare L.E.12.119419 del 29/5/88. -"

Esterno curva $r = 250 \text{ m}$
 $anc = 1 \text{ m/sec}^2$

Interno curva $r = 250 \text{ m}$
 $h = 0,160 \text{ m}$

Figura 14.2:2 - PMO1, profilo minimo degli ostacoli n. 1 con profilo per elettrificazione [26]

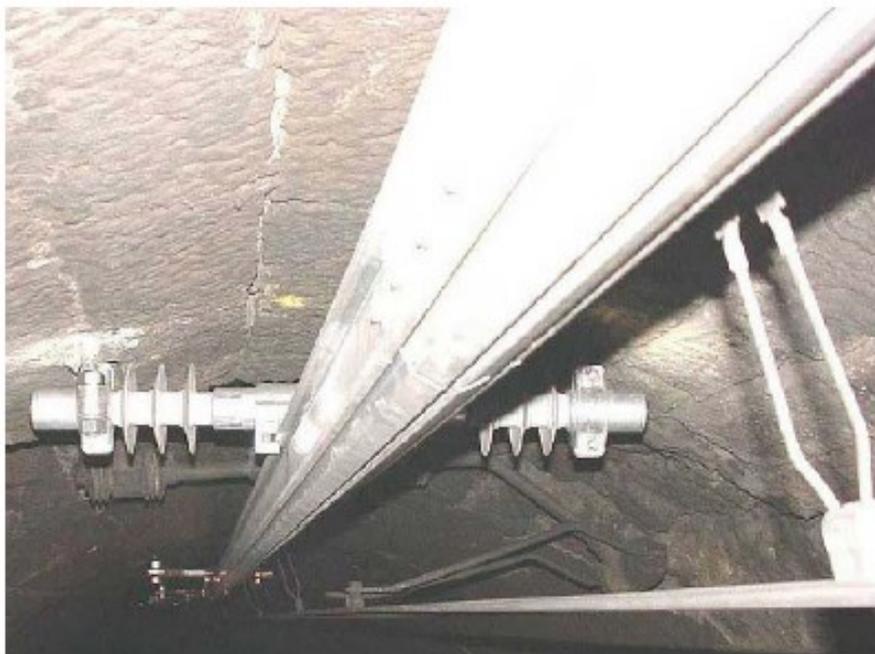


Figura 14.2:3 - esempi di catenaria rigida in galleria

Successivamente vengono sottolineati i vantaggi ambientali che scaturirebbero da una soluzione di questo tipo, annullando le emissioni da parte delle automotrici termiche attualmente utilizzate lungo la tratta e soprattutto nell'ambito delle stazioni, prossime a zone residenziali, dove le automotrici sostano aumentando la concentrazione degli inquinanti in uno spazio ristretto.

I vantaggi che l'elettificazione potrebbe portare, secondo il documento, sono molteplici. Innanzi tutto perché ci sarebbe una conseguente omogeneizzazione del sistema di trazione con le altre linee ferroviarie che afferiscono a Lecco e Como. Ciò permette di trasformare le linee Como-Lecco e Monza-Molteno-Lecco, limitate a causa della tipologia di alimentazione necessaria per percorrerla, in un sistema ferroviario perfettamente intergente con la rete circostante.

15 La linea Como-Lecco: l'esercizio ferroviario

15.1 L'offerta commerciale e il modello di esercizio attuale

Come si osserva da [26], che descrive anche il servizio ferroviario offerto dalla linea oggetto di studio, il trasporto ferroviario su questa linea è caratterizzato da treni di tipo Regionale che effettuano fermata in tutte le località di servizio.

I dati riportati in [26] datati Aprile 2010, descrivono un servizio di trasporto effettuato dalla società TRENITALIA del Gruppo F.S. che impiega automotrici diesel e rimorchiate Aln668 serie 1000, nella composizione automotrice + rimorchiata + automotrice per un totale di circa 200 posti a sedere disponibili. È in previsione, in quanto già autorizzato, l'impiego della locomotiva diesel D445 con carrozze. Le corse hanno origine/destinazione nelle stazioni di Lecco e di Como San Giovanni.



Figura 15.1:1 - Locomotiva D445

Benché dal punto di vista infrastrutturale la linea abbia origine in Lecco, si congiunga a Molteno con la linea per Monza, e termini in Albate Camerlata (sulla linea Milano-Monza-Chiasso), individuando un asse preferenziale Lecco-Como, il carico di traffico non si mantiene costante lungo il percorso. Infatti, vi sono solo 11 treni sulla tratta Molteno-Albate Camerlata (5 pari e 6 dispari) e 38 (18 pari e 20 dispari) sulla tratta Lecco-Molteno, la quasi totalità dei quali da Molteno proseguono/provengono via Monza-Milano. Alcune corse per/da Milano/Lecco hanno origine/destino nella stazione di Oggiono.

Con treno *pari* si intende un treno che ha verso di percorrenza da sud verso nord o da est ad ovest, viceversa per un treno *dispari*.

Nei soli giorni lavorativi la linea è aperta all'esercizio viaggiatori dalle ore 5.20 alle ore 21.43 nella tratta Lecco-Molteno, e dalle ore 6.29 alle ore 19.23 nella tratta Molteno-Albate Camerlata (Como San Giovanni). Nei festivi e nel mese di Agosto il servizio viene ridotto per entrambe le linee.

Il tempo di percorrenza è di poco più di 1 ora tra le due città (Lecco e Como) nel caso di corsa diretta; in tutti gli altri casi, che comportano il cambio di treno a Molteno, si impiegano circa 20 minuti per percorrere la tratta Lecco-Molteno e circa 40 minuti per la tratta Molteno-Como San Giovanni.

Applicazione

La linea Como-Lecco: l'esercizio ferroviario

Il servizio sulla tratta Molteno-Albate Camerlata è ulteriormente penalizzato dal fatto che le località di servizio sono spesso ubicate in posizione inadeguata rispetto ai centri abitati. Questa situazione va a incrementare l'utilizzo dei servizi di trasporto pubblico automobilistico, che oltre a servire direttamente i centri abitati e oltre a una maggiore capillarità delle corse, hanno anche tempi di percorrenza inferiori (circa 1 h) se si considera il tempo di trasbordo ferroviario a Molteno.

Infine, a Merone, stazione di interscambio tra la linea Lecco-Albate Camerlata (RFI) e Milano-Asso (FNME), i tempi di attesa per passare da un servizio di trasporto all'altro sono di circa 30 minuti, con ulteriore penalizzazione dei movimenti ovest/est-nord, ovest/est-sud e viceversa.

La Figura 15.1:2 riesce a schematizzare e sintetizzare l'offerta commerciale complessiva, di tipo regionale e giornaliera, facendo riferimento sia alla linea Como-Lecco, sia alla linea Monza-Molteno-Lecco, in una tipica giornata feriale.

In essa sono state rappresentate le corse giornaliere per le singole tratte; inoltre si è evidenziato il dato della tratta Molteno-Lecco che vede la sovrapposizione delle 2 linee: l'offerta complessiva ammonta a 41 treni/giorno, con un servizio, quindi, che tende a quello di tipo metropolitano.

Entrambe le linee sono caratterizzate da un elevato grado di utilizzazione dell'infrastruttura da parte dei convogli e questo accade soprattutto durante le ore di punta mattutine e serali (traffico pendolare). La situazione di saturazione durante le ore di punta si traduce nell'impossibilità di potenziare l'offerta commerciale senza pregiudicare la regolarità del servizio. Questo anche alla luce di come è l'infrastruttura della linea: singolo binario, con posti di movimento anche a distanze di 8 km.

Viceversa, durante le cosiddette "ore di morbida", vi è un grado di utilizzazione normale dell'infrastruttura.

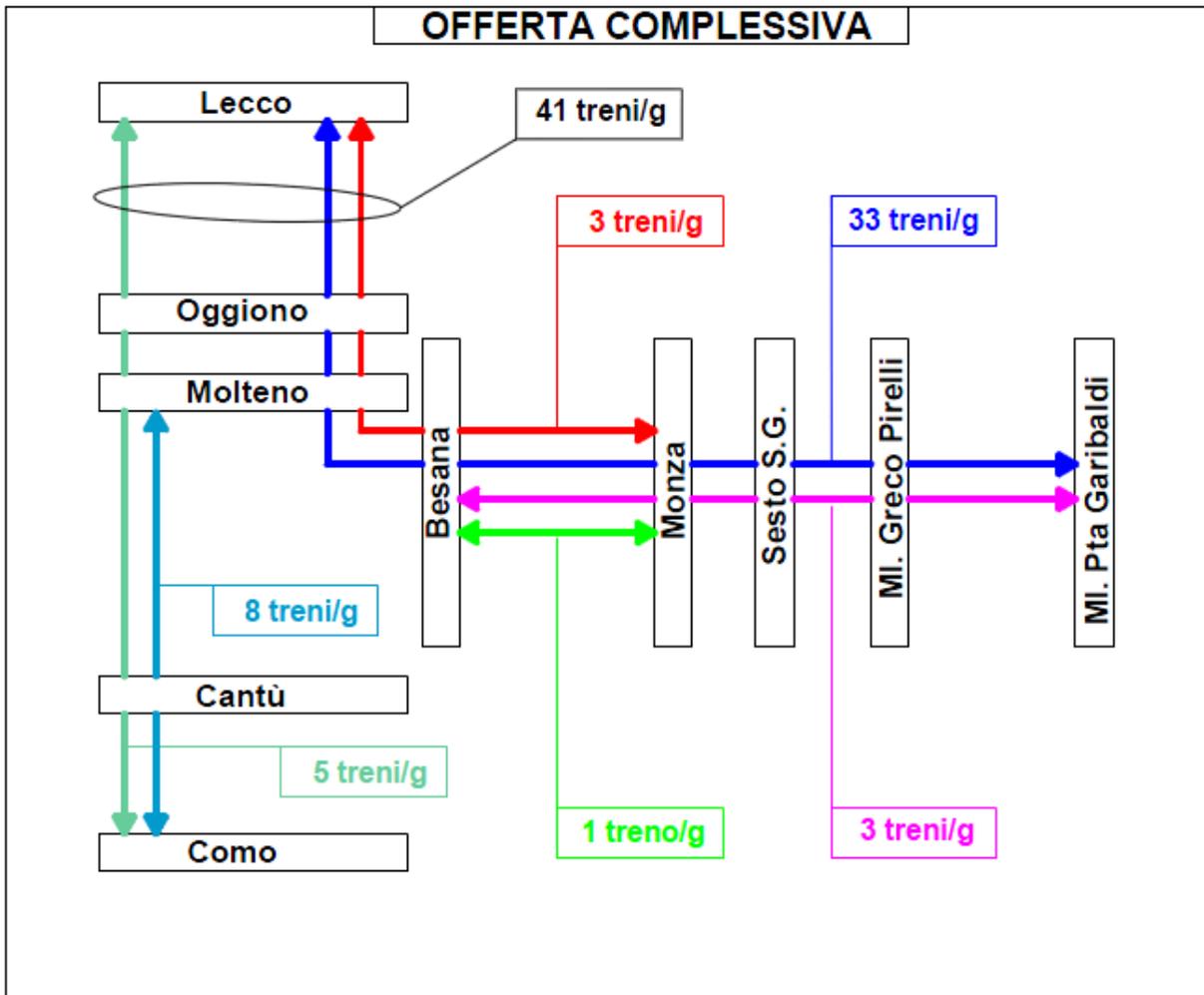


Figura 15.1:2 - Offerta commerciale complessiva giornaliera

È da osservare, comunque, che il numero elevato di corse di 41 treni al giorno interessa solo la tratta Molteno-Lecco. Questa tratta, però, contiene solo 4 stazioni, oltre a Lecco e Molteno, a partire da quest'ultima: Oggiono, Sala al Barro Galbiate, Civate, Valmadrera.

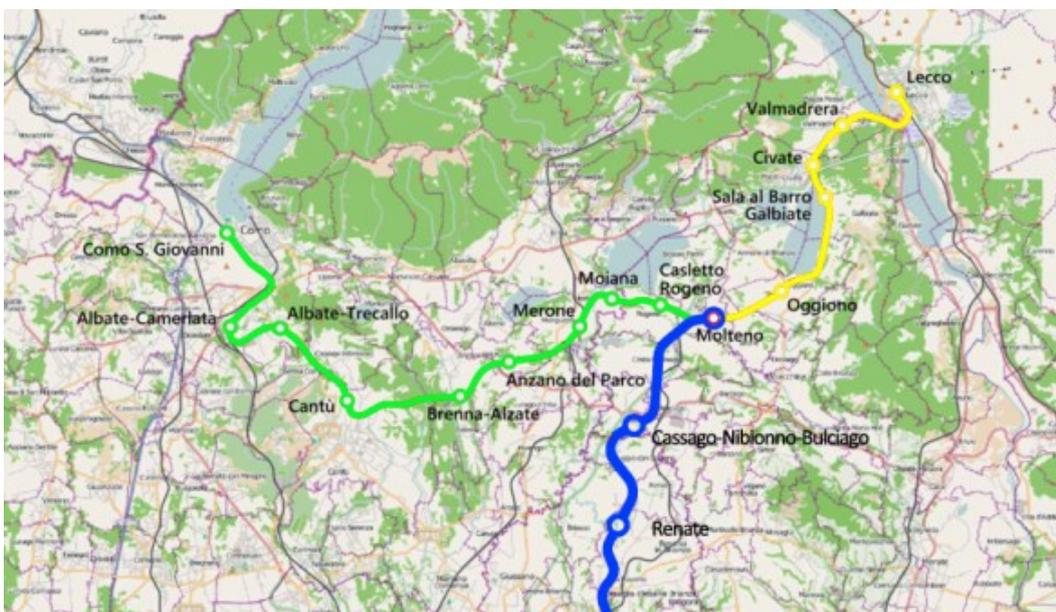


Figura 15.1:3 - Linea Monza-Molteno e Como-Lecco suddivisa in Como-Molteno e Molteno-Lecco

Applicazione

La linea Como-Lecco: l'esercizio ferroviario

Solo 5 treni invece viaggiano sull'intera tratta da Como a Lecco. La tratta che va da Molteno a Como, invece, è interessata unicamente da 13 treni, di cui 5 arrivano fino a Lecco.

Si possono trovare dati riguardo il traffico sulla linea Como-Lecco anche nel documento [23] di TreNord, che analizza la domanda soddisfatta dalle due linee che insistono sulla tratta Como-Lecco, visibili nella Tabella 15.1:1 in data Febbraio 2012.

Servizio	Origine	Destino	Frequenza	Percorrenza/Km Intero Percorso
Regionali	Como	Molteno	Non cadenzato 9 treni	42/28Km
Regionali	Como	Lecco	Non cadenzato 5 treni	1h23/42Km

Tabella 15.1:1 - Servizio specifico solo per la Como-Lecco

Dalla Tabella 15.1:2 è possibile conoscere il numero di passeggeri che la tratta riesce a soddisfare giornalmente: 679 passeggeri.

Numero treni giorno			
LV 1-5	LV 6	F	Frequenzazione (totale saliti)
14	14		679

Tabella 15.1:2 - Numero treni giorno

Se si tiene conto di quanto scritto nel documento [26] del 2010, cioè che ogni treno ha una capacità di circa 200 passeggeri, si può dedurre che la linea non sia molto utilizzata. Sarebbe stato utile avere i dati riguardanti i passeggeri saliti e scesi ad ogni stazione o fermata e divisi per le corse presenti in linea, e quindi poter calcolare il numero di passeggeri per chilometro.

Da questi dati non è possibile capire come siano effettivamente distribuiti i passeggeri tra le varie corse e le varie fermate. Si può solo calcolare la media dei passeggeri per corsa:

$$\frac{679 \text{ passeggeri}}{14 \text{ corse}} = 48 \text{ p/c}$$

Con un utilizzo medio del treno a disposizione di circa il 25%.

Km		R		R	R	R	R	R	R	R
		5011 ② ①	MI231 ② ②	5013 ② ①	5015 ② ①	5017 ② ①	5019 ② ①	5021 ② ①	5023 ② ①	5009 ② ①
		TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN
0	Como S. Giovanni 27	06.18	.	08.57	12.41	13.41	16.41	17.41	18.41	19.41
5	Albate-Camerlata 27	06.24	.	09.05	12.47	13.47	16.47	17.47	18.47	19.47
8	Albate Trecallo	06.29	.	09.09	12.51	13.51	16.51	17.51	18.51	19.51
12	Cantù	06.34	.	09.15	12.57	14.01	16.57	18.01	19.01	20.01
16	Brenna-Alzate	06.40	.	09.21	13.03	14.06	17.03	18.06	19.06	20.06
18	Anzano del Parco	06.44	.	09.24	13.07	14.09	17.07	18.09	19.09	20.09
22	Merone	06.49	.	09.29	13.13	14.13	17.13	18.13	19.13	20.13
	Merone 169	07.11	.	10.08	13.38	14.38	17.38	18.38	19.38	20.38
	Asso	07.33	.	10.25	13.58	14.58	17.58	18.58	19.58	20.58
	Merone 169	07.21	.	09.51	13.51	14.21	17.51	18.51	19.51	20.52
	Seveso	07.53	.	10.23	14.23	14.53	18.23	19.23	20.23	21.25
	Milano Bovisa	08.13	.	10.43	14.43	15.13	18.43	19.43	20.43	.
	Milano Cadorna	08.22	.	10.52	14.52	15.22	18.52	19.52	20.52	.
22	Merone	06.57	07.10	09.30	13.14	14.14	17.14	18.14	19.14	20.14
24	Moiana	07.00	07.16	09.33	13.17	14.17	17.17	18.17	19.17	20.17
25	Casletto-Rogeno	07.03	07.22	09.36	13.20	14.20	17.20	18.20	19.20	20.20
28	Molteno 171	07.07	07.30	09.41	13.23	14.23	17.23	18.23	19.23	20.24
31	Oggiono	07.14	.	09.47	.	.	.	.	.	.
35	Sala al Barro-Galbate	07.19	.	09.52	.	.	.	.	.	.
39	Valmadrera	07.24	.	09.57	.	.	.	.	.	20.35
42	Lecco 171-180-186	07.31	.	10.03	.	.	.	.	.	20.43

① Si effettua fino al 3/8 e dal 26/8. Sospeso la domenica fino al 28/7; nei festivi dal 1/9.

② Si effettua nei lavorativi dal 9/9.

Tabella 15.1:3 - Orari Como-Lecco

Km		R	R	R	R	R	R	R	R
		5010 ② ①	5012 ② ①	5014 ② ①	5016 ② ①	5018 ② ①	5020 ② ①	5008 ② ①	5022 ② ①
		TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN
0	Lecco 171-180-186	06.19	.	07.51	.	.	.	.	.
4	Valmadrera	.	.	08.01	.	.	.	.	.
12	Oggiono	06.32	.	08.11	.	.	.	.	.
15	Molteno 171	06.37	07.22	08.16	13.37	14.37	17.37	18.37	19.37
17	Casletto-Rogeno	06.40	07.25	08.20	13.40	14.40	17.40	18.40	19.40
19	Moiana	06.43	07.28	08.23	13.43	14.43	17.43	18.43	19.43
21	Merone	06.46	07.31	08.26	13.45	14.45	17.45	18.45	19.45
	Merone 169	06.51	07.51	08.51	13.51	14.51	17.51	18.51	19.51
	Seveso	07.23	08.23	09.23	14.23	15.23	18.23	19.23	20.23
	Milano Bovisa	07.43	08.43	09.43	14.43	15.43	18.43	19.43	20.43
	Milano Cadorna	07.52	08.52	09.52	14.52	15.52	18.52	19.52	20.52
	Merone 169	07.11	07.38	08.38	14.08	15.08	18.08	19.08	20.08
	Asso	07.33	07.58	08.58	14.28	15.25	18.25	19.25	20.25
21	Merone	06.50	07.32	08.27	13.46	14.46	17.46	18.46	19.46
24	Anzano del Parco	06.55	07.36	08.32	13.51	14.51	17.51	18.51	19.51
26	Brenna-Alzate	06.58	07.39	08.36	13.54	14.54	17.54	18.54	19.54
31	Cantù	07.04	07.45	08.42	14.00	15.00	18.00	19.00	20.00
35	Albate Trecallo	07.09	07.49	08.47	14.06	15.06	18.06	19.06	20.06
37	Albate-Camerlata 27	07.14	07.54	08.54	14.14	15.14	18.14	19.14	20.14
42	Como S. Giovanni 27	07.19	08.00	09.00	14.19	15.19	18.19	19.19	20.19

① Si effettua fino al 3/8 e dal 26/8. Sospeso la domenica fino al 28/7; nei festivi dal 1/9.

Tabella 15.1:4 - Orario Lecco-Como

Reperendo gli orari della linea sul sito di TreNord (Tabella 15.1:3 e Tabella 15.1:4, che riportano l'orario in vigore dal 9 Giugno 2013), è possibile osservare che, giornalmente ci sono solo 3 treni che percorrono tutta la linea da Como a Lecco (5011, 5013 e 5009, anche se quest'ultimo salta le ultime due fermate prima di Lecco) mentre, nel senso opposto, da Lecco a Como, sono presenti solo due corse da Lecco a Como (5010 e 5014). Da come è stato impostato l'orario della linea si può intuire che il collegamento da Como a Lecco sia principalmente basato sulle linea esterna Monza-Molteno-Lecco. Infatti, se si contano i collegamenti dai due capoluoghi a Molteno, snodo tra le due linee, il numero aumenta arrivando fino a 8 corse da Como a

Applicazione

La linea Como-Lecco: l'esercizio ferroviario

Lecco e 8 corse da Molteno a Como. In questo modo, però, si sfavoriscono gli utenti che si devono spostare all'interno dell'area tra i due capoluoghi, dovendo loro fare un trasbordo per poter compiere il loro spostamento.

Si può notare, inoltre, un numero di corse limitato per quanto riguarda la mattina e la presenza di cadenzamento della linea solo a partire dal pomeriggio.

Riguardo all'orario attuale della direttrice 10 e della direttrice 8 (Monza-Molteno-Lecco), il documento [26] (aggiornato al 2010) osserva che l'esercizio attuale prevede un forte sbilanciamento dell'offerta di trasporto su Milano, con intensificazione delle corse verso Milano al mattino e da Milano la sera, che il cadenzamento delle corse è intensificato al mattino e alla sera, con ampie fasce orarie durante la giornata in cui sono previste corse molto diradate, cadenzamento che risulta molto irregolare.

Infatti, una ricerca di collegamento sul sito TreNord tra i due capoluoghi evidenzia la forte necessità di dover operare un trasbordo per raggiungere la propria meta. Su 37 proposte giornaliere da Como a Lecco solo 3 sono dirette, come confermato dalla Tabella 15.1:3, e su 38 proposte giornaliere da Lecco a Como, solo 2 sono dirette (Tabella 15.1:4). Significativa, però, la questione riguardante la stazione dove viene proposto il cambio: da Como a Lecco sui 34 collegamenti con trasbordo, solo 5 avvengono a Molteno, così per il senso opposto. Per i casi restanti il cambio proposto è nella stazione di Monza, con uno spostamento più lungo di circa 20 minuti. È da osservare che, comunque, nel caso dei trasbordi, nella stragrande maggioranza dei casi, c'è un intervallo di circa 10 minuti per permettere il cambio treno e l'assorbimento di eventuali piccoli ritardi della linea.

Si osserva, inoltre, dalle Tabella 15.1:1 e dalla Tabella 15.1:2 che il numero di corse è stato aumentato di un'unità per quanto riguarda la tratta Como-Molteno, in luogo di aumentare il servizio per quanto riguarda la tratta più lunga e meno trafficata della direttrice 10. Si osserva dalla Tabella 15.1:5 che il materiale rotabile utilizzato è ancora quello descritto dalla documentazione del 2010 e non è ancora stato messo in pratica il progetto di rinnovo del parco di locomotive diesel (da ALN668 a D445).

Turno	Composizione	Giornate
1161	Aln (2 Pz)	1
1162	Aln (3 Pz)	2

Tabella 15.1:5 - Turno materiale

Nello stesso documento di febbraio 2012 vengono infine riportati i dati riguardo i ritardi medi (Grafico 15.1:1, Grafico 15.1:2) per gli anni 2009-2010-2011 ad esclusione di quegli eventi dovuti a forza maggiore. In una linea di questo tipo il ritardo di un singolo treno si ripercuote inevitabilmente sul servizio di tutti gli altri treni, in quanto la linea è a singolo binario, con località di servizio poste anche a notevole distanza l'una dall'altra. È quindi necessario porre molta attenzione a questi aspetti.

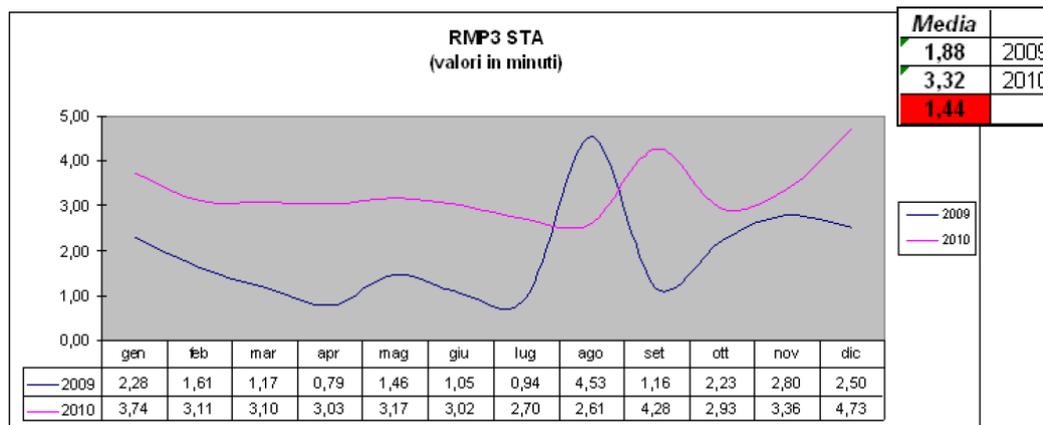


Grafico 15.1:1 - Ritardo medio per gli 2009 e 2010

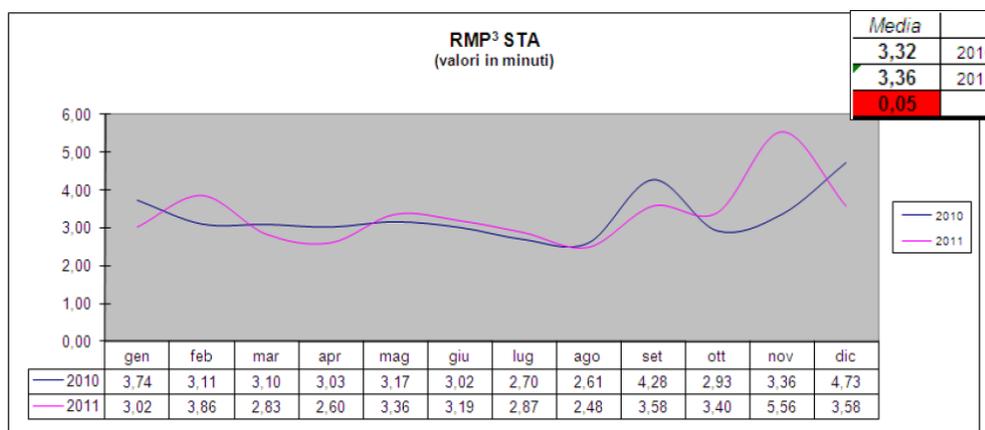


Grafico 15.1:2 - Ritardo medio per gli 2010 e 2011

Si può notare come il ritardo medio sia in aumento dal 2009 al 2011, anche se in stabilizzazione.

15.1.1 Progetti futuri

Gli interventi che il documento [26] propone prevedono azioni di miglioramento del servizio con effetti positivi, sia in termini di qualità dello stesso, sia soprattutto in termini di efficienza.

Come già affermato precedentemente, il destino della linea ferroviaria Como-Lecco è fortemente legato alla linea Milano-Monza-Molteno-Lecco in quanto una parte di quest'ultima transita sulla precedente linea. Per questo motivo, gli interventi proposti riguardano anche la Monza-Molteno-Lecco.

Si riportano, quindi, nella Figura 15.1:4 una visione d'insieme delle due linee e nella Figura 15.1:5 e nella Figura 15.1:6, i tracciati delle due singole linee.

Applicazione

La linea Como-Lecco: l'esercizio ferroviario



Figura 15.1:4 - Visione di insieme delle due linee

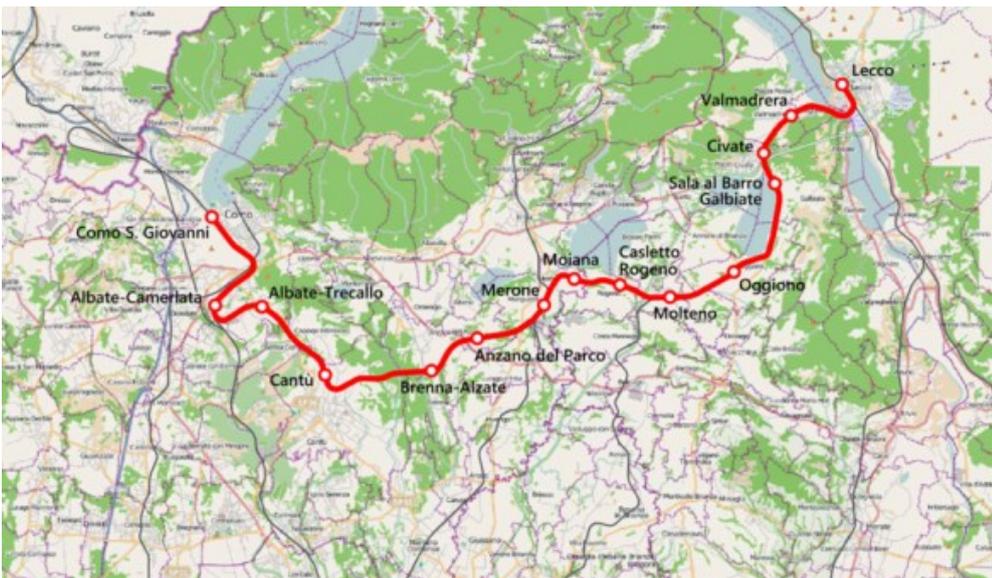


Figura 15.1:5 - La linea Como-Lecco



Figura 15.1:6 - La linea Monza-Molteno

Il documento si riferisce, poi, a studi RFI che ipotizzano un'offerta commerciale complessiva giornaliera, suddivisa per macrotratte, che viene sintetizzata come segue:

- Milano-Monza-Besana per circa 80 *corse/giorno*;
- Besana-Molteno per circa 50 *corse/giorno*;
- Molteno-Lecco per circa 60 *corse/giorno*;
- Como-Molteno per circa 40 *corse/giorno*.

Le riqualificazioni che interessano maggiormente per lo scopo di questa Tesi sono le ultime due, che riguardano le due tratte in cui solitamente è suddivisa la linea Como-Lecco.

A sua volta, il potenziamento strutturale, presentato nel paragrafo 14.2, che potrà essere attuato per la riqualificazione delle due linee ferroviarie, consentirà la circolazione di convogli più capienti, ovvero in grado di portare più passeggeri per singola unità viaggiante.

Infatti, nell'ipotesi di elettrificazione delle linee e quindi di poter utilizzare anche materiale rotabile per linee elettrificate, le composizioni più prevedibili che si possono ipotizzare, con servizio di trasporto svolto dalla società TRENITALIA del Gruppo F.S., e le relative capienze, sono le seguenti:

- 2 Aln 668+rimorchiata Ln664: capienza 200 posti;
- Locomotiva diesel D445+4 carrozze a piano ribassato+1 carrozza semipilota: capienza 476 posti (seduti+in piedi);
- Ale 582+2 rimorchiate: capienza 268 posti;
- Ale 501+Le220+Ale 502 "Minuetto": capienza 345 posti (seduti + in piedi);

Applicazione

La linea Como-Lecco: l'esercizio ferroviario

- Locomotiva elettrica E464 + carrozze a 2 piani rimorchiata e semipilota: capienza 304 posti.

In base alle ipotesi suddette, l'offerta giornaliera complessiva futura, espressa come posti/giorno per singola tratta totale nelle due direzioni, viene riportata in Tabella 15.1:6 (evidenziate le macrotratte interessate da questa trattazione), dove viene raffrontata con quella attuale (Ipotesi futura: composizione D445+4 carrozze piano ribassato+1 carrozza semipilota).

Tratta	Offerta attuale Posti/giorno	Offerta futura Posti/giorno	Incremento	Incremento percentuale
Monza-Besana	7200	38080	30880	429%
Besana-Molteno	7200	23800	16600	231%
Molteno-Lecco	7600	28560	20960	276%
Molteno-Albate	2400	19040	16640	693%

Tabella 15.1:6 - Confronto tra offerta attuale e futura

Il documento, sottolinea come l'offerta giornaliera complessiva futura potrebbe essere ancora maggiore (circa 50% in più per convoglio) qualora venissero impiegate le carrozze a due piani in luogo di quelle a piano ribassato. A fronte di questo utilizzo, però, sarà necessario adeguare la sagoma delle gallerie incontrate lungo linea.

L'offerta commerciale viaggiatori sarà rappresentata ancora da treni di tipo regionale (o suburbano) in considerazione principalmente delle caratteristiche di tracciato e di impianto delle due linee ferroviarie.



Figura 15.1:7 - Schema futuro delle linee S

Nonostante non interessi direttamente la linea Como-Lecco si richiama il fatto, riportato da [26], che la direttrice Monza-Molteno-Lecco farà parte della cosiddetta linea S7 secondo lo studio pubblicato nel Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia n° 26 “Edizione Speciale” del 25 giugno 2004 ad oggetto “Apertura del Passante Ferroviario milanese e avvio del Servizio ferroviario Suburbano” e di cui è riportata in Figura 15.1:7 la rappresentazione complessiva di tutte le linee suburbane.

Il documento riporta, inoltre, uno studio preliminare dell'esercizio futuro riguardante le linee Como-Lecco e Monza-Molteno-Lecco. Il fine è quello di valutare tempi di percorrenza, potenzialità della linea e dimensionamento del materiale rotabile.

Inizialmente vengono riportate le ipotesi di base per le due linee in Tabella 15.1:7. I valori sono stati calcolati utilizzando come riferimento il treno Meridian (Figura 15.1:8).



Figura 15.1:8 - Treno Alstom Meridian

Il treno ha come caratteristiche essenziali l'ingresso alle carrozze a raso, con pedane retrattili, livelli ridotti di rumorosità, apparecchiature di sicurezza contro la collisione, compatibilità con il sistema ERMTS e motorizzazione ripartita che ottimizza le fasi di frenatura e accelerazione, permettendo di diminuire il livello di consumo di energia. Non si cita, invece, il tipo di alimentazione necessaria (probabilmente elettrica, da [35]).

o Linee in studio	Lecco – Molteno – Monza Lecco – Molteno - Como
o Velocità massima	80km/h
o Velocità di transito presso i PL	50km/h (rallentamento di sicurezza)
o Accelerazione 0-50km/h	0.9m/s ²
o Accelerazione 50-80km/h	0.6m/s ²
o Decelerazione 80-0km/h	0.8m/s ²
o Tempo di perturbazione della marcia	dal 20 al 40% del tempo di marcia a seconda della tratta
o Tempo di sosta nelle stazioni	40s
o Cadenzamento ore di punta	30min
o N. di fermate sopresse	Nessuna
Capacità di trasporto di una composizione a 6 casse (lunghezza circa 107m)	638 passeggeri (seduti + in piedi a 6 pass/m ²)
o N. veicoli di scorta per ogni tratta	10% del numero uscente dal calcolo

Tabella 15.1:7 - Ipotesi di partenza per le due linee: Lecco-Como e Monza-Molteno-Como

Viene ipotizzata, poi, una gestione dell'esercizio che preveda una linea Lecco-Monza ed una linea Molteno-Como, per la quale sono stati ottenuti output dai calcoli e dai diagrammi orari sviluppati per le ore di punta, riportati nella Tabella 15.1:8 e in Figura 15.1:9 e Figura 15.1:10.

○ N. veicoli LC-Monza (e vv.)	8 (compresi n. 2 veicoli di scorta), di cui 6 contemporaneamente in esercizio durante le ore di punta ³
○ N. veicoli Molteno-CO (e vv.)	6 (compresi n. 2 veicoli di scorta), di cui 4 contemporaneamente in esercizio durante le ore di punta ⁴
○ Incroci previsti presso	<ul style="list-style-type: none"> - Presso Lecco (a circa 1080m dall'asse stazione) - Oggiono - Renate Veduggio (nuovo impianto di gestione movimenti) - Triuggio - Tratta Villasanta-Monza Sobborghi (già oggi a doppio binario) - Merone - Cantù - Tratta Albate – Como SG (già oggi a doppio binario)
○ Capacità di trasporto delle linee	1276 pass/h/dir

Tabella 15.1:8 - Output per le due linee (3 e 4: durante le ore di morbida con il ritiro di alcuni mezzi aumenta il numero di scorte)

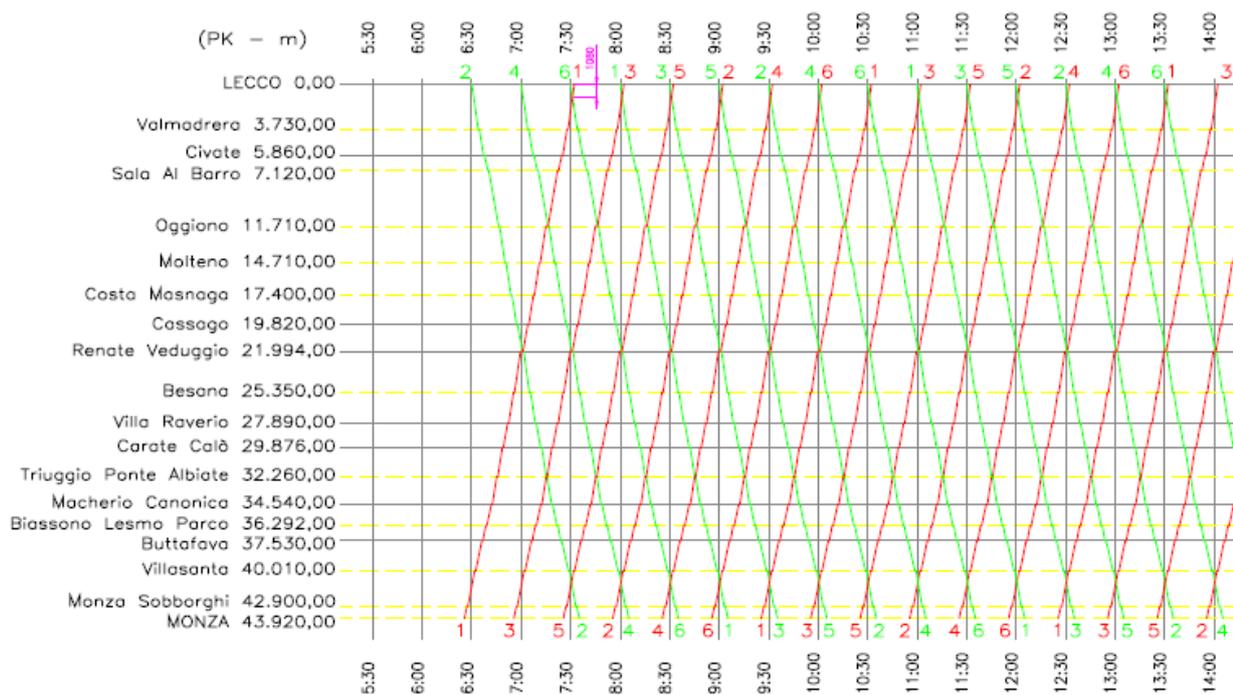


Figura 15.1:9 - Stralcio del diagramma della linea Monza-Molteno-Lecco nelle ore di punta

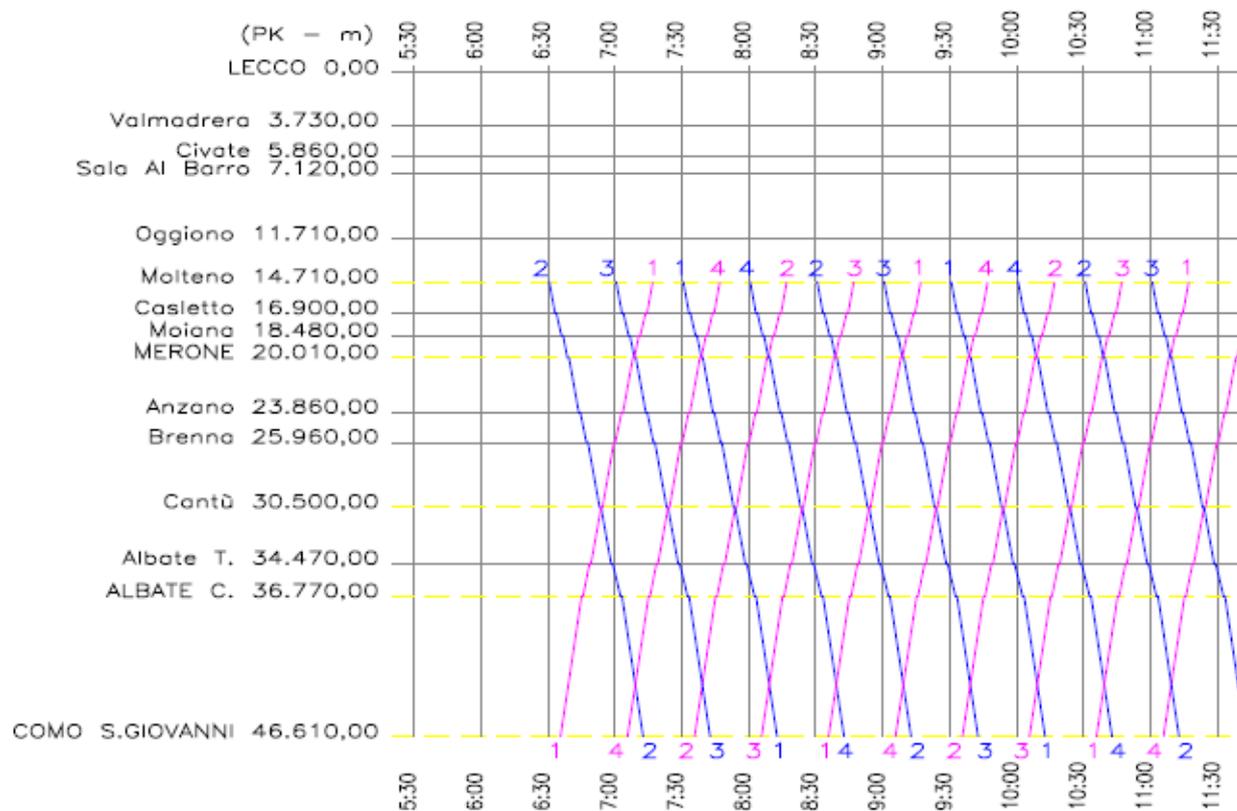


Figura 15.1:10 - Stralcio del diagramma orario della linea Molteno-Como nelle ore di punta

Infine, il documento dello studio di fattibilità condotto dalla provincia di Lecco riporta i risultati dello studio di esercizio sviluppato. Evidenzia, in particolare, l'incremento della velocità commerciale delle linee e quindi la diminuzione dei tempi di percorrenza rispetto agli attuali. Va sottolineato, inoltre, che tale risultato è stato ottenuto considerando tutte le fermate/stazioni oggi esistenti, senza cioè valutare la soppressione di nessuna fermata (eventualità questa che potrebbe riguardare le fermate oggi meno frequentate, quali, ad esempio, Civate e Butafava). Nel caso si stabilisse di sopprimere le fermate meno frequentate, i tempi di percorrenza diminuirebbero ulteriormente.

Lo studio dei diagrammi orari (Figura 15.1:9 e Figura 15.1:10) ha evidenziato, inoltre, la possibilità di creare un servizio di tipo "metropolitano", ossia con cadenzamento regolare ed incroci previsti sempre presso le medesime stazioni. Ciò introduce elementi di regolarità dell'esercizio a beneficio dello stesso.

Le valutazioni trasportistiche sviluppate sono presentate in Tabella 15.1:9.

Dimensionamento Veicoli ora di punta	LC-Monza	Monza-LC	LC-CO	CO-LC	MOL-CO	CO-MOL	LC-Molteno	Molteno-LC
lunghezza (m)	43920,0	43920,0	46610,0	46610,0	31900,0	31900,0	14710,0	14710,0
vel. comm.le (km/h)	40,37	40,41	44,51	45,19	42,01	42,26	43,79	44,23
tempo di percorrenza (s)	3916,8	3912,5	3769,9	3713,3	2519,3	2476,1	1209,4	1197,2
cadenzamento (s)	30	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800
n° partenze/ora		2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
distanziamento (m)		20183,8	20205,8	22254,9	22593,7	21007,3	21131,7	21894,4
n° veicoli		3	3	3	3	2	2	1
capacità di trasporto veicolo (pass/veic.)		638	638	638	638	638	638	638
capacità di trasporto linea (pass/h/dir)		1.276	1.276	1.276	1.276	1.276	1.276	1.276
capacità di trasporto linea (pass/giorno/dir)		19.140	19.140	19.140	19.140	19.140	19.140	19.140

Tabella 15.1:9 - Valutazione della capacità di trasporto futura dei vari rami delle linee

Le osservazioni riportate dal documento sono le seguenti:

- la capacità di trasporto oraria di ciascun ramo delle linee in oggetto è pari a 1276 *pass/h/dir*;
- la capacità di trasporto giornaliera di ciascun ramo delle linee in oggetto è pari a 19.140 *pass/giorno/dir*; tale dato è stato ricavato nell'ipotesi di un esercizio cadenzato a 30 *min* per l'intera giornata dalle ore 6.00 alle ore 21.00;
- sono necessari 6 veicoli in linea per la tratta Lecco-Molteno-Monza e 4 veicoli in linea per la tratta Molteno-Albate.

La conclusione riportata nel documento è quella che l'incremento della capacità di trasporto che si conseguirebbe con l'implementazione delle misure alla base del presente studio sarebbe superiore al 50%, con evidenti vantaggi per quanto riguarda il numero di passeggeri trasportabili nelle ore di punta e sull'intera giornata.

In ultimo viene osservato come sia stato preso in esame un cadenzamento regolare di 30 *min*, in quanto una diminuzione del cadenzamento porterebbe con sé l'esigenza di incrementare il numero di stazioni sede di incrocio. Infatti questo valore è apparso come utile compromesso tra l'esigenza di garantire un servizio efficiente e comodo per gli spostamenti verso i capolinea di Lecco, Como, Monza, la necessità di evitare di incrementare eccessivamente il numero di posti di incrocio, cercando di sfruttare appieno quelli già presenti attualmente, e l'esigenza di aumentare in modo sostanziale la capacità di trasporto della linea, garantendo un servizio realmente cadenzato e come tale facilmente memorizzabile da parte degli utenti.

16 La linea Como-Lecco: il bacino degli utenti

16.1 Domanda di trasporto nel territorio lombardo

Come viene esposto nel documento [26], il funzionamento del sistema dei trasporti dipende dall'interazione di due componenti: la domanda di mobilità di merci e passeggeri e l'offerta di infrastrutture e di servizi. Ormai da tempo, si è fatta strada la consapevolezza che per gestire il sistema dei trasporti e per governarne l'evoluzione nel tempo in termini sostenibili – sotto diversi punti di vista, da quello economico a quello ambientale – non è sufficiente limitarsi ad adeguare l'offerta della crescita della domanda, ma è necessario adottare misure diverse, di tipo organizzativo, tariffario, di regolazione, ecc. Condizione indispensabile per identificare il rapporto adeguato è la conoscenza della domanda di trasporto che consenta di inquadrare gli spostamenti nell'ambito territoriale, temporale e nella relazione tra le varie attività delle persone che si muovono.

L'indagine degli spostamenti di trasporto condotta dalla Regione Lombardia nel corso del 2002 ha consentito di stimare un volume di oltre 15 milioni di movimenti giornalieri, la maggior parte dei quali avviene all'interno dei confini regionali (circa il 95%).

La trasformazione della società, a cui si è assistito negli ultimi 20 anni, ha modificato il rapporto tra cittadini e metropoli. La progressiva riduzione dell'orario di lavoro e la possibilità di una sua gestione flessibile permettono diverse organizzazioni temporali della giornata, creando una richiesta d'uso della città legata ai servizi e allo svago.

In particolare, i capoluoghi sono forti attrattori di spostamenti, sia per lavoratori pendolari, sia per studenti pendolari, oltre che per il traffico merci.

La popolazione mobile, definita come l'insieme di tutte le persone che compiono almeno uno spostamento in una giornata media, è pari al 70% della popolazione complessiva della regione e ammonta quindi a circa 5,7 milioni di individui. Ogni individuo mobile compie mediamente ogni giorno 2,65 spostamenti (considerando anche i ritorni a casa).

Questa crescita considerevole della mobilità, determinata principalmente dalle modifiche del sistema produttivo oltre che dall'incremento del livello socio-economico della popolazione, ha prodotto come conseguenza la quasi totale congestione della rete viaria dell'area comprensoriale milanese, ed in parte anche di quella extra-comprensoriale, soprattutto nelle zone più fortemente antropizzate, ed in particolare, ai fini di questo progetto, di quelle verso Como, Molteno e Lecco.

16.2 Bacino degli utenti della linea Como-Lecco

Dal punto di vista più prettamente legato alla linea ferroviaria, il lavoro di Gandini [7], analizza in modo approfondito il bacino d'utenza della linea in questione.

Come sottolineato anche dallo studio di fattibilità di elettrificazione condotto dalla Provincia di Lecco [26] il servizio sulla tratta Molteno-Albate Camerlata è penalizzato dal fatto che le località di servizio sono spesso ubicate in posizione inadeguata rispetto ai centri abitati. Questa situazione, come già segnalato nel paragrafo 15.1, va a vantaggio dei servizi di trasporto pubblico automobilistico, che oltre a servire direttamente i centri abitati e ad una maggiore capillarità delle corse, hanno anche tempi di percorrenza inferiori (circa 1 h) se si considera il tempo di trasbordo ferroviario a Molteno.

Come già precedentemente presentato nel paragrafo 7.1.1.1, Gandini suddivide gli utenti afferenti ad una determinata stazione in utenza prossima e utenza di bacino, dove la prima indica l'utenza che si trova ad una distanza inferiore ai 1500 m dalla stazione e la seconda a fino a 4 km dalla stazione.

16.2.1 Utenza prossima

Inizialmente l'autore stima quale possa essere l'utenza prossima, attraverso applicazioni GIS ed utilizzando dati ISTAT riguardo la densità abitativa. Per questo tipo di utenza la distanza limite di 1500 m non è stata calcolata mediante una circonferenza di tale raggio con centro nella stazione, ma attraverso il calcolo della lunghezza del percorso che ogni utente dovrebbe fare. Un esempio può essere quello in Figura 16.2:1.



Figura 16.2:1 - Utenza prossima

In Tabella 16.2:1 si riportano i risultati dell'elaborazione di Gandini.

Stazione	Utenza prossima
Lecco	34127
Valmadrera	17364
Civate	8271
Sala al Barro - Galbiate	7228
Oggiono	12586
Molteno	5724
Casletto Rogeno	5381
Moiana	3749
Merone	6420
Anzano del Parco	3548
Brenna - Alzate	2640
Cantu	13136
Albate Trecallo	22419
Albate Camerlata	17703
Como San Giovanni	21189
TOTALE	181485

Tabella 16.2:1 - Utenza prossima in n° di abitanti per ogni stazione della linea Como-Lecco

16.2.2 Utenza di bacino

Per quanto riguarda l'utenza di bacino, invece, la distanza di 4 km è stata calcolata mediante una circonferenza il cui centro è la stazione di riferimento.

Stazione	Utenza di bacino
Lecco	48608
Valmadrera	18112
Civate	5400
Sala al Barro - Galbiate	11226
Oggiono	18909
Molteno	14964
Casletto Rogeno	15292
Moiana	22177
Merone	11655
Anzano del Parco	18921
Brenna - Alzate	17855
Cantu	60360
Albate Trecallo	8979
Albate Camerlata	35005
Como San Giovanni	99264
TOTALE	406727

Tabella 16.2:2 - Utenza di bacino in n° di abitanti per ogni stazione della linea Como-Lecco

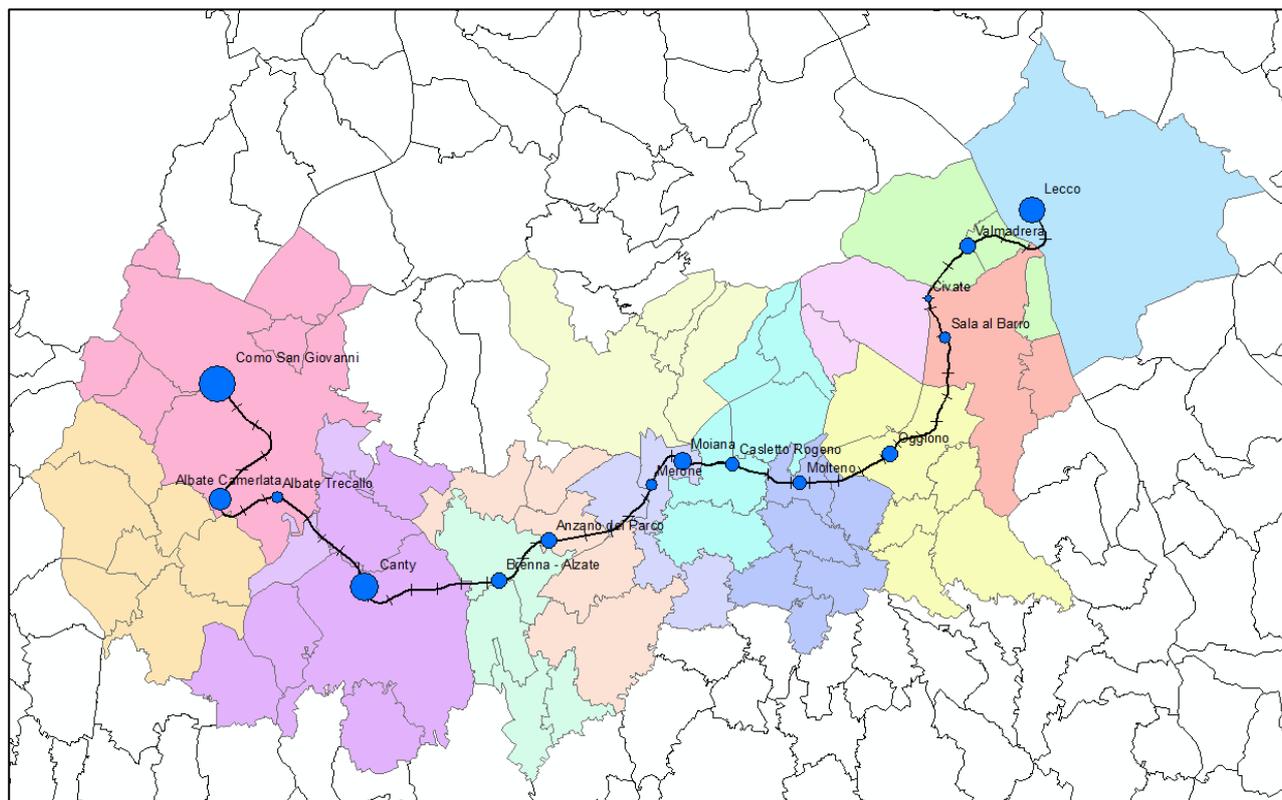


Figura 16.2:2 - Utenza di bacino

16.3 Utenza totale

È possibile, quindi, sommare i valori delle due tipologie di utenze per avere il numero totale di abitanti potenzialmente serviti dalla linea.

Stazione	Utenza prossima	Utenza di bacino	Utenza totale
Lecco	34127	48608	82735
Valmadrera	17364	18112	35476
Civate	8271	5400	13671
Sala al Barro - Galbiate	7228	11226	18454
Oggiono	12586	18909	31495
Molteno	5724	14964	20688
Casletto Rogeno	5381	15292	20673
Moiana	3749	22177	25926
Merone	6420	11655	18075
Anzano del Parco	3548	18921	22469
Brenna - Alzate	2640	17855	20495
Cantu	13136	60360	73496
Albate Trecallo	22419	8979	31398
Albate Camerlata	17703	35005	52708
Como San Giovanni	21189	99264	120453
TOTALE	181485	406727	588212

Tabella 16.3:1 - Utenza di bacino in n° di abitanti per ogni stazione della linea Como-Lecco

Confrontando questi dati, ricavati da Gandini, con i dati riportati da [23] è possibile calcolare la percentuale di utenti serviti rispetto al numero di utenti potenziali, ricavandone un valore piuttosto basso:

$$\frac{\text{passeggeri}}{\text{abitanti}} = \frac{679}{588212} = 0.11\%$$

È altresì da ricordare che i dati riguardano la totalità della popolazione e quindi anche coloro i quali non sono interessati da uno spostamento giornaliero casa-lavoro e casa-scuola.

17 La linea Como-Lecco: applicazione

17.1 Introduzione

L'obiettivo di questa trattazione è stato quello di realizzare uno strumento in grado di indicare in modo generale quali possano essere le modifiche da apportare ad un servizio ferroviario in modo che possa rendersi più attraente per l'utenza.

Grazie ad un questionario online è stato possibile raccogliere le preferenze di un campione di utenti. Ciò ha permesso di creare una graduatoria tra le caratteristiche del servizio, secondo l'importanza data dagli utenti intervistati.

Questa graduatoria, riportata in Tabella 17.1:1, vede distinguersi la caratteristica *frequenza*, distaccando di ben un punto il *comfort*.

Attributo	Valore del coefficiente
frequenza	-2.13425
comfort	1.0123
costo	-0.97807
tempo a piedi	-0.71958
tempo a bordo	-0.12276

Tabella 17.1:1 - Graduatorie delle caratteristiche del servizio offerto

È giunto ora il momento di provare ad applicare questo strumento ad un caso reale: la linea Como-Lecco. Come riportato nei capitoli precedenti e in quello successivo, questa linea è caratterizzata da impianti e apparati vecchi e insufficienti, che non fanno che peggiorare la frequentazione della direttrice da parte dell'utenza.

17.2 Criticità del sistema attuale

Il documento [26] riporta quali possano essere le criticità che interessano il sistema ferroviario composto dalle due linee.

Entrambe le linee ferroviarie sono caratterizzate da impianti e apparati molto datati ed insufficienti, per cui, pur nel rispetto della fondamentale condizione di sicurezza cui deve assolvere un modo di trasporto, sono molto condizionate le prestazioni complessive del sistema, inteso come infrastruttura e veicoli, che non riesce ad offrire ulteriori margini di offerta di trasporto.

Si ricordano alcune caratteristiche della direttrice Como-Lecco, come riportato in [26]:

- sistema di trazione diesel;
- semplice binario;
- impianto di segnalamento tramite blocco elettrico manuale e, tra Albate Camerlata e Molteno, gestione del distanziamento con il blocco manuale;
- posti di movimento gestiti tramite A.C.E. a leve e, in alcune stazioni, con A.D.M.;
- gestione della circolazione tramite Dirigenti di Movimento di stazione;
- distribuzione delle località di servizio di circa 3 km l'una dall'altra, rendendo la linea ferroviaria assimilabile come grafo e impostazioni di velocità a quelli propri di un sistema suburbano;
- il sistema di distanziamento prevede una sola sezione di blocco tra i posti di movimento, in alcuni casi ubicati a circa 8 km l'uno dall'altro.

L'effetto che questo sistema produce in un'area altamente abitata come la Brianza è rappresentato da una mobilità di trasporto rivolta quasi esclusivamente al vettore stradale. La saturazione delle tradizionali

arterie stradali, soprattutto nelle ore di punta, ha di converso il risultato di annullare quella parte di domanda potenziale che non riesce ad essere soddisfatta da entrambi i modi di trasporto con la conseguenza di produrre, oltre ad un abbassamento della qualità della vita della popolazione, anche sostanziali diseconomie dal punto di vista produttivo.

Le principali criticità che il sistema ferroviario in oggetto presenta, riportate dal documento, si possono elencare come di seguito:

- bassa velocità commerciale (velocità commerciale media dei treni regionali: Lecco-Como, $V_{cm} = 41.18 \text{ km/h}$, uniforme per quasi tutti i treni; Monza-Molteno, $V_{cm} = 32.05 \text{ km/h}$), dovuta principalmente all'elevato numero di località di servizio e alla loro distanza ravvicinata;
- impatto ambientale non trascurabile legato alle emissioni dei motori termici delle automotrici;
- disomogeneità ed arretratezza degli apparati di stazione e dei sistemi di distanziamento;
- presenza di segnalamento di seconda categoria e di segnalamento di protezione non completo;
- assenza di condizioni impiantistiche per l'effettuazione dei movimenti contemporanei;
- gestione della circolazione con controllo degli incroci da parte del personale dei treni;
- bassa qualità complessiva del prodotto circolazione (p.e. informazioni al pubblico) determinata, oltre che dalla carenza di impianti dedicati, dalla tipologia di esercizio in dirigenza locale;
- assenza di sottopassi pedonali in ambito stazione;
- presenza di un numero elevato di passaggi a livello (circa 1 ogni 2 km).

A queste criticità vanno aggiunte quelle derivanti dal sistema dei trasporti nel suo complesso che rendono il servizio ferroviario ancor meno appetibile. Esse sono:

- scarsa integrazione col servizio su gomma;
- insufficienza di servizi/strutture di interscambio gomma/ferro (parcheggi, viabilità, stazioni autolinee).

17.3 Ipotesi di partenza

Nei capitoli precedenti si sono presentati gli studi di fattibilità della Provincia di Lecco per la riqualificazione del sistema ferroviario composto dalla direttrice Monza-Molteno-Lecco (direttrice 10) e dalla direttrice Como-Molteno-Lecco (direttrice 8).

La riqualificazione proposta ha come idea di partenza la suddivisione in due parti della Como-Lecco: Como-Molteno e Lecco-Molteno. Quest'ultima tratta è servita principalmente dalla linea Monza-Molteno-Lecco.

L'ipotesi che invece si vuole sottendere in questo lavoro, è quella di dare maggiore importanza alla direttrice Como-Lecco, facendo terminare le corse della direttrice 8 a Molteno.

Questa ipotesi è avallata dal fatto che esiste già una linea che collega i due capoluoghi, Monza e Lecco, più attrezzata, a doppio binario ed elettrificata, come è possibile osservare dalla

Figura 17.3:1. Questa linea ha assunto il nome di S8, secondo la classificazione data da Trenord: parte da Milano Porta Garibaldi, passa da Monza, Carnate e poi giunge fino a Lecco (Figura 17.3:2). Co3:19 me si può osservare dall'orario della linea pubblicato sul sito Trenord, e qui riportato in Figura 17.3:3 e in Figura 17.3:4, la linea S8, da Milano a Lecco, è caratterizzata da una frequenza oraria per tutto il suo servizio, con un infittimento semiorario tra le 6.00 e le 8.00 e dalle 12.00 alle 22.00. Nel senso opposto, da Lecco a Milano, la linea è caratterizzata da una frequenza oraria per tutto il suo servizio, e un infittimento semiorario dalle 6.00 alle 8.00 e tra le 13.00 a fine servizio, quando da Lecco parte l'ultimo treno alle 22.07.

È interessante notare come per il verso da Milano a Lecco, dopo le 21.52, quando l'ultima corsa per Lecco parte da Milano Garibaldi, la stazione di origine si sposti a Milano Centrale per altre due corse alle 22.50 e alle 23.52.

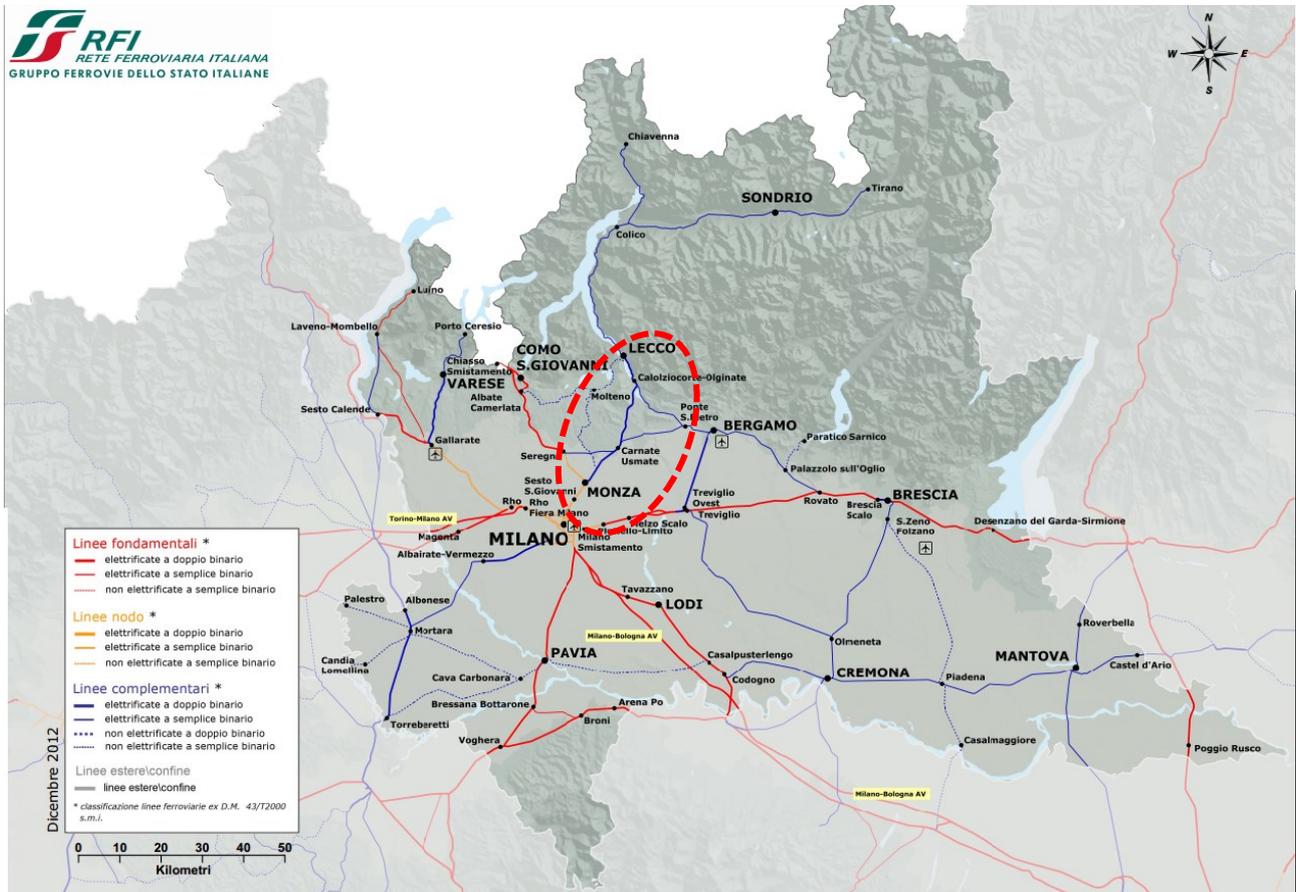


Figura 17.3:1 - Rete ferroviaria lombarda [40]; indicazione della posizione della Como-Lecco

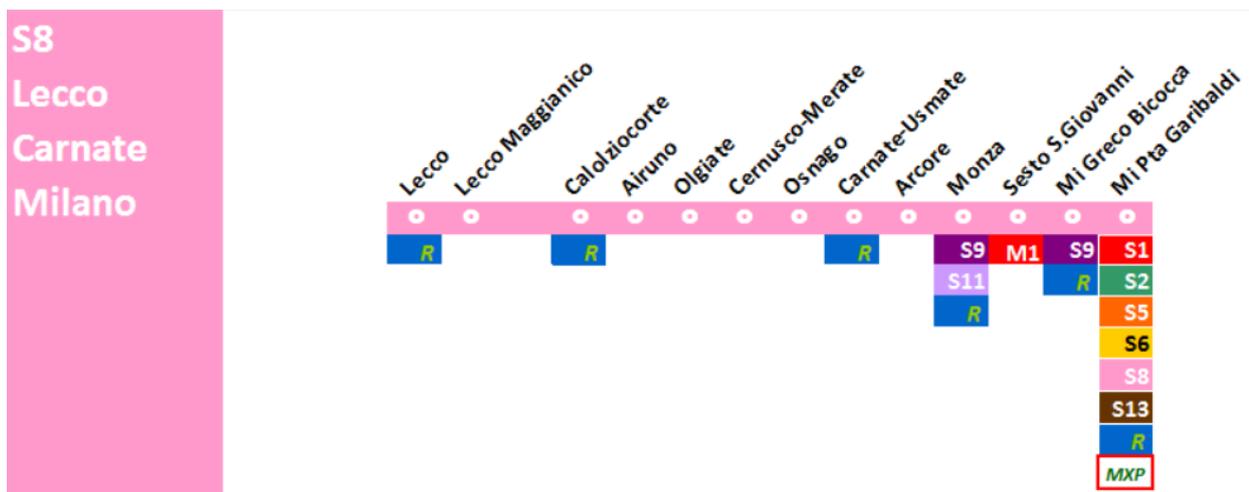


Figura 17.3:2 - Linea S8 da [42]

	S8 10542 [2]	S8 10544 [2]	S8 10546 [2]	S8 10548 [2]	S8 10550 [2]	S8 10552 [2]	S8 10554 [2]	S8 10556 [2]	S8 10558 [2]	S8 10560 [2]	S8 10562 [2]	S8 10564 [2]	S8 10566 [2]	S8 10568 [2]	S8 10570 [2]	S8 10572 [2]
	TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN
Milano Centrale																
Milano Porta Garibaldi	05.22	06.22	06.50	07.22	07.52	08.52	09.52	10.52	11.52	12.22	12.52	13.22	13.52	14.22	14.52	15.22
Milano Greco Pirelli	05.31	06.31	06.59	07.31	08.01	09.01	10.01	11.01	12.01	12.31	13.01	13.31	14.01	14.31	15.01	15.31
Sesto S. Giovanni	05.35	06.35	07.03	07.35	08.05	09.05	10.05	11.05	12.05	12.35	13.05	13.35	14.05	14.35	15.05	15.35
Monza	05.41	06.41	07.09	07.41	08.11	09.11	10.11	11.11	12.11	12.41	13.11	13.41	14.11	14.41	15.11	15.41
Arcore	05.47	06.47	07.15	07.47	08.17	09.17	10.17	11.17	12.17	12.47	13.17	13.47	14.17	14.47	15.17	15.47
Carnate-U. 173	05.52	06.52	07.20	07.52	08.22	09.22	10.22	11.22	12.22	12.52	13.22	13.52	14.22	14.52	15.22	15.52
Osnago	05.58	06.58	07.24	07.58	08.26	09.26	10.26	11.26	12.26	12.56	13.26	13.56	14.26	14.56	15.26	15.56
Cernusco-Merate	06.00	07.00	07.28	08.00	08.30	09.30	10.30	11.30	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00
Olgiate-Calco-Brivio	06.04	07.04	07.32	08.04	08.34	09.34	10.34	11.34	12.34	13.04	13.34	14.04	14.34	15.04	15.34	16.04
Airuno	06.08	07.08	07.36	08.08	08.38	09.38	10.38	11.38	12.38	13.08	13.38	14.08	14.38	15.08	15.38	16.08
Calolziocorte-Olginate 180-186	06.14	07.14	07.42	08.14	08.44	09.44	10.44	11.44	12.44	13.14	13.44	14.14	14.44	15.14	15.44	16.14
Vercurago-S. Girolamo																
Lecco Maggiano	06.19	07.19	07.47	08.19	08.49	09.49	10.49	11.49	12.49	13.19	13.49	14.19	14.49	15.19	15.49	16.19
Lecco 172-180	06.23	07.23	07.51	08.23	08.53	09.53	10.53	11.53	12.53	13.23	13.53	14.23	14.53	15.23	15.53	16.23

	S8 10574 [2]	S8 10576 [2]	S8 10578 [2]	S8 10580 [2]	S8 10582 [2]	S8 10584 [2]	S8 10586 [2]	S8 10588 [2]	S8 10590 [2]	S8 10592 [2]	S8 10594 [2]	S8 10596 [2]	S8 10598 [2]	S8 10600 [2]	S8 10602 [2]
	TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN
Milano Centrale															
Milano Porta Garibaldi	15.52	16.22	16.52	17.22	17.52	18.22	18.52	19.22	19.52	20.22	20.52	21.22	21.52	22.50	23.52
Milano Greco Pirelli	16.01	16.31	17.01	17.31	18.01	18.31	19.01	19.31	20.01	20.31	21.01	21.31	22.01	22.57	00.01
Sesto S. Giovanni	16.05	16.35	17.05	17.35	18.05	18.35	19.05	19.35	20.05	20.35	21.05	21.35	22.05	23.01	00.05
Monza	16.11	16.41	17.11	17.41	18.11	18.41	19.11	19.41	20.11	20.41	21.11	21.41	22.11	23.06	00.11
Arcore	16.17	16.47	17.17	17.47	18.17	18.47	19.17	19.47	20.17	20.47	21.17	21.47	22.17	23.12	00.17
Carnate-U. 173	16.22	16.52	17.22	17.52	18.22	18.52	19.22	19.52	20.22	20.52	21.22	21.52	22.22	23.18	00.22
Osnago	16.26	16.56	17.26	17.56	18.26	18.56	19.26	19.56	20.26	20.56	21.26	21.56	22.26	23.22	00.26
Cernusco-Merate	16.30	17.00	17.30	18.00	18.30	19.00	19.30	20.00	20.30	21.00	21.30	22.00	22.30	23.26	00.30
Olgiate-Calco-Brivio	16.34	17.04	17.34	18.04	18.34	19.04	19.34	20.04	20.34	21.04	21.34	22.04	22.34	23.31	00.34
Airuno	16.38	17.08	17.38	18.08	18.38	19.08	19.38	20.08	20.38	21.08	21.38	22.08	22.38	23.35	00.38
Calolziocorte-Olginate 180-186	16.44	17.14	17.44	18.14	18.44	19.14	19.44	20.14	20.44	21.14	21.44	22.14	22.44	23.41	00.44
Vercurago-S. Girolamo															00.47
Lecco Maggiano	16.49	17.19	17.49	18.19	18.49	19.19	19.49	20.19	20.49	21.19	21.49	22.19	22.49	23.46	00.51
Lecco 172-180	16.53	17.23	17.53	18.23	18.53	19.23	19.53	20.23	20.53	21.23	21.53	22.23	22.53	23.50	00.55

1 Si effettua fino al 3/8 e dal 26/8.
2 Sospeso nei festivi dal 4/8 al 25/8.

Figura 17.3:3 - Orario S8: Milano-Lecco

	S8 10545 [2]	S8 10547 [2]	S8 10549 [2]	S8 10551 [2]	S8 10553 [2]	S8 10555 [2]	S8 10557 [2]	S8 10559 [2]	7 33289 [2]	S8 10561 [2]	S8 10563 [2]	S8 10565 [2]	S8 10567 [2]	S8 10569 [2]	S8 10571 [2]
	TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN
Provenienza									Tirano						
Lecco 180-172	05.15	06.07	06.37	07.07	07.37	08.07	09.07	10.07	11.01	11.07	12.07	13.07	13.37	14.07	14.37
Lecco Maggiano	05.19	06.12	06.42	07.12	07.42	08.12	09.12	10.12		11.12	12.12	13.12	13.42	14.12	14.42
Vercurago-S. Girolamo	05.23														
Calolziocorte-Olginate 180-186	05.27	06.17	06.47	07.17	07.47	08.17	09.17	10.17		11.17	12.17	13.17	13.47	14.17	14.47
Airuno	05.33	06.23	06.53	07.23	07.53	08.23	09.23	10.23		11.23	12.23	13.23	13.53	14.23	14.53
Olgiate-Calco-Brivio	05.37	06.27	06.57	07.27	07.57	08.27	09.27	10.27		11.27	12.27	13.27	13.57	14.27	14.57
Cernusco-Merate	05.41	06.31	07.01	07.31	08.01	08.31	09.31	10.31		11.31	12.31	13.31	14.01	14.31	15.01
Osnago	05.44	06.34	07.04	07.34	08.04	08.34	09.34	10.34		11.34	12.34	13.34	14.04	14.34	15.04
Carnate-U. 173	05.48	06.39	07.09	07.39	08.09	08.39	09.39	10.39		11.39	12.39	13.39	14.09	14.39	15.09
Arcore	05.53	06.44	07.14	07.44	08.14	08.44	09.44	10.44		11.44	12.44	13.44	14.14	14.44	15.14
Monza S9	05.59	06.50	07.20	07.50	08.20	08.50	09.50	10.50	11.27	11.50	12.50	13.50	14.20	14.50	15.20
Sesto S. Giovanni	06.04	06.55	07.25	07.55	08.25	08.55	09.55	10.55		11.55	12.55	13.55	14.25	14.55	15.25
Milano Greco Pirelli	06.08	06.59	07.29	07.59	08.29	08.59	09.59	10.59		11.59	12.59	13.59	14.29	14.59	15.29
Milano Porta Garibaldi	06.16	07.08	07.38	08.08	08.38	09.08	10.08	11.08		12.08	13.08	14.08	14.38	15.08	15.38
Milano Centrale									11.40						

1 Si effettua fino al 3/8 e dal 26/8.
2 Sospeso nei festivi dal 4/8 al 25/8.

Figura 17.3:4 - Orario S8: Lecco-Milano

In questo modo, coloro che vogliono raggiungere Lecco da Milano o viceversa e tutte le stazioni/fermate presenti tra i due capolinea, possono utilizzare questa linea. Coloro che vogliono raggiungere una delle stazioni/fermate comprese tra Monza e Molteno, potrebbero utilizzare la linea esistente tra le due stazioni. Nel caso in cui, invece, si volesse raggiungere da Milano o Monza una delle stazioni/fermate della linea Como-Lecco, si potrebbe scegliere di prendere una linea tra la Milano-Carnate-Lecco, Molteno, o

Milano-Como-Chiasso e poi prendere la Como-Lecco per raggiungere la propria destinazione (Figura 17.3:5).

L'obiettivo è quello di favorire gli spostamenti della zona compresa tra i due capoluoghi verso Como e verso Lecco eliminando la necessità di trasbordo per poter viaggiare sull'intera linea.



Figura 17.3:5 - Stralcio dello schema ferroviario lombardo per la zona che comprende Milano, Monza, Como e Lecco

17.4 Modifiche

17.4.1 Indicazioni preliminari

Secondo il metodo sviluppato precedentemente, le operazioni necessarie per migliorare l'appetibilità di un servizio sono quelle di modificare le seguenti caratteristiche, in ordine di importanza:

- frequenza;
- comfort;
- costo;
- tempo a piedi;
- tempo a bordo.

Come si diceva nel paragrafo 12.2, è necessario confrontare queste caratteristiche del servizio con la linea presa in considerazione.

17.4.2 La frequenza

Nel caso in questione, per quanto riguarda gli spostamenti mattutini per la direzione da Lecco verso Como si prendono in considerazione sia l'orario della Como-Lecco, sia quello della Monza-Molteno-Lecco, reperibili da [42], cioè si prende in considerazione l'orario delle linee che interessano, almeno in parte, la direttrice 10. Si può osservare la presenza, dalle 6.00 alle 8.00, di ben 7 treni, anche se solo due di questi non prevedono cambi a Molteno. Successivamente la frequenza diventa oraria e cadenzata ed è necessario il trasbordo. Questo cadenzamento, quindi, è dovuto alla linea Monza-Molteno-Lecco. Se però, come da ipotesi, si è interessati solamente a quegli spostamenti che non necessitano di trasbordi, per quanto riguarda l'ora di punta mattutina, la frequenza è di circa *1h 30min*, ma non cadenzata: partenze alle 6.19 e alle 7.51.

Per quanto riguarda il senso inverso (da Como verso Lecco), invece, come già osservato nel paragrafo 15.1, la mattina sono presenti solo due corse utili, alle 6.18 e alle 8.57.

Se invece si vanno a guardare i treni disponibili per il ritorno a casa per la fine della giornata lavorativa, da Como a Lecco non sono previste corse senza cambio, se non alle 19.41 da Como. Il discorso per il percorso inverso si fa ancora più critico, in quanto sarà necessario fare un cambio di treno a Molteno (o addirittura a Monza, nel caso nel primo tratto si prenda la linea Milano-Como-Chiasso).

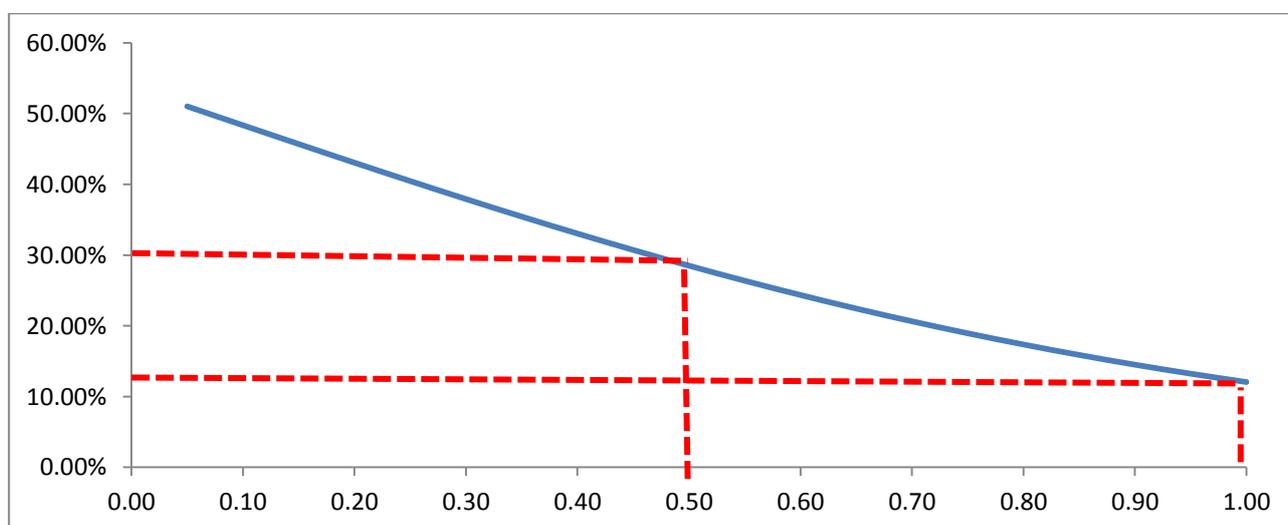


Grafico 17.4.1 - Variazione dell'attributo frequenza

Si può affermare, quindi, che la linea non sia caratterizzata da una frequenza. Per questo motivo, avendo una lettura conservativa del Grafico 17.4:1, si può pensare che la situazione attuale sia in corrispondenza del punto più basso della funzione, che descrive la frequenza peggiore, con una percentuale di scelta pari a circa il 10%. Il raddoppio della frequenza definita dal punto peggiore del grafico può portare al triplicamento della percentuale dei passeggeri trasportati: da 679 passeggeri/giorno a circa 2000 passeggeri/giorno. Con un aumento degli utenti serviti, si renderebbe quindi necessario un aumento dei posti a sedere disponibili, in modo da poter offrire un servizio passeggeri di buona qualità. La variazione della frequenza si può ottenere tramite la modifica dell'esercizio ferroviario.

È anche vero che, per il caso in esame, sarebbero necessarie alcune operazioni infrastrutturali:

- un rimodernamento del tipo di segnalamento che permetta di poter utilizzare dei margini minori tra corse successive;
- trasformazione di alcune fermate in stazioni, in modo che l'incrocio tra due treni provenienti dai due capolinea possa avvenire in un numero maggiore di punti della linea o più in generale, aumentare il numero di posti di movimento. O, comunque, l'aumento dei posti di movimento.

Un miglioramento dal punto di vista della frequenza potrebbe voler dire, come anche riportato in [20], avere un certo tipo di frequenza durante tutta la giornata, anche minima, un treno ogni 2 h, ad esempio, per poi infittirla per l'ora di punta, ad esempio un treno ogni 30 min o anche 15 min. A seconda delle disponibilità economiche, poi, si potrà proporre immediatamente una frequenza di questo tipo, oppure proporre in modo graduale frequenze sempre più fitte, fino a raggiungere la quota desiderata.

17.4.3 Il comfort

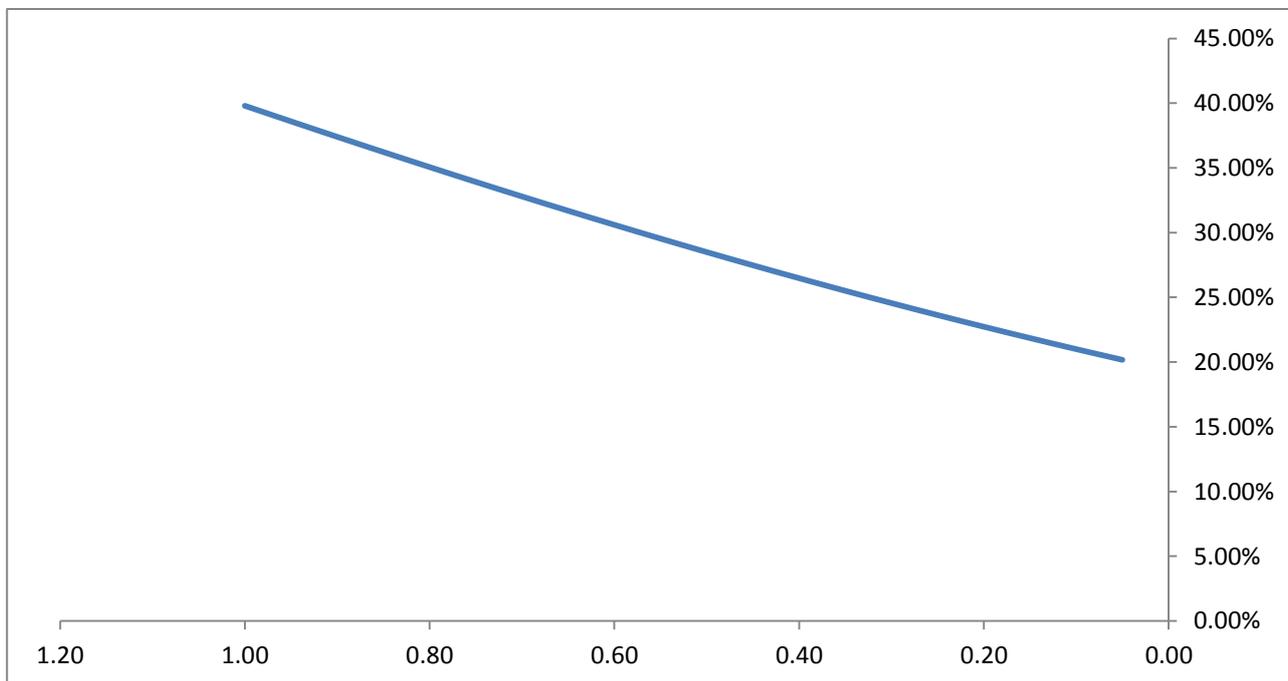


Grafico 17.4:2 - Variazione dell'attributo comfort

Per quanto riguarda il *comfort* (Grafico 17.4:2), per la linea in questione, ha poco senso migliorare il numero di posti a sedere per il solo scopo di aumentare l'attrattività del servizio. Infatti, dai dati che sono stati illustrati in [23], il traffico passeggeri sulla linea è solo di 679 passeggeri/giorno, contro un'offerta di 15 treni/giorno che offrono 200 posti ciascuno (i 15 treni/giorno contano solo i treni diretti tra i due

Applicazione

La linea Como-Lecco: applicazione

capoluoghi e o collegamenti che richiedono un cambio a Molteno). Questa osservazione è in controtendenza rispetto alle proposte di riqualificazione riportate in [26], dove si proponeva di aumentare il numero di posti viaggianti.

Migliorare il comfort della linea potrebbe essere una operazione successiva al periodo di assestamento dovuto al potenziamento della frequenza. Migliorare il comfort, oltre ad aumentare il numero di posti a sedere disponibili potrebbe significare anche l'utilizzo di carrozze moderne e più accoglienti, che potrebbero essere in grado di aumentare l'appetibilità del servizio.

17.4.4 Costo

Modificare il *prezzo* del biglietto ferroviario, invece, potrebbe portare dei benefici tangibili sulla linea presa in considerazione, rendendola competitiva, almeno dal punto di vista economico, con le altre offerte di trasporto, in primis l'autovettura personale. Ma la modifica del tariffario per le tratte locali è un'operazione che richiede maggiori sovvenzioni da parte della regionale. Questa operazione, quindi, non verrà presa in considerazione.

17.4.5 Tempo a piedi

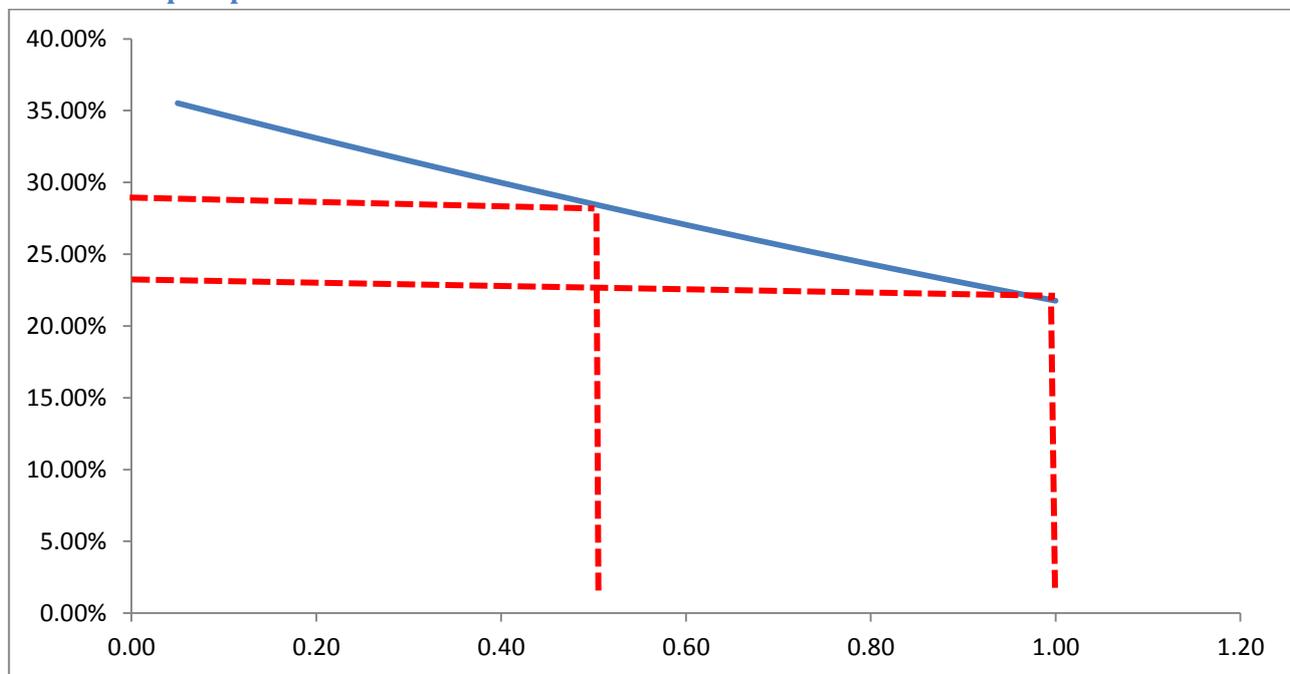


Grafico 17.4:3 - Variazione dell'attributo tempo a piedi

Per quanto riguarda la distanza tra la propria abitazione e la stazione di origine e la distanza tra la stazione di destinazione e la propria meta, è possibile osservare il Grafico 17.4:3: un dimezzamento della distanza da percorrere porterebbe ad un aumento superiore al 5% dell'utenza trasportata.

La modifica della distanza da percorrere per raggiungere la propria stazione di riferimento può essere eseguita in diversi modi:

- avvicinare le stazioni/fermate all'utenza, mediante soluzioni di tipo tramtreno. Esse prevedono il distacco del mezzo dalla linea classica passando per la cittadina che si vuole meglio servire (Figura 17.4:1);

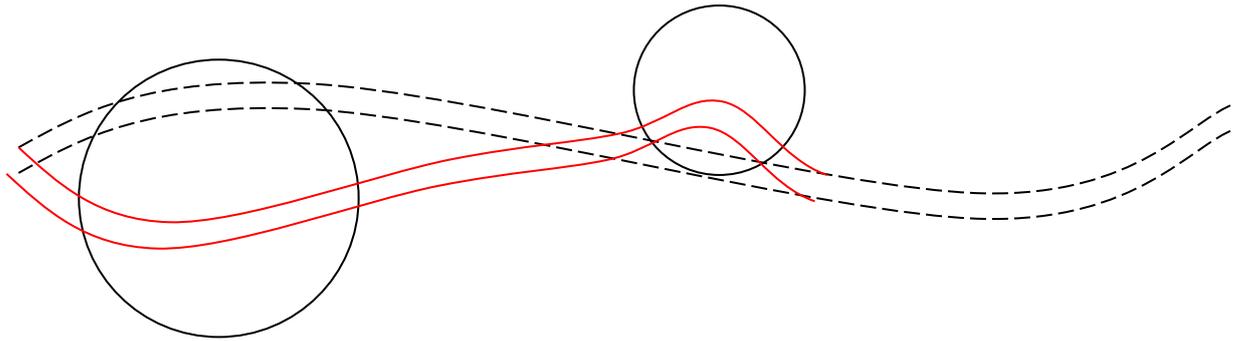


Figura 17.4:1 - Esempio di modifica del percorso, che sposta la linea all'interno del territorio cittadino, con specifica stazione/fermata

- eliminazione dei vincoli architettonici, di fatto accorciando il percorso che l'utente deve fare per raggiungere la stazione, difficoltà facilmente riscontrabile dalla Figura 17.4:2 riportata in [7]. Esempi possono essere sottopassaggi o sovrappassaggi;
- facilitare l'accessibilità della stazione mediante parcheggi di interscambio modale, anche per la mobilità ciclabile. La soluzione riguardante la mobilità ciclabile necessita un certo tipo di sforzo da parte dei comuni, in quanto richiede la presenza di piste ciclabili in ambito comunale. Da questo punto di vista può essere interessante la possibilità di poter caricare sul treno il proprio mezzo.



Figura 17.4:2 - Distanza casa-stazione, da Gandini [7]

17.4.6 Tempo a bordo

Secondo il modello costruito basandosi sui dati di preferenze degli utenti (Grafico 15.1:1), il tempo a bordo non è una caratteristica dell'offerta significativa per l'utenza. Infatti un dimezzamento del tempo di percorrenza porterebbe un aumento dell'utenza solamente di pochi punti percentuali.

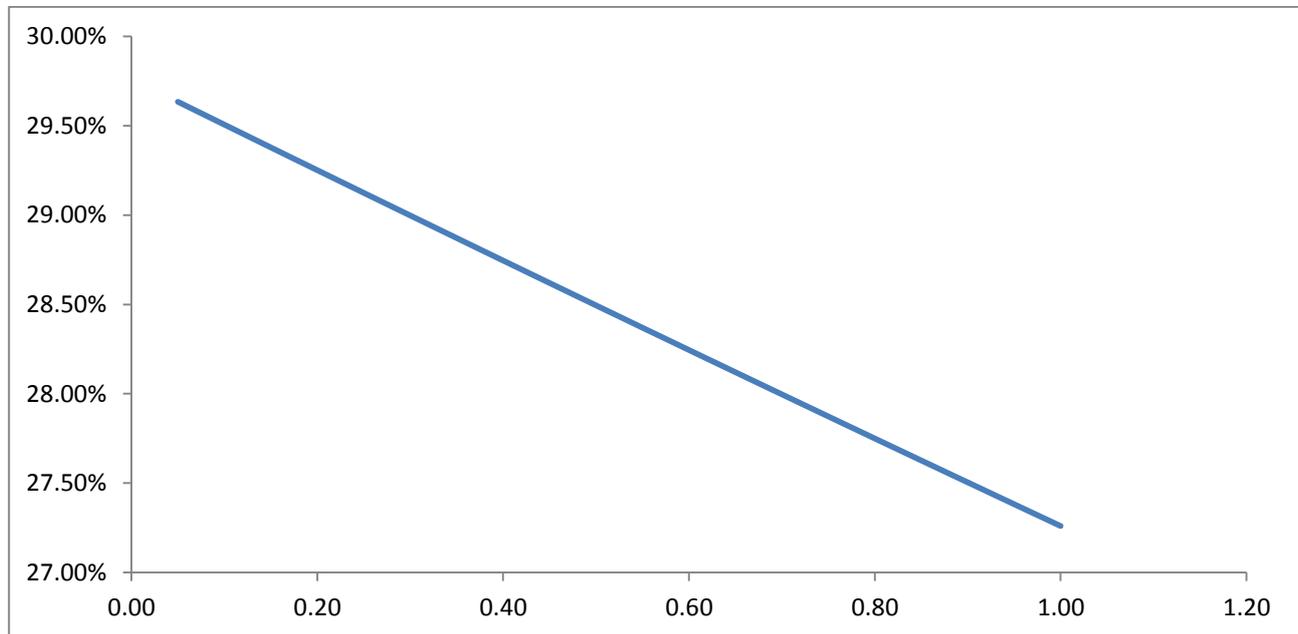


Grafico 17.4:4 - Variazione del tempo a bordo

Nonostante ciò, si elencano possibili azioni che si possono effettuare sul servizio per migliorarlo dal punto di vista del tempo di percorrenza:

- utilizzo di motrici più performanti dal punto di vista dell'accelerazione e della frenatura. Come osservato nel paragrafo 14, infatti, la velocità massima permessa lungo la linea non è molto alta e varia da tratta a tratta, ed è comunque inferiore ai 90 km/h . Non è quindi la velocità massima raggiungibile dal treno che può diminuire il tempo di percorrenza della linea;
- sostituzioni degli scambi presenti con scambi che permettano di percorrerli con una velocità maggiore anche in deviata;
- eliminazione dei passaggi a livello, che per sicurezza vengono percorsi a 50 km/h , e loro sostituzione con sottopassi o sovrappassi;
- eventuale soppressione di alcune fermate/stazioni nel caso di scarso traffico utenti.

17.4.7 Conclusione

Per la linea in questione, quindi, basandosi sul metodo definito precedentemente, si possono consigliare delle priorità di intervento, sintetizzati nella Tabella 17.4:1. Naturalmente sarà necessario tenere conto della disponibilità economica per l'intervento da effettuare.

Attributo	Possibilità di intervento
1. Frequenza	Aumento dei posti di movimento
	Segnalamento di tipo più moderno
	Modifica del servizio offerto
2. Tempo a piedi	Soluzioni di tipo tramtreno che modifichino il tracciato della linea, facendola passare più internamente ai centri abitati, avvicinando il servizio agli utenti potenziali
	Eliminazione dei vincoli architettonici, accorciando, di fatto, il percorso che l'utente deve compiere per raggiungere la stazione
	Creare stazioni di interscambio con altri mezzi del trasporto pubblico collettivo
	Creare parcheggi di interscambio con il mezzo privato
	Creare parcheggi per la mobilità ciclabile e piste ciclabili ad esso dirette

Tabella 17.4:1 - Priorità di intervento

Le operazioni preliminari che si consigliano, per la linea in questione, per poter aumentare il bacino di utenti raccolti per il trasporto ferroviario riguardano l'ammodernamento degli impianti ferroviari e l'aumento dei posti di movimento. Questi, oltre ad aumentarne l'automazione e la sicurezza, possono permettere di utilizzare impianti di segnalamento che consentano l'aumento della frequenza dei treni. Per poter accrescere in modo significativo il numero di utenti che utilizzano la linea ferroviaria Como-Lecco l'operazione che risulta essere la più performante è l'aumento della frequenza delle corse. Questo intervento, per quanto riguarda la linea in questione, permette, secondo i dati raccolti, di quasi triplicare l'utenza trasportata. Ciò, quindi, sottende l'aver abbastanza posti disponibili. Nel caso in cui non lo fossero, sarà necessario predisporre più del dovuto, in modo tale che la carrozza non sia colma di utenti e quindi possa scoraggiare il viaggio di nuovi passeggeri, ma, al contrario, in futuro, possa attirare nuovi utenti. La mossa successiva potrebbe essere quella di una riorganizzazione delle stazioni/fermate e del percorso per raggiungerle, agevolando l'interscambio con altri mezzi come autobus, autovetture personali e biciclette. In questo modo sarà possibile attrarre anche utenza più lontana.

Naturalmente tutte queste operazioni non hanno dei costi economici irrilevanti, e sarà compito del decisore politico intraprendere le azioni prioritarie secondo le disponibilità finanziarie.

Conclusioni

In un'ottica di sostenibilità economica e ambientale il metodo sviluppato da questa Tesi ha permesso di definire una gerarchia delle caratteristiche del servizio ferroviario.

Il processo che ha portato allo sviluppo di questo metodo è composto di più operazioni.

A livello preliminare è stato necessario individuare quale potesse essere uno strumento valido in grado di garantire oggettività all'interno del metodo da definire. Questo strumento è stato identificato nel processo di calibrazione dei modelli comportamentali. Questi modelli forniscono una funzione che simula il comportamento degli utenti in dipendenza delle caratteristiche descrittive delle alternative che sono proposte loro. Il processo di calibrazione, permette di calcolare i coefficienti moltiplicatori degli attributi presenti all'interno di queste funzioni, e quindi fornisce una misura della rilevanza dell'attributo stesso per il campione di utenti.

Tramite l'*indagine SP*, raccogliendo le preferenze di circa 350 utenti, è stato possibile calibrare il modello comportamentale scelto: il Logit Binario.

L'operazione principale relativa allo sviluppo dell'*indagine SP* è stata la *scelta* di quali attributi definenti le alternative utilizzare. È infatti preponderante la necessità di definire un compromesso tra una descrizione esauriente dell'alternativa, e quindi un alto numero di attributi, e la necessità di sintesi, che richiede il ricorso al minor numero possibile di attributi. Una buona descrizione, infatti, permette all'utente di avere una visione completa del problema che gli è stato sottoposto. Allo stesso tempo, però è necessario che questa descrizione non sia troppo prolissa, così che l'intervistato non sia portato a dare peso a solo alcuni attributi, tralasciando gli altri e non venga confuso dalla troppa mole di informazioni ricevute.

Il processo di *calibrazione* è stato effettuato tramite l'uso di un software Open Source per analisi statistiche, "R", in grado, tramite specifiche righe di comando, di calcolare i coefficienti moltiplicativi. R, infatti, è un software computazionale utilizzato largamente in ambito statistico, e quindi si presenta come una valida soluzione per l'obiettivo ricercato.

Calibrato il modello è necessario rendere confrontabili i coefficienti calcolati. Infatti, essi hanno unità di misura differenti, o comunque, anche nel caso in cui le unità di misure fossero le stesse, si riferiscono ad attributi che operano su intervalli di valori assunti molto differenti. Per conseguire la possibilità di confronto tra i coefficienti è stato necessario normalizzare i livelli degli attributi e quindi, ricalcolare la calibrazione dei coefficienti. La *normalizzazione* degli attributi ha permesso, quindi, di slegare gli attributi dalla loro unità di misura e dal proprio intervallo di lavoro.

L'ultima fase è stata quella di creare la *gerarchia* degli attributi in base ai valori riscontrati.

Il processo definito, in conclusione, si presenta come un modello **oggettivo**, in quanto viene determinato in base a dati raccolti tra gli utenti intervistati, **basato su dati reali**. È uno strumento **replicabile e generale**, poiché lo è la situazione descritta dall'*indagine SP* e si può, quindi, applicare a tutte le linee ferroviarie attualmente scarsamente utilizzate e potenzialmente rivalutabili come alternative efficaci per spostamenti sistematici di tipo casa-lavoro e casa-scuola. Naturalmente può essere necessario adattare la gerarchia alla specificità della situazione in oggetto ma i risultati ottenuti e descritti riescono comunque a fornire delle linee generali sulle priorità d'intervento. Infine, ulteriore elemento di validità, questo metodo permette,

attraverso il ricorso ad un modello Logit Binomiale calibrato, di avere una **stima indicativa** dei potenziali effetti dell'intervento sull'attrattività del servizio ferroviario.

L'indagine SP, inoltre, si è dimostrata una preziosa risorsa poiché ha permesso di indagare il comportamento degli utenti per situazioni future ipotetiche; dato sicuramente più interessante, per gli scopi di questa Tesi, di un'indagine volta a conoscere il comportamento attuale degli utenti. Inoltre è stato possibile sviluppare questa indagine con un impegno economico praticamente nullo, ricorrendo esclusivamente a software open source, a fronte tuttavia di un non indifferente onere analitico.

La presente Tesi, infine, si è occupata, di applicare il metodo definito al caso studio della Como-Lecco, linea ferroviaria attualmente scarsamente utilizzata. Naturalmente sono presenti altri casi di ferrovie di questo tipo, di cui un esempio in territorio lombardo può essere la Pavia-Codogno.

Possibili sviluppi

I risultati ottenuti al termine del lavoro di tesi hanno permesso di raggiungere gli obiettivi inizialmente prefissati. Tuttavia, durante lo svolgimento delle indagini, così come nella fase di analisi dei dati raccolti, sono emersi elementi di interesse connessi agli obiettivi specifici del lavoro che possono meritare specifici approfondimenti in successivi studi e ricerche.

Il metodo che è stato sviluppato permette di creare una gerarchia tra gli attributi scelti per la descrizione dello scenario. Tuttavia è possibile scegliere altri attributi, e quindi procedere con una nuova indagine, per avere differenti interventi possibili da effettuarsi sulla linea ferroviaria da gerarchizzare. Si possono quindi individuare degli attributi più interessanti e significativi dal punto di vista della particolare situazione con cui si ha a che fare. È altresì vero, come precedentemente affermato, che il caso riguardante le linee a scarso traffico necessita di modifiche ed interventi che possono essere definiti come "base". È quindi improbabile che sia necessario scegliere attributi differenti a quelli proposti nella seguente tesi.

Si può affermare, comunque, che quanto sviluppato nel presente lavoro si possa presentare anche come strumento per l'analisi di possibili interventi anche di linee di diverso tipo, e non unicamente per linee a scarso traffico. Esempi possono essere:

- le linee turistiche;
- linee attraverso le quali gli utenti percorrono distanze maggiori (o minori) rispetto alla fascia chilometrica studiata ed assunta come riferimento in questa trattazione;
- linee già sufficientemente utilizzate di cui, però, si vuole migliorare maggiormente l'attrattività per svariati motivi, come ad esempio la necessità di trasferire alcuni utenti dal trasporto su gomma al trasporto su ferro per diminuire la congestione su strada.

Per lo sviluppo di metodi adatti a queste tipologie di linee, sarà necessario modificare (eventualmente anche solo parzialmente) gli attributi descrittivi dell'offerta e formula un'altra indagine affinché si possa operare una nuova calibrazione e quindi trovare nuovi valori degli attributi da gerarchizzare.

Per quanto riguarda le linee turistiche, esempi di attributi differenti potrebbero essere la presenza o meno di carrozze panoramiche, le caratteristiche di ricettività e intrattenimento del territorio analizzato, ...

Nel caso di linee già sufficientemente utilizzate, invece, uno degli attributi potrebbe riguardare la possibilità di interscambi (con auto provata o con servizi automobilistici).

È inoltre possibili variare, anche, la quantità e i valori dei livelli utilizzati per descrivere gli attributi. In questo modo è possibile variare gli intervalli di normalizzazione e quindi osservare come eventualmente potrebbero variare i reciproci rapporti tra gli attributi.

Un altro elemento da investigare potrebbe riguardare la raccolta di maggiori informazioni riguardanti gli intervistati. È possibile, infatti, attraverso l'indagine proposta, ricevere informazioni utili per la caratterizzazione della domanda.

Un esempio potrebbe essere quello di ottenere in modo più esplicito i dati riguardanti gli spostamenti quotidiani degli utenti contattati, cioè l'origine e la destinazione del loro spostamento. In questo modo sarebbe possibile sostituire la descrizione della situazione ipotetica con l'ipotesi che lo spostamento in questione sia quello abituale dell'utente. L'indagine così potrebbe essere ancora più rappresentativa della realtà di chi risponde, giacché la situazione che si sta analizzando appartiene interamente all'utente. Così facendo, l'indagine sarà legata ancora più al territorio conosciuto dall'intervistato. Tuttavia, in questo modo, il modello che si andrà creare sarà il risultato della calibrazione basato su dati che rispecchiano spostamenti differenti l'uno dall'altro. Il modello, che per sua natura non riesce a rappresentare tutti i comportamenti, non riuscirà a simulare nel miglior modo possibile il comportamento degli utenti.

Altre caratteristiche dell'intervistato potenzialmente significative possono essere quelle riguardanti il possesso della patente di guida, il numero di vetture disponibili rapportate ai patentati presenti in famiglia. In tal modo sarebbe possibile verificare che le risposte fornite dall'utente siano congruenti con le sue possibilità (chi sceglie di utilizzare l'automobile per il suo spostamento deve per forza averne una disponibile).

Per quanto riguarda gli utenti intervistati, inoltre, si potrebbe anche cercare di incrementare il bacino di utenti contattati, andando anche a coprire quei segmenti di popolazione che gli strumenti utilizzati per la diffusione del questionario (e-mail e social network) non sono riusciti a raggiungere.

Altri possibili sviluppi potrebbero essere quelli riguardanti l'utilizzo dello stesso metodo per la gerarchizzazione degli attributi di un differente mezzo di trasporto pubblico collettivo, come ad esempio può essere un servizio tramviario o un servizio di autolinee. Naturalmente, in questo caso, si dovrà procedere a una diversa definizione degli attributi, più calzanti la situazione in oggetto, e quindi a una nuova indagine SP.

Per migliorare il processo di raccolta dei dati, è auspicabile ricercare un software d'indagine che permetta di sottoporre i gruppi di domande agli intervistati in modo sequenziale e non casuale. In questo modo sarà possibile raccogliere un numero di risposte costante per ogni gruppo, salvo questionari non completati.

Bibliografia

- [1] Agresti Alan, *“Categorical Data Analysis”*, Wiley Interscience, Hoboken, New Jersey, 2002;
- [2] Casartelli Tiziano, Merisio Luca, *“PAESAGGI DI BRIANZA, Strade, ferrovie e tramvie nel paesaggio ottocentesco”*, Lysis Edizioni, 2012;
- [3] Cascetta Ennio, *“Modelli per i sistemi di trasporto – Teoria e applicazioni”*, UTET, Novara, 2006;
- [4] Cassano Giandomenico, *“Gli elementi dei tracciati ferroviari”*, slide del corso di Infrastrutture ferroviarie, Milano;
- [5] Cassano Giandomenico, *“SISTEMA ERTMS. Impianti di Telecomunicazioni. Circolazione e normativa. Impianti di comando e controllo”*, slide del corso di Infrastrutture ferroviarie, Milano;
- [6] Kanafani Adib K., *“Transportation Demand Analysis”*, McGraw-Hill, 1983;
- [7] Gandini Paolo, *“Soluzioni per il possibile rilancio di linee ferroviarie a scarso traffico”*, relazione passaggio II-III anno per il corso di dottorato in Infrastrutture di Trasporto;
- [8] Giorgietti, *“Il progetto di legge presentato dal ministro dei lavori pubblici alla Camera dei Deputati e la città e provincia di Como”*, Como, 1878;
- [9] Lupi Marino, *“Il modello 4 stadi”*, slide per il corso di tecnica ed economia dei trasporti, Bologna, 2010;
- [10] Maja Roberto, Daleno Marco, *“Analisi di ripartizione di modale. Ipotesi di carico della rete e dimensionamento del servizio”*, esempio di simulazione di un sistema di trasporto per il corso Tecnica ed economia dei trasporti, giugno 2008;
- [11] Maja Roberto, *“Elementi di economia dei trasporti”*, dispense per il corso di Tecnica ed economia dei trasporti, Milano, 2009;
- [12] Maja Roberto, *“Modellizzazione e simulazione dei trasporti”*, dispense per il corso di Tecnica ed economia dei trasporti, Milano, 2011;
- [13] Maja Roberto, *“Circolazione ferroviaria”*, dispense del corso di Esercizio Ferroviario, Milano, ottobre 2011;
- [14] Martinis Paolo, *“Appunti di pianificazione dei trasporti”*, dispense per il corso di Pianificazione dei trasporti, Trieste, 2003;
- [15] Molteni Loris, *“La metrotranvia di Como - Analisi tecniche delle linee metrotranviarie”*, Milano, 2013;
- [16] Nuzzolo Agostino, *“Modello di domanda di trasporto”*, dispense per il corso di Progettazione dei sistemi di Trasporto, Roma, 2003;
- [17] Ortùzar Juan de Dios, Willumsen Luis G., *“Pianificazione dei sistemi di trasporto”*, Ulrico Hoepli Editore, Milano, 2006;
- [18] Ricci Stefano, *“Tecnica ed Economia dei Trasporti”*, Ulrico Hoepli Editore, Milano, 2011;

Bibliografia

- [19] Sanko Nobuhiro, *“Guidelines for Stated Preference Experiment Design”*, 2001;
- [20] Vaghi Emanuele, *“Seminario di orario ferroviario e relazione orario-infrastruttura”*, seminario per il corso di Esercizio ferroviario;
- [21] *“Linea Lecco-Camerlata. Planimetria-Profilo”*, Esercizio della rete adriatica, Direzione dei lavori, maggio 1890;
- [22] *“Noi Italia. 100 statistiche per capire il paese in cui viviamo”*, Istat, 2013;
- [23] *“Pianificazione integrata del servizio – Direttrice 10 Lecco Molteno Como”*, TreNord, Febbraio 2012;
- [24] *“Programma Strategico 2009. Rapporto sull’incidentalità nei trasporti”*, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 2008;
- [25] *“Relazione della Commissione consigliere di Cantù al consiglio Provinciale di Como”*, Archivio di Stato di Como, 10 settembre 1880;
- [26] *“Riqualificazione ed Elettificazione delle linee ferroviarie Lecco-Molteno-Monza e Lecco-Molteno-Como. Studio di fattibilità”*, Provincia di Lecco, Aprile 2010;
- [27] Bombino Luigi, Moroder Helmut, *“La linea ferroviaria Merano-Malles”*, in *“La tecnica professionale”*, a. 13, n. 3, marzo 2007;
- [28] Carbone Armando, Carteni Armando, Cascetta Ennio, *“La progettazione quality based nel trasporto pubblico locale. Il sistema di metropolitana regionale della Campania”*, in *“Ingegneria Ferroviaria”*, a. LXVIII, n. 3, marzo 2013;
- [29] *“La ferrovia Como-Lecco”*, La Provincia di Como, 19 gennaio 1884;
- [30] *“La ferrovia Como-Lecco”*, La Provincia di Como, 28 gennaio 1884;
- [31] *“Diesel trams: a new way forward?”*, in *“Modern Railways”*, n. 3, marzo 2007;
- [32] support.microsoft.com;
- [33] sviluppoeconomico.gov.it;
- [34] www.aci.it;
- [35] www.alstom.com;
- [36] www.ferrovie.it;
- [37] www.istat.it;
- [38] www.limesurvey.org;
- [39] www.r-project.org;

[40] www.rfi.it;

[41] www.trenitalia.it;

[42] www.trenord.it;

[43] www.viamichelin.it.