

UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA



UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA

Dipartimento di Ingegneria Civile

**Dottorato di Ricerca in
Ingegneria Civile e Industriale**

CICLO

XXIX

**SISTEMI INNOVATIVI PER LO SVILUPPO DELLA MOBILITÀ SOSTENIBILE:
ASPETTI METODOLOGICI E SPERIMENTALI**

Settore Scientifico Disciplinare ICAR/05

Coordinatore:

Ch.mo Prof. Franco Furgiuele

Firma

Supervisore/Tutor:

Ch.mo Prof. Giuseppe Guido

Firma

Dottorando: Ing. Daniele Rogano

Firma

Sommario

INDICE DELLE FIGURE	4
INDICE DELLE TABELLE	5
INDICE DEI GRAFICI	6
INTRODUZIONE	7
CAPITOLO 1	10
INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS	10
1.1 Intelligent Transport Systems	10
1.2 ATIS – Sistemi di informazione avanzati all’utenza	11
1.2.1 Pre-trip information	13
1.2.2 En-route information	14
1.2.3 External information	16
1.3 Applicazione degli ITS al trasporto pubblico	17
1.4 ITS in Italia	19
1.5 Il quadro normativo degli ITS in Italia	22
CAPITOLO 2	23
DOMANDA DI MOBILITÀ	23
2.1 La domanda di trasporto	25
2.2 I modelli di domanda	26
2.3 La relazione matematica della domanda	28
2.4 Modelli per la rappresentazione della domanda	31
2.4.1 Il modello Logit Multinomiale	33
2.4.2 Modello Logit Binomiale	35
2.5 Il modello di ripartizione modale	37
2.5.1 Il sotto-modello di ripartizione modale	38
2.6 Indagini campionarie	41
2.6.1 Le indagini	41
2.6.2 L’indagine SP	42
2.6.3 Progettazione dell’indagine	45
CAPITOLO 3	49
MODELLAZIONE DEI SERVIZI DI TRASPORTO PUBBLICO LOCALE	49
3.1 Utilizzo dei GIS per la modellazione dei sistemi di trasporto	49
3.2 Delimitazione dell’area di studio	52
3.3 Il modello dei dati del servizio di Trasporto Pubblico Locale	53
3.3.1 Modello Arco-Nodo	54
3.4 Sistemi di referenziazione lineare e segmentazione dinamica	56

CAPITOLO 4	60
LA PIATTAFORMA DI INFOMOBILITÀ	60
4.1 Architettura della piattaforma	60
4.1.1 Architetture multi-livello	61
4.1.2 La stratificazione	62
4.2 Lo sviluppo secondo pattern	63
4.2.1 Il pattern Model View Controller (MVC)	64
4.3 User Interface (UI)	64
4.4 Metodologia collaborativa per lo sviluppo	65
4.5 Controllers e API	65
4.6 Interfaccia grafica client side	66
4.6.1 HTML5, CSS3 e Javascript	66
4.6.2 Il DOM (Document Object Model)	68
4.6.3 AJAX (Asynchronous JavaScript and XML)	69
4.7 Sviluppo MVC tramite AngularJS	72
4.8 La gestione dei dati	74
4.8.1 Il formato dei dati	76
4.8.2 GTFS	76
4.9 La piattaforma di Automatic Vehicle Location (AVL)	79
4.9.1 L'architettura della piattaforma C.O.RE.	80
4.9.2 Il modello dei dati di C.O.RE.	81
4.10 La piattaforma di infomobilità	82
4.10.1 Visualizzazione statica dei servizi	82
4.10.2 Interrogazione dinamica dei servizi	83
4.10.3 Il Transit Simulator	85
CAPITOLO 5	86
LA CARATTERIZZAZIONE DELLA DOMANDA	86
5.1 Analisi dello stato attuale	87
5.2 Il sistema di trasporto attuale	90
5.2.1 La rete stradale	90
5.2.2 Il trasporto pubblico locale	90
5.2.3 La mobilità	91
5.3 Inquadramento e zonizzazione dell'area	93
5.4 Definizione del modello	94
5.5 Progettazione dell'indagine	96
5.5.1 Gli attributi	96
5.5.2 Scelta degli attributi e dei livelli	98

5.5.3 Costo	99
5.5.4 La frequenza	101
5.5.5 Tempo di viaggio.....	102
5.5.6 Walking time.....	103
5.5.7 Il comfort	103
5.5.8 Tempo di attesa alla fermata	104
5.5.9 Informazioni disponibili.....	104
5.6 Piano fattoriale.....	105
5.7 Il questionario.....	107
5.7.1 Implementazione web-based dell'indagine	109
5.7.2 Metodologia di acquisizione dati	110
5.7.3 Analytics tool	112
5.8 Elaborazione dei dati dell'indagine	116
5.8.1 Sezione A – Caratteristiche socio-economiche	116
5.8.2 Sezione B – Spostamenti sistematici	119
5.8.3 Sezione C – Livelli di gradimento nei confronti di un'applicazione mobile	123
CAPITOLO 6	127
VALUTAZIONE DELLA CONFIGURAZIONE DELL'OFFERTA DI SERVIZI TPL OTTIMALI E ANALISI DELLO SPLIT MODALE.....	127
6.1 Calibrazione del modello Logit	127
6.1.1 Il datafile	127
6.1.2 Il modello	128
6.1.3 Specificazione del modello: PythonBIOGEME.....	129
6.2 Risultati della stima del modello	131
6.3 Validazione del modello	133
6.4 Osservazione sui risultati.....	135
6.5 Rappresentazione del modello.....	136
CONCLUSIONI.....	141
BIBLIOGRAFIA.....	144
SITOGRAFIA	147

INDICE DELLE FIGURE

FIGURA 1 - ESEMPIO DI GUIDA ASSISTITA DA NAVIGATORE SATELLITARE PER AUTO.....	15
FIGURA 2 - PANNELLO A MESSAGGIO VARIABILE IN AUTOSTRADA	16
FIGURA 3 - DASHBOARD DI UN SOFTWARE DI GESTIONE FLOTTE DI VEICOLI DI TRASPORTO PUBBLICO	18
FIGURA 4 - PALINA INFORMATIVA STATICA ALLA FERMATA	18
FIGURA 5 - IMPIANTO SEMAFORICO A PRIORITÀ PER IL SERVIZIO DI TRASPORTO PUBBLICO	19
FIGURA 6 - STRUTTURA AD ALBERO DEL MODELLO LOGIT MULTINOMIALE	33
FIGURA 7 - ESEMPIO DI SCHEDA SP PER LE ALTERNATIVE DI SCELTA	43
FIGURA 8 - LIVELLI INFORMATIVI NEI GIS	50
FIGURA 9 - DEFINIZIONE DELL'AREA DI STUDIO	53
FIGURA 10 - MODELLO RELAZIONALE DEI DATI NELLA STRUTTURA ARCO-NODO [16]	55
FIGURA 11 - INTERSEZIONE SECONDO IL MODELLO ARCO-NODO CON DIVERSO LIVELLO DI DETTAGLIO	56
FIGURA 12 - SEGMENTAZIONE DINAMICA CON MODELLO ARCO-NODO.....	57
FIGURA 13 - TIPOLOGIE DI ROUTES.....	57
FIGURA 14 - ESTRATTO DI MAPPA DELLA METRO DI LONDRA.....	58
FIGURA 15 - SCHEMA DEI FEED GTFS DI GOOGLE	76
FIGURA 16 - SCHEMA DELLE TABELLE GTFS IN DATABASE	78
FIGURA 17 - SCHEMA DELLA CENTRALE OPERATIVA REGIONALE COME PIATTAFORMA AVL	79
FIGURA 18 - VISUALIZZAZIONE SU MAPPA DEI SERVIZI DI TPL.....	83
FIGURA 19 - VISUALIZZAZIONE DELLE FERMATE DI UNA LINEA DI TPL.....	84
FIGURA 20 - SERVIZIO DI PROSSIMO PASSAGGIO ALLA FERMATA PER UN SERVIZIO DI TPL.....	84
FIGURA 21 - SIMULATORE DELLA LINEA CIRCOLARE C15 - COSENZA - QUATTROMIGLIA (RENDE)	85
FIGURA 22 - SPOSTAMENTI CASA-SCUOLA E CASA-LAVORO DELL'AREA COSENZA-RENDE.....	89
FIGURA 23 - SISTEMI LOCALI DEL LAVORO IN CALABRIA (ISTAT, 2015)	92
FIGURA 24 - AREA DI STUDIO	94
FIGURA 25 - AUTOVETTURE PER CILINDRATA E ALIMENTAZIONE PER LA REGIONE CALABRIA, ACI 2016	100
FIGURA 26 - DETTAGLIO PREZZI CARBURANTE AL 30/05/2016, MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO	101
FIGURA 27 - PAGINA INIZIALE QUESTIONARIO CON INFORMATIVA PRIVACY.....	111
FIGURA 28 - DETTAGLIO DELLE STATISTICHE DI INVIO DEI QUESTIONARI ALLA POPOLAZIONE STUDENTESCA.....	112
FIGURA 29 - DASHBOARD DI ANALYTICS IN UN INTERVALLO DEL PERIODO DI SOMMINISTRAZIONE DEL QUESTIONARIO	113
FIGURA 30 - STATISTICHE DEI DISPOSITIVI UTILIZZATI PER ESEGUIRE L'INDAGINE.....	113
FIGURA 31 - CATEGORIE DI AFFINITÀ DI GOOGLE ANALYTICS	114
FIGURA 32 - SEGMENTI IN-MARKETING SI GOOGLE ANALYTICS.....	114
FIGURA 33 - CANALI DI ACCESSO DI GOOGLE ANALYTICS.....	114
FIGURA 34 - CATEGORIE DI DISPOSITIVO DI GOOGLE ANALYTICS	115
FIGURA 35 - STATISTICHE DI SESSIONE DI GOOGLE ANALYTICS.....	115
FIGURA 36 - RAPPRESENTAZIONE DEGLI SPOSTAMENTI NELL'AREA DI STUDIO.....	120
FIGURA 37 - MOTIVO DELLO SPOSTAMENTO.....	121
FIGURA 38 - FASCIA ORARIA	121
FIGURA 39 - SCELTA DEL MEZZO	121

INDICE DELLE TABELLE

TABELLA 1 - TABELLA DI RIFERIMENTO PER LA RISOLUZIONE DEI VARI MODELLI TRATTATI [14].....	36
TABELLA 2 - ESEMPIO DI FATTORIALE FRATTO PER LA VARIABILE C.....	47
TABELLA 3 - SCHEMA DI SUDDIVISIONE IN DUE BLOCCHI.....	48
TABELLA 4 - FUNZIONI SPECIALISTICHE NEI PRINCIPALI SOFTWARE GIS.....	51
TABELLA 5 - FUNZIONALITÀ A CONFRONTO PER I GIS E I SOFTWARE DI SIMULAZIONE.....	52
TABELLA 6 - CARATTERISTICHE DEMOGRAFICHE DELLA CONURBAZIONE COSENZA-RENDE.....	87
TABELLA 7 - LIVELLI DI VARIZIONE DEGLI ATTRIBUTI.....	105
TABELLA 8 - PIANO FATTORIALE FRATTO.....	106
TABELLA 9 - COSTRUZIONE DI QUATTRO BLOCCHI A QUATTRO SCENARI.....	107
TABELLA 10 - DESCRIZIONE DEI DATI PER L'ESPERIMENTO SP.....	128
TABELLA 11 – BIOGEME: ESITO DELLA CALIBRAZIONE LOGIT BIN.....	133

INDICE DEI GRAFICI

GRAFICO 1 - RAPPRESENTAZIONE DELLE FASI DEL MODELLO A 4 STADI.....	38
GRAFICO 2 - RAPPRESENTAZIONE STATISTICA DEL GENERE.....	116
GRAFICO 3 - RAPPRESENTAZIONE STATISTICA DELLE CLASSI DI ETÀ DEGLI UTENTI.....	117
GRAFICO 4 - TITOLO DI STUDIO.....	117
GRAFICO 5 - STATO DI OCCUPAZIONE.....	117
GRAFICO 6 - SETTORE DI OCCUPAZIONE.....	118
GRAFICO 7 - CONDIZIONE OCCUPAZIONALE.....	118
GRAFICO 8 - REDDITO NETTO MENSILE DEL NUCLEO FAMILIARE.....	118
GRAFICO 9 - POSSESSO DELLA PATENTE DI GUIDA.....	119
GRAFICO 10 - DISPONIBILITÀ DI MEZZO PROPRIO PER GLI SPOSTAMENTI SISTEMATICI.....	119
GRAFICO 11 - RAPPRESENTAZIONE DELL'ATTEGGIAMENTO DEGLI UTENTI DEI MEZZI PRIVATI RIGUARDO AD ATTRIBUTI SPECIFICI	122
GRAFICO 12 - RAPPRESENTAZIONE DELL'ATTEGGIAMENTO DEGLI UTENTI DEL TRASPORTO PUBBLICO RIGUARDO AD ATTRIBUTI SPECIFICI.....	122
GRAFICO 13 - RAPPRESENTAZIONE DELL'ATTEGGIAMENTO DEGLI UTENTI CHE NON UTILIZZANO IN BUS O L'AUTO RIGUARDO AD ATTRIBUTI SPECIFICI.....	123
GRAFICO 14 - SEZIONE C DELL'INDAGINE - DOMANDA 1.....	124
GRAFICO 15 - - SEZIONE C DELL'INDAGINE - DOMANDA 2.....	124
GRAFICO 16 - SEZIONE C DELL'INDAGINE - DOMANDA 3.....	125
GRAFICO 17 - SEZIONE C DELL'INDAGINE - DOMANDA 4.....	125
GRAFICO 18 - VARIAZIONE DELLA PROBABILITÀ DI SCELTA DELL'ALTERNATIVA BUS AL VARIARE DEL TEMPO DI ATTESA ALLA FERMATA.....	137
GRAFICO 19 – VARIAZIONE DELLA PROBABILITÀ DI SCELTA DELL'ALTERNATIVA BUS AL VARIARE DEL TEMPO DI VIAGGIO.....	137
GRAFICO 20 - VARIAZIONE DELLA PROBABILITÀ DI SCELTA DELL'ALTERNATIVA BUS AL VARIARE DELLA SPESA MENSILE PER IL MODO BUS.....	138
GRAFICO 21 - VARIAZIONE DELLA PROBABILITÀ DI SCELTA DELL'ALTERNATIVA BUS AL VARIARE DELLA FREQUENZA.....	138
GRAFICO 22 - VARIAZIONE DELLA PROBABILITÀ DI SCELTA DELL'ALTERNATIVA BUS AL VARIARE DEL COMFORT.....	138
GRAFICO 23 - VARIAZIONE DELLA PROBABILITÀ DI SCELTA DELL'ALTERNATIVA BUS AL VARIARE DEL SISTEMA DI INFORMAZIONE ALL'UTENZA.....	139
GRAFICO 24 - CLASSIFICAZIONE ATTRIBUTI DEL SERVIZIO DI TRASPORTO PUBBLICO LOCALE PER ELASTICITÀ DIRETTA.....	140
GRAFICO 25 - RIPARTIZIONE MODALE NELLE PRINCIPALI CITTÀ ITALIANE (FONTE: EPOMM.EU).....	142

INTRODUZIONE

Uno degli indicatori più efficaci per la valutazione dello stato di progresso e di benessere di un Paese è la condizione in cui versa il suo sistema di trasporto. Il nostro Paese, in particolare, per la sua particolare collocazione e morfologia geografica, non può assolutamente prescindere dall'essere dotato di un sistema di trasporto urbano ed extraurbano efficiente.

Naturalmente, affrontando lo studio delle attività di un sistema di trasporto, si deve tener conto dell'impatto che esso ha sull'ambiente, sulle risorse energetiche e sulla salute dei cittadini: si parla in questo caso di sostenibilità. La sostenibilità nell'ambito dei trasporti costituisce oggi un argomento di crescente interesse per numerosi aspetti, dai costi e dalla disponibilità di approvvigionamento alla crescita economica e alla salute pubblica. Si tratta di ripensare i sistemi di trasporto attuali, promuovendo l'inter-modalità e incoraggiando l'uso di più efficienti modalità di trasporto.

Riguardo alla normativa relativa alla mobilità sostenibile, in ambito nazionale, il principale testo di legge è il decreto interministeriale Mobilità Sostenibile nelle Aree Urbane del 27 marzo 1998.

In ambito europeo, le principali direttive in tema di mobilità sostenibile sono la Direttiva 2006/38 - CE, relativa trasporto di merci su strada, che impone di calibrare i pedaggi autostradali in base al carico inquinante dei mezzi ed all'ora di utilizzo delle infrastrutture, la Direttiva 2008/68 - CE, che punta ad aumentare la sicurezza nel trasporto di merci pericolose su strada, ferrovia e vie navigabili interne, la Direttiva 2009/33 - CE, che impone di considerare l'impatto energetico ed ambientale dei veicoli nel corso dell'intero ciclo di vita e il Piano d'azione per la mobilità urbana, nel quale si propongono venti azioni per supportare gli Enti Pubblici nella realizzazione dei rispettivi obiettivi di mobilità sostenibile.

Tra gli interventi più efficaci è opportuno citare il potenziamento e la promozione del trasporto pubblico locale (ad esempio con corsie riservate e vie preferenziali, sistemi informatici per il ticketing e l'infomobilità), e l'adozione di specifici strumenti di pianificazione (quali ad esempio il Piano Urbano della Mobilità). Esistono inoltre diversi interventi che, seppur lentamente, si stanno diffondendo, quali lo sviluppo della mobilità pedonale, quale intervento atto a favorire l'accessibilità e la fruizione universale degli spazi pubblici. Anche lo sviluppo della mobilità ciclabile è in atto in diverse realtà nazionali con la redazione di specifici piani per la mobilità ciclabile, la costruzione di piste ciclabili e l'implementazione di servizi di bike sharing.

In tema di sostenibilità, più generale, si fa riferimento al demand management, che mira all'adozione di misure quali la moderazione del traffico (traffic calming), introduzione di servizi di

car sharing e trasporto a chiamata, promozione del car pooling, utilizzo di sistemi di information technology (IT) per la gestione dei flussi veicolari (instradamento dei veicoli, sistemi di infomobilità on-board) quali componenti di una più ampia programmazione intersettoriale.

Con particolare riferimento ai mezzi di trasporto sostenibili, il trasporto pubblico può diventare un fornitore di mobilità intermodale integrando sulla stessa piattaforma informazioni ben strutturate relative a taxi, a car sharing, all'offerta di servizi dei principali gestori di sistemi di trasporto. Infatti, nessuna singola modalità di spostamento sostenibile costituisce una soluzione capace di soddisfare le esigenze di mobilità di un viaggiatore come il proprio mezzo. I diversi modi di trasporto, in combinazione tra loro, ovvero in regime di intermodalità, possono rappresentare un'alternativa competitiva rispetto al mezzo privato.

Fondamentale è l'integrazione e la gestione in tempo reale di dati provenienti da diversi sistemi di trasporto distribuiti sul territorio: dati rilevati da una rete diffusa di sensori di misura del traffico, dati provenienti da flotte di veicoli equipaggiati con device mobili e applicativi per la tracciabilità tramite GPS.

Relativamente a questa ultima tecnologia, l'evoluzione degli attuali smartphone in circolazione rende possibile, oltre a nuovi ed avanzati servizi per il cittadino (es. infomobilità e teleassistenza), anche l'applicazione di metodologie di supporto all'utente nella scelta del percorso e delle modalità dello spostamento.

L'obiettivo di questo studio è quello di individuare una soluzione per la gestione e l'ottimizzazione, sia statica sia dinamica (real-time), degli spostamenti, con particolare attenzione al tema della sostenibilità e, pertanto, con enfasi sull'utilizzo del trasporto collettivo. Tale obiettivo ha previsto lo studio di un sistema di informazione all'utenza interattivo, basato sulla reale posizione dell'utente, nonché la valutazione dell'impatto che tale intervento può avere sulla scelta del modo di trasporto, nell'ottica di favorire lo spostamento verso forme di trasporto sostenibili.

Il requisito principale del sistema è di consentire, attraverso un'infrastruttura tecnologica innovativa ed aperta, la condivisione e l'integrazione di dati ed informazioni resi disponibili da tutti i sistemi che monitorano parti del sistema globale della mobilità, pubblica e privata, compresi gli spostamenti dei singoli individui.

Il sistema elabora ed aggiorna i dati per il calcolo di una serie di indicatori di sostenibilità che costituisce lo strumento diagnostico sulla base del quale il processo di pianificazione identifica obiettivi e target quantitativi, e verifica progressivamente l'efficacia delle strategie e delle linee d'azione attivate per conseguire gli obiettivi sostenibilità.

Tale piattaforma è quindi in grado di supportare l'utente nella scelta del percorso e delle modalità dello spostamento sulla base del suo profilo, delle sue esigenze e di fattori esogeni, quali ad esempio congestione e incidentalità, caratterizzanti l'ambito territoriale attraverso il quale si sposta in quel momento o prevede di spostarsi per raggiungere la sua destinazione.

La tematica oggetto di studio è stata approfondita attraverso una preliminare disamina dello stato dell'arte dei modelli per la valutazione dell'impatto di nuovi strumenti per la scelta modale. Dopo una attenta analisi sull'evoluzione dei Sistemi di Trasporto Intelligenti applicati ai temi della sostenibilità, è stata effettuata una indagine campionaria per la caratterizzazione della domanda nell'area di studio, focalizzando l'attenzione sulle preferenze degli utenti rispetto ai principali attributi che caratterizzano un sistema di trasporto pubblico su gomma, nonché alla loro disponibilità all'utilizzo di un sistema di informazioni avanzato in grado di supportare le scelte di trasporto.

Si è inoltre indagato sulle tecnologie più idonee all'implementazione di una piattaforma in grado di integrare le varie fonti di dati, sui metodi di acquisizione delle informazioni e sugli standard di rappresentazione dei dati.

È stato inoltre calibrato un modello per la valutazione dell'impatto di ogni attributo identificato come rilevante sulla scelta degli utenti, al fine di individuare una strategia di intervento capace di spostare una interessante aliquota di utenti verso modi sostenibili.

CAPITOLO 1

INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS

Le tecnologie dell'informazione (*Information Technology* – IT) hanno trasformato molti settori, dall'istruzione alla sanità e ai governi, oggi sta trasformando i sistemi di trasporto. La gestione intelligente dei processi della mobilità e dell'informazione che li accompagna, rappresenta oggi un fattore chiave di espansione, di crescita economica e di miglioramento dei servizi della società in cui viviamo.

Oggi migliorare il sistema di trasporto di un paese non significa soltanto costruire nuove strade o intervenire su infrastrutture datate; il futuro dei trasporti non converge solo nel cemento e nell'acciaio, ma anche nell'adozione crescente dell'Information Technology [1].

L'IT rende gli elementi di un sistema di trasporto (veicoli, strade, semafori, ecc.) intelligenti grazie all'equipaggiamento degli stessi con microcontrollori e sensori in grado di abilitare la comunicazione tra le parti attraverso tecnologia wireless, facendoli diventare Sistemi di Trasporto Intelligenti (*Intelligent Transport Systems* – ITS).

Con l'evoluzione di questi sistemi all'interno della struttura della società dell'informazione odierna, è emerso il concetto di Sistemi di Informazione all'Utenza Avanzati (*Advanced Traveller Information Systems* - ATIS). Gli ATIS consentono di accedere alle informazioni di viaggio in tempo reale, in particolare alle condizioni di traffico, climatiche, tempo di viaggio, ecc. L'impatto potenziale degli ATIS sull'influenza delle scelte di viaggio è stato fino ad oggi scarsamente ricercato [2].

1.1 Intelligent Transport Systems

Il termine Sistemi di Trasporto Intelligenti (ITS) fa riferimento alle tecnologie dell'informazione e della comunicazione applicata alle infrastrutture di trasporto e ai veicoli che migliora i servizi di trasporto in termini di sicurezza, produttività, affidabilità, informazioni e resilienza delle operazioni del sistema [3].

Nel corso degli ultimi anni, soprattutto grazie allo straordinario contributo della ricerca scientifica e della crescita e sviluppo delle nuove tecnologie, i servizi di infomobilità a disposizione degli utenti hanno subito notevoli miglioramenti, nonostante i bisogni di una società in continua evoluzione richiedano sforzi sempre maggiori.

L'obiettivo principale degli ITS è integrare le tecnologie di comunicazione tra i veicoli e le reti di trasporto, di persone e merci. La telematica applicata ai trasporti, attraverso l'integrazione delle tecnologie informatiche con quelle delle telecomunicazioni, contribuisce a sfruttare al meglio il potenziale delle infrastrutture, offrendo diverse possibilità tecniche per gestire e controllare in modo globale i flussi di traffico.

Gli ITS, attraverso i sistemi di informazione all'utenza, i servizi di controllo e gestione del traffico e dei trasporti, i sistemi di informazione dinamici, i sistemi di controllo del veicolo, apportano benefici in termini di riduzione della congestione, miglioramento dell'ambiente e della sicurezza, aumento dell'efficienza e della produttività dei trasporti. Gli ITS forniscono informazioni ai viaggiatori al fine di renderli capaci, tramite le loro scelte, di ottimizzare l'uso della capacità della rete e di ridurre la conseguente congestione.

Con particolare riferimento ai sistemi dinamici di informazione agli utenti, aspetti di primaria importanza sono la tempestività e l'accessibilità delle informazioni fornite dagli ITS. In questo senso, non serve solo conoscere, quanto piuttosto essere informati bene e in tempo utile.

Non è un caso che oggi i più importanti gestori di reti e sistemi di trasporto stiano ponendo sempre più al centro della loro politica aziendale i bisogni di informazione dei loro utenti provando a soddisfarli con l'ausilio di moderne tecnologie quali i messaggi sms sui cellulari, gli aggiornamenti trasmessi per mezzo delle paline elettroniche installate alle fermate dei bus, i pannelli a messaggio variabile posti lungo le autostrade, il sistema del broadcast per la trasmissione via etere di notiziari dedicati al traffico ed alla circolazione.

Di seguito verrà fornito un quadro generale delle diverse tipologie di informazione fornite dagli ITS e dei principali campi di applicazione in cui questi si sono sviluppati, focalizzando l'attenzione sull'applicazione di queste tecnologie al trasporto pubblico.

1.2 ATIS – Sistemi di informazione avanzati all'utenza

I sistemi di trasporto intelligenti comprendono un vasto range di informazioni che, integrate nelle infrastrutture del sistema di trasporto e nei veicoli stessi facilitano il monitoraggio ed il management dei flussi di traffico, aiutano a ridurre le congestioni, forniscono percorsi alternativi agli automobilisti, incrementano la produttività e l'efficienza del sistema, aumentano la sicurezza, e portano ad un risparmio di tempo e denaro.

Gli ITS forniscono inoltre strumenti per la raccolta, l'analisi e l'archiviazione di dati e informazioni riguardo all'efficienza del sistema durante le ore di maggiore utilizzo delle reti di trasporto e,

attraverso questi dati, si possono affrontare e gestire in maniera migliore i limiti della rete legati alla capacità.

I sistemi ATIS (*Advanced Traveller Information Systems*), sono un particolare tipo di sistemi intelligenti di trasporto il cui scopo è quello di fornire un insieme di servizi di informazione che assistono i viaggiatori in modo che essi scelgano il proprio percorso in maniera più sicura, veloce e facile.

Le informazioni diffuse dai sistemi ATIS sono il risultato di un sistema complesso di gestione del traffico. Questo agisce sui seguenti presupposti:

- Sistemi di input dal territorio;
- Sistemi di elaborazione dell'informazione in tempo reale;
- Sistemi di supporto alle decisioni;
- Sistemi di output sul territorio.

I sistemi di input (contatori di traffico a infrarossi, ultrasuoni, microonde, radar, video, spire magnetiche o induttive, etc.) rilevano i dati di traffico in tempo reale. Questi vengono raccolti, filtrati ed elaborati dal sistema di elaborazione, per essere trasformati in informazioni utili ad essere lette ed interpretate dagli operatori.

I sistemi di supporto alle decisioni che è possibile implementare grazie a queste tecnologie sono costituiti da sofisticati software che, sulla base dei dati di input e di database storici, modellizzano le condizioni attuali traffico e ne prevedono quelle future. Tali sistemi offrono come output informazioni ai veicoli ed ai guidatori e intervengono in maniera attiva, ad esempio modificando la lunghezza dei cicli semaforici, o fornendo indicazioni sull'ottimizzazione dei sistemi di trasporto pubblico [4].

L'importanza dei sistemi di informazione ai viaggiatori risiede nel fatto che un'informazione accurata e precisa aiuta gli utenti a evitare grossi inconvenienti. Permette loro, ad esempio, di decidere in maniera efficiente quando partire per evitare code e congestioni, in situazioni in cui piccole differenze nel tempo di partenza fanno grosse differenze sul tempo di arrivo, oppure fornendo soluzioni di viaggio alternative basate sul trasporto pubblico, nell'ottica dello sviluppo di una mobilità sostenibile.

Per permettere tutto questo, le informazioni non solo devono essere precise ma anche disponibili ventiquattro ore al giorno. Una grande opportunità che si ha con l'utilizzo dei sistemi intelligenti di trasporto è quella di ottenere informazioni in tempo reale. Prima di tale innovazione si disponeva solamente di informazioni di tipo statico, cioè indipendenti dalle reali condizioni della rete o, al più, aggiornate con frequenza molto bassa. Informazioni di tipo statico sono ad esempio quelle relative

alle operazioni pianificate di costruzione e manutenzione, ai costi dei pedaggi e alle modalità di pagamento, ai prezzi dei biglietti, agli orari dei servizi di trasporto pubblico, ecc.

Le informazioni real-time, invece, cambiano con frequenza elevata e, proprio perché relative alle effettive condizioni della rete, risultano molto utili agli utenti [5]. Queste informazioni si riferiscono:

- Alle condizioni di deflusso sulla rete stradale, inclusi episodi di congestione o il verificarsi di incidenti;
- A percorsi alternativi, i cui itinerari sono variabili in funzione del grado di congestione;
- Alla disponibilità di posti liberi per il parcheggio;
- Alle condizioni meteorologiche;
- All'identificazione delle fermate e dei tempi di arrivo di mezzi pubblici.

L'utente che si appresta ad intraprendere un viaggio ha quindi a disposizione tutta una serie di informazioni per poter pianificare il proprio viaggio ed ottimizzarlo.

La fase di acquisizione delle informazioni continua anche mentre si è in viaggio. Le informazioni real-time descrivono le effettive condizioni presenti nella rete e, pertanto, gli utenti possono acquisirle ed essere in grado di modificare il proprio itinerario continuando a mantenere alto il livello della sicurezza, del comfort e dell'efficienza del viaggio. Infine, una volta scesi dal veicolo o dal mezzo di trasporto pubblico, possono essere acquisite informazioni per compiere l'ultimo tratto dello spostamento ed arrivare alla destinazione scelta.

Le informazioni, quindi, possono essere classificate in base alla loro acquisizione temporale [6]:

- Pre-trip information: sono le informazioni acquisite in maniera volontaria o non, in fase di preparazione del viaggio;
- On-trip information: rappresentano le informazioni acquisite mentre si è in viaggio. Se vengono acquisite tramite dispositivi e mezzi interni al veicolo si definiscono informazioni in viaggio in auto, se provengono dall'esterno allora si parla di informazioni in viaggio fuori dal mezzo;
- External information: sono le informazioni acquisite una volta scesi dal veicolo e utili all'utente per completare il proprio percorso.

1.2.1 Pre-trip information

Tutte le informazioni fornite ai viaggiatori prima di iniziare il proprio spostamento vengono definite pre-trip, cioè acquisite in fase di preparazione e pianificazione del viaggio.

Un utente prudente, sia esso di trasporto pubblico o privato, prima di intraprendere un viaggio cerca di informarsi sulla situazione attuale della rete, valutando se il percorso che ha scelto risulta essere il più efficiente.

La modalità con cui queste informazioni vengono diffuse sono:

- Radio e Televisione: hanno il vantaggio di essere mezzi di comunicazione molto diffusi, quindi rappresentano un canale molto influente attraverso il quale è possibile acquisire informazioni sulla situazione del traffico e della viabilità;
- Data broadcasting: si definiscono tali perché permettono la diffusione di informazioni via etere in formato digitale, in parallelo con il segnale televisivo. Tramite Teletext i dati vengono presentati su pagine di testo inviate a tutti gli utenti i quali possono selezionare le pagine di interesse digitando il codice di pagina sul comando del televisore;
- Televisione interattiva: offre la possibilità di interagire con il servizio permettendo agli utenti di usufruire di programmi a seconda delle proprie esigenze informative di trasporto;
- Internet: è il sistema più potente per ottenere informazioni; basta connettersi ad una pagina web di una società di trasporto per ottenere informazioni sulla viabilità, sul traffico, sull'esercizio del trasporto pubblico e sulla sua regolarità, oppure tramite smartphone è possibile ricevere informazioni in mobilità.

1.2.2 En-route information

L'importanza per gli utenti di essere continuamente informati sulla situazione delle rete sta nel fatto che un percorso può risultare efficiente in un determinato momento, come ad esempio alla partenza, ma può non esserlo in un secondo momento.

Questo comunicare e ricevere informazioni dinamicamente, unitamente alla convergenza delle tecnologie comunicative della telefonia mobile e dell'informatica legate all'auto, consentono ai viaggiatori di beneficiare di informazioni costantemente aggiornate direttamente nel proprio veicolo senza la necessità di staccare le mani dal volante e lo sguardo dalla strada.

E' bene distinguere tra due modalità differenti per l'acquisizione di informazioni durante il viaggio, a seconda che le informazioni si ottengano a bordo del veicolo o al di fuori di questo. Un impulso notevole allo sviluppo delle informazioni in viaggio acquisite in auto è stato dato dall'applicazione sulle autovetture del navigatore satellitare (figura 1).



Figura 1 - Esempio di guida assistita da navigatore satellitare per auto

L'utente che vuole raggiungere una meta ne indica l'indirizzo al computer di bordo che, conoscendo la posizione del veicolo grazie al sistema di localizzazione satellitare, calcola il percorso e fornisce indicazioni sulla strada da seguire.

Un notevole miglioramento di questa tipologia di servizio si ottiene qualora le informazioni vengano fornite in tempo reale, sulla base della densità delle correnti di traffico sugli archi e sui nodi della rete stradale. In questo modo, le informazioni ai guidatori non solo si riferiscono all'itinerario che essi hanno pianificato ma sono corredate da variazioni puntuali in caso di incidenti o aumento dei livelli di congestione sul percorso previsto.

Gli strumenti di informazione utilizzati per erogare questo tipo di servizio di infomobilità sono essenzialmente i pannelli a messaggio variabile. Questi sono dei cartelli segnaletici che forniscono indicazioni sulle condizioni meteorologiche, di traffico e di circolazione presenti su un tratto stradale (Figura 2).



Figura 2 - Pannello a messaggio variabile in autostrada

I pannelli hanno lo scopo di catturare l'attenzione dell'utente che dall'interno del suo abitacolo viene informato su ciò che lo attende sul tratto stradale che si accinge a percorrere. Il sistema di visualizzazione è un sistema a led a messaggio variabile ad uno o più colori in grado di visualizzare notizie sullo stato della viabilità trasmesse real-time. I supporti fisici utilizzati possono andare da piccoli tabelloni fino ai maxischermi.

I pannelli a messaggio variabile sono dislocati lungo la rete viaria e rappresentano uno strumento utilissimo di informazione diretto per l'utenza. Questi sistemi sono governati da centrali operative dove, in funzione delle informazioni che pervengono dal monitoraggio stradale, vengono attuate le strategie di impiego e vengono composti i messaggi da inviare agli utenti.

Il contenuto delle informazioni può non limitarsi soltanto ai dati inerenti alle condizioni di traffico ma, all'occorrenza, i PMV suggeriscono percorsi alternativi, tempi previsti di percorrenza e avvisi utili per la scelta del percorso ottimale rispetto alla situazione di congestione.

1.2.3 External information

Per external information (informazioni esterne) si intendono quelle informazioni che si ottengono quando l'utente ha già effettuato la maggior parte del suo spostamento e ha solamente bisogno di informazioni per raggiungere un punto specifico della zona di interesse, oppure desidera ricevere ulteriori informazioni su punti di interesse nella zona raggiunta.

Tra i vari strumenti che consentono la realizzazione di *infomobilità esterna* si annoverano:

- Gli smartphone: grazie agli sviluppi fatti in questo settore i telefoni di nuova generazione fungono da navigatore aggiornato e completo di informazioni sul territorio;

- Guide tascabili: Sono delle piccole guide di viaggio elettroniche che si basano sulle comunicazioni cellulari e consentono agli utenti un accesso immediato agli enti locali di informazione;
- Chioschi multimediali: un chiosco multimediale è un punto di consultazione pubblico. Questi vengono utilizzati durante il viaggio stesso con un'azione di fermata – consultazione – ripartenza.

1.3 Applicazione degli ITS al trasporto pubblico

Le tecnologie ITS migliorano l'efficienza del sistema dei trasporti, la sicurezza, il confort, l'ambiente e rendono più agevole il passaggio da una modalità di trasporto all'altra [7]. Nel settore del trasporto pubblico, in particolare, i moderni sistemi intelligenti di trasporto hanno contribuito a:

- Migliorare il coordinamento della rete di trasporto;
- Migliorare l'informazione all'utenza;
- Acquisire dei dati di servizio ai fini di una migliore utilizzazione dei mezzi pubblici e della predisposizione di adeguati piani di trasporto.

Il coordinamento dei servizi dei sistemi di trasporto pubblico è la diretta conseguenza dell'adozione e di sistemi di monitoraggio della posizione dei mezzi tramite tecnologia GPS, nonché della loro rappresentazione grafica per segnalare scostamenti o irregolarità. L'informazione all'utenza è lo strumento ideale per rendere disponibile l'informazione per coloro che sono in attesa alle fermate oppure a bordo dei mezzi, ma anche l'azienda di trasporto.

L'acquisizione dei dati storici del servizio, infatti, rappresenta per l'azienda e per i gestori in genere una fonte preziosa a cui attingere al momento di programmare orari ed itinerari dei nuovi programmi di esercizio. Una rete complessa, in cui interagiscono linee e mezzi diversi, possiede elementi articolati su diversi livelli (frequenze di transito, tipologia dei mezzi, gestione delle manutenzioni, etc.) che possono determinare elementi di disturbo con il rischio di generare irregolarità del servizio.

Per mantenere sotto generale controllo l'intera rete dei servizi viene ad essere molto importante fornirsi di sistemi informatici adeguati. Tramite l'utilizzo di sistemi ITS una rete di servizi è sottoposta a continuo monitoraggio; i dati rilevati vengono inviati ad un centro operativo attivo nel coordinamento dell'intero servizio di trasporto (Figura 3).



Figura 3 - Dashboard di un software di gestione flotte di veicoli di trasporto pubblico

Inoltre, insieme ai dati sulla sua posizione, il mezzo pubblico può inviare anche i dati relativi al grado di affollamento del mezzo e ai tempi intercorsi per lo spostamento da un punto all'altro del suo itinerario, fornendo preziose informazioni su eventuali ritardi rispetto al servizio programmato. In questo modo il centro operativo sarà in grado non solo di verificare la regolarità dei transiti ma, più in generale, lo stato del servizio.

Questo continuo monitoraggio e controllo del sistema di trasporto e della rete risulta fondamentale per aumentare la competitività dell'azienda e per fornire un elevato livello di servizio all'utenza.

Infatti, le informazioni statiche riguardanti una linea di trasporto pubblico ad esempio, rischiano di compromettere gli obiettivi anzidetti perché forniscono informazioni teoriche e in alcuni casi introducono ulteriori elementi di incertezza nelle scelte degli utenti (Figura 4).



Figura 4 - Palina informativa statica alla fermata

L'utilizzo di sistemi ITS permette, tramite paline elettroniche ad esempio, di fornire messaggi ai passeggeri in attesa che, in tal modo, sono informati di quanto sta accadendo sulla rete (interruzioni, deviazioni) consentendo loro di adeguare le proprie decisioni agli eventi.

I sistemi intelligenti di trasporto consentono inoltre alle aziende di trasporto di conoscere in maniera tempestiva e aggiornata lo stato e la qualità dei servizi offerti. Tale conoscenza riguarda i tempi di percorrenza reali, il numero dei passeggeri, la movimentazione alle rispettive fermate (passeggeri saliti e discesi dal mezzo).

Ad esempio, i tempi di percorrenza dei bus possono fornire informazioni in tempo reale sui flussi di traffico che potrebbero consentire, nel caso di problemi di viabilità, una temporizzazione dei cicli semaforici ottimizzata con la necessaria priorità ai mezzi di trasporto pubblico rispetto alle altre componenti del traffico (Figura 5).



Figura 5 - Impianto semaforico a priorità per il servizio di trasporto pubblico

L'adozione di queste tecnologie rendono il servizio di trasporto pubblico più efficiente, incrementando di conseguenza il livello di soddisfazione dagli utenti che sono incoraggiati ad utilizzarlo, preferendolo al servizio di trasporto privato.

1.4 ITS in Italia

In linea con il resto dei Paesi europei, al fine di far fronte al continuo aumento della domanda di mobilità, il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti in Italia ha previsto un approccio basato sulla sinergia dell'informazione, della gestione e del controllo per l'uso ottimizzato delle infrastrutture e dei veicoli, in un'ottica multimodale.

L'adozione degli ITS, nello specifico, viene considerato come una delle misure chiave per lo sviluppo di una mobilità sostenibile, alla base degli ultimi Piani Nazionali (Linee Guida per la definizione del Piano della Mobilità). Gli ITS sono infatti visti come uno strumento determinante per l'integrazione dei sistemi e dei servizi di mobilità, dal momento che tali Sistemi permettono di realizzare una "visione integrata" dell'intera rete dei trasporti in cui i diversi modi operano in sinergia come un unico sistema per l'ottimizzazione dell'intera catena del trasporto, e quindi consentono di realizzare l'integrazione tra i modi e le reti di trasporto sia all'interno del Paese che con i grandi assi internazionali, sia europei che del vicino Mediterraneo.

Gli ITS in Italia sono in realtà un settore attivo sin dagli anni Ottanta, ma con notevoli sviluppi a partire dal decennio successivo, in parallelo con la crescita del settore negli altri maggiori Paesi industrializzati. Istituzioni centrali, Amministrazioni locali, aziende, Istituti di ricerca, Università italiane e gestori pubblici e privati della rete, hanno preso parte a tutti i Programmi Quadro di Ricerca e Sviluppo della Commissione Europea con risultati significativi.

ITS per la gestione del traffico e della mobilità sono in esercizio in numerose città italiane, tra cui Roma, Torino, Milano, Firenze, Bologna, Genova, Perugia, Napoli, Brescia, Salerno, ecc. Inoltre, quasi l'50% delle Aziende di Trasporto Pubblico Locale sono dotate di sistemi di localizzazione e monitoraggio delle flotte mirati a migliorare l'offerta del servizio [8]. Un'indagine recentemente condotta nell'ambito del Progetto Infocity del Programma Elisa finanziato dal Ministero degli Affari Regionali [9] sugli Enti Locali che hanno partecipato al Programma Elisa, ha evidenziato che una percentuale elevata degli Enti Locali interessati ha adottato un Piano della Mobilità che comprende una sezione dedicata agli ITS, ed ha in corso, già completati o programmati per i prossimi 3 anni interventi riguardanti, nell'ordine di percentuale, applicazioni ITS per la gestione del traffico e delle infrastrutture, per la gestione del trasporto pubblico locale, per l'informazione all'utenza, per il road pricing, per la bigliettazione elettronica e l'integrazione tariffaria, per la gestione del trasporto merci e per la sicurezza stradale. In particolare per quanto concerne le attività previste in un orizzonte temporale compreso fra i prossimi 5 e 10 anni, le aree su cui gli Enti Locali concentreranno prioritariamente gli investimenti saranno quelle delle informazioni all'utenza, della gestione e del monitoraggio del traffico, della gestione del trasporto merci e della bigliettazione elettronica.

Per ciò che riguarda il mondo dell'automobile, notevoli sforzi sono stati fatti per lo sviluppo di dispositivi e soluzioni orientate ad aumentare la sicurezza, rendere più efficiente la mobilità e ridurre i consumi. Basti pensare a sistemi evoluti di navigazione, sistemi che forniscono suggerimenti per una guida più eco, ovvero orientata alla riduzione dei consumi, a sistemi di tracciamento/monitoraggio che abilitano servizi di fleet management e servizi assicurativi, fino ai sistemi ADAS (*Advanced Driver Assistance Systems*) finalizzati aumentare il livello di sicurezza dei veicoli, compresi quelli pesanti. Numerosi sono i progetti promossi in diverse località poste sui

corridoi strategici del trasporto merci al fine di favorire lo sviluppo dell'intermodalità e della logistica integrata. Per quanto riguarda in particolare quest'ultimo settore, tra le principali iniziative nazionali finanziate dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, occorre citare il progetto UIRNET, una piattaforma telematica che ha l'obiettivo di migliorare l'efficienza e la sicurezza dell'intero sistema logistico nazionale, con notevoli vantaggi sia per i singoli utilizzatori sia del sistema nel suo complesso. La piattaforma offrirà una serie articolata di servizi e azioni in materia di infomobilità, di informazioni sulla interoperabilità nonché servizi specifici per la gestione del trasporto delle merci pericolose.

Infine, sono anche da sottolineare i progetti sugli ITS finanziati nell'ambito del programma PON (Programma Operativo Nazionale) Trasporti 2000-2006 e 2007-2013 che sono stati in parte realizzati o in corso di realizzazione nell'ambito delle Regioni dell'Obiettivo 1 (Basilicata, Calabria, Campania, Puglia, Sardegna, Sicilia), i progetti ITS promossi nell'ambito del Programma Elisa e finanziati dal Ministero degli Affari Regionali, nonché i progetti finanziati nel Programma Mobilità Sostenibile di Industria 2015.

In campo autostradale, il settore delle autostrade a pedaggio ha rappresentato e rappresenta in Italia un naturale ambito di sperimentazione ed applicazione di sistemi e tecnologie innovativi. La rete a pedaggio è stata infatti realizzata con l'intento di assicurare collegamenti efficienti tra aree del Paese di grande importanza economica e sociale, caratterizzata da importanti flussi di traffico. Questo ha comportato la necessità di avvalersi di sistemi avanzati di gestione e monitoraggio dell'infrastruttura stradale, di informazioni all'utenza e di esazione del pedaggio. A tale proposito è importante sottolineare che le autostrade a pedaggio sono oggetto di contratti di concessione stipulati tra l'ANAS e le società concessionarie. Tali contratti prevedono anche tutta una serie di attività, quali ad esempio il monitoraggio, il soccorso, la raccolta dei dati sui quali basare l'informazione sul traffico, l'esazione dei pedaggi etc. Le autostrade a pedaggio italiane, pertanto, hanno iniziato da oltre due decenni a sperimentare ed utilizzare sistemi intelligenti di gestione del traffico e dell'esercizio, maturando quindi una rilevante esperienza sia nell'organizzazione che nella gestione di servizi ITS avanzati, ed ogni anno investono in implementazioni tecniche e tecnologiche ed interventi di manutenzione per garantire elevati livelli di sicurezza e qualità della rete autostradale. In particolare il sistema Telepass di pagamento automatico del pedaggio costituisce un'eccellenza italiana che è adottata anche in altri Paesi Europei, a vantaggio dell'industria nazionale.

1.5 Il quadro normativo degli ITS in Italia

L'iniziativa tecnico-giuridica che caratterizza più di tutte lo sviluppo e l'adozione degli ITS in Italia è rappresentata dal Decreto-Legge del 18 Ottobre 2012 n. 179 "Ulteriori misure urgenti per la crescita del paese", definito anche Decreto Sviluppo Bis.

Tale Decreto-Legge, nell'ambito dell'art. 8 "Misure per l'innovazione dei sistemi di trasporto", recepisce di fatto la Direttiva europea 2010/40/UE sul "Quadro generale per la diffusione dei Sistemi Intelligenti di Trasporto (ITS) nel settore del trasporto stradale e nelle interfacce con altri modi di trasporto".

Per quanto concerne il settore degli ITS, nell'ambito di tale articolo vengono evidenziati in particolare due aspetti. Il primo è rappresentato dalla necessità di promuovere l'adozione di sistemi di bigliettazione elettronica interoperabile a livello nazionale. Il comma 2 pone, infatti, il termine dei 90 giorni dalla pubblicazione del Decreto stesso, per la emanazione delle regole tecniche necessarie per le aziende di trasporto pubblico al fine di favorire, gradualmente e nel rispetto delle soluzioni esistenti, l'uso della bigliettazione elettronica interoperabile.

Il secondo riguarda, invece, l'esigenza da parte di enti proprietari, gestori di infrastrutture, di aree di sosta e di servizio e di nodi intermodali, di dotarsi di una banca dati relativa alle informazioni sulle infrastrutture e al servizio di propria competenza, da tenere costantemente aggiornata. Il comma 9 fissa, inoltre, il termine dei 60 giorni dalla data in entrata in vigore della legge di conversione del Decreto, per la definizione dei requisiti per la diffusione, progettazione, realizzazione degli ITS per assicurare disponibilità di informazione gratuite di base e l'aggiornamento delle informazioni infrastrutturali e dei dati di traffico, nonché le azioni per favorirne lo sviluppo sul territorio nazionale in modo coordinato, integrato e coerente con le politiche e le attività in essere a livello nazionale e comunitario.

CAPITOLO 2

DOMANDA DI MOBILITÀ

L'analisi e la progettazione di interventi sui sistemi di trasporto richiede la stima della domanda attuale e/o la previsione di quella futura. Tali stime possono essere ottenute utilizzando fonti di informazione e strumenti statistici differenti.

Per stimare la domanda attuale è possibile effettuare delle indagini, tipicamente delle interviste, su di un campione di utenti e da queste, utilizzando le tecniche della statistica inferenziale, ottenere delle stime dirette della domanda [10].

La stima della domanda è uno degli scopi principali dell'ingegneria dei trasporti perché la sua conoscenza è fondamentale per valutare le conseguenze di un qualsiasi investimento infrastrutturale o di una qualsiasi politica gestionale nell'ambito dei servizi di trasporto. Non trascurabile è, anche, la possibilità di comprendere l'impatto di interventi di vasta scala e comunque non necessariamente legati al sistema dell'offerta: si pensi ad una riorganizzazione territoriale delle attività produttive o alla redistribuzione di insediamenti abitativi.

La domanda di trasporto può essere definita 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 (*flusso di domanda*).

La domanda di trasporto 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.

Generalmente la domanda di mobilità si può scomporre in quattro problematiche distinte:

- Definizione del numero medio di persone che si spostano da ogni zona dell'area di studio (*Emissioni*).
- Definizione della destinazione di tutti coloro che si spostano (*Distribuzione degli spostamenti*).
- Definizione del modo di trasporto utilizzato per recarsi da una Origine ad una Destinazione (*Scelta modale*).
- Definizione del percorso o della linea di trasporto usate per giungere alla fissata destinazione (*Scelta del percorso*)

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 prevede la distinzione in scelte di mobilità [10], 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.

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.

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, etc.

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 in letteratura è relativa alla simulazione del funzionamento complessivo di un sistema di trasporto, schematizzato in una rete.

L'ultimo fattore di classificazione considerato 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 sotto-modelli 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.

2.3 La relazione matematica della domanda

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 caratterizzato da K_1, K_2, \dots, K_n è espresso come funzione del vettore \mathbf{SE} di variabili socio-economiche, afferenti al sistema dei decisori e delle loro attività, del vettore \mathbf{T} di variabili del livello di servizio e relative al servizio del sistema di trasporto (ad esempio costi, tempi di viaggio, tempi di attesa, distanza a piedi, etc.), e del vettore $\boldsymbol{\beta}$, che rappresentano i coefficienti che danno un peso ai diversi fattori dei vettori \mathbf{SE} e \mathbf{T} .

Per quanto riguarda SE e 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:

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

Per motivi di trattabilità analitica e statistica, è opportuno suddividere il modello di domanda nel prodotto di sotto-modelli interconnessi [10]. La sequenza di sotto-modelli maggiormente utilizzata è la seguente:

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

Dove:

- $d_o^i[s, h](SE, T)$, 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 ;
- $p^i\left[\frac{d}{osh}\right](SE, T)$, modello di distribuzione degli spostamenti, fornisce la percentuale di utenti di categoria i che, spostandosi dall'origine o per il motivo s nell'intervallo temporale h , si recano nella destinazione d ;
- $p^i\left[\frac{m}{oshd}\right](SE, T)$, modello di ripartizione modale (che rappresenta il modello oggetto della trattazione di questo Studio), fornisce la percentuale di utenti di categoria i che, spostandosi dal punto di origine o alla destinazione d per il motivo s nell'intervallo temporale h , utilizzano il modo di trasporto m ;
- $p^i\left[\frac{k}{oshdm}\right](SE, T)$, modello di scelta del percorso, fornisce la percentuale di utenti di categoria i che spostandosi dal punto di origine o al punto di destinazione 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, $d_o^i[s, h](SE, T)$ e la ripartisce, attraverso parzializzazioni progressive, fra le destinazioni, i modi e i percorsi possibili. Per questo motivo questo 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 attraverso un'indagine sul campo, oggetto di questo Studio.

L'approccio di rappresentazione della domanda in quattro sotto-modelli [10], risulta particolarmente utile per lo scopo di questa Ricerca soprattutto in merito al sotto-modello di ripartizione modale. Tra gli obiettivi principali dello Studio vi è infatti la scelta del mezzo di trasporto, in particolare la scelta fra mezzo pubblico e mezzo privato.

Il sotto-modello presentato, quindi, risulta particolarmente calzante per la questione affrontata. Inoltre, la domanda, viene presentata, anche per questo particolare sotto-modello, 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.

Tale approccio risulta essere universalmente accettato a livello di letteratura e largamente utilizzato a livello nazionale [11] [12] [13].

2.4 Modelli per la rappresentazione della domanda

I modelli per la rappresentazione della domanda rappresentano un requisito fondamentale per la presente Ricerca in quanto, simulando il comportamento della domanda, sono in grado di predire il comportamento degli utenti al variare delle caratteristiche dei servizi di offerta e quindi sono in grado di indicare la variazione di ripartizione modale in determinate circostanze.

L'obiettivo dei modelli è quello di sintetizzare il processo di scelta degli utenti. I modelli principalmente utilizzati in letteratura [10] 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, avremo:

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

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

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

$$V_j^i(X_j^i) = \sum_k \beta_k \cdot X_{kj}^i$$

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 sistemica della generica alternativa j viene di solito introdotta una variabile ombra che vale 1 per l'alternativa 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 sistemica;
- *Modello*: presenza di attributi non inseribili nella specificazione dell'utilità sistemica 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.

2.4.1 Il modello Logit Multinomiale

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

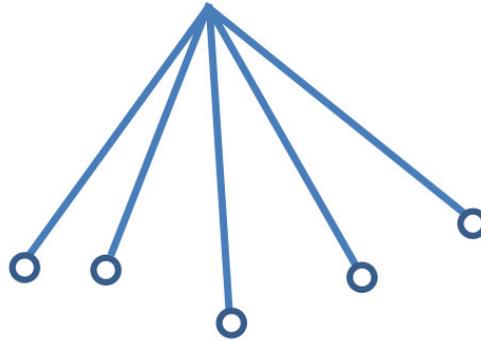


Figura 6 - Struttura ad albero del Modello Logit Multinomiale

Il Logit Multinomiale è il modello di utilità aleatoria più semplice e si basa sull'ipotesi che i residui aleatori 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:

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

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 della variabilità dei valori assunti dalla variabile e quindi di quanto si discostino dal valore atteso. Che rappresenta la media. I valori sono dunque:

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

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

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.

$$Cov[\varepsilon_j, \varepsilon_h] = 0, \forall j, h \in I$$

In questo modo risulta che anche le utilità percepite U_j , essendo 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 caratterizzate dalle seguenti relazioni:

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

$$E[U_j] = V_j$$

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

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 delle seguenti 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.

2.4.2 Modello Logit Binomiale

Il modello Logit Binomiale può essere identificato come caso particolare del Logit Multinomiale, con la particolare restrizione della scelta tra due sole opzioni. La probabilità di scelta è definita come:

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

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 e con , 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, restituisce 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. Per la risoluzione del Logit Binomiale si può fare riferimento all'utilizzo della regressione logistica:

Random Component	Link	Systematic Component	Model	Chapter
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

Tabella 1 - Tabella di riferimento per la risoluzione dei vari modelli trattati [14]

Per la stima del modello l'approccio suggerito dalla tabella è quello del Maximum Likelihood o della Massima Verosimiglianza. 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. Secondo l'approccio classico [10], avremmo:

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

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:

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

2.5 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.

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

Questa espressione può essere riformulata nel seguente modo:

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

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 sotto-modelli del modello a quattro stadi: *modello di generazione*, *modello di distribuzione*, *modello di ripartizione modale* e *modello di scelta del percorso*.

Il sotto-modello di generazione esprime la domanda come numero di individui di categoria q che, avendo come origine o , effettuano spostamenti per il motivo 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 nella fascia oraria h .

Il sotto-modello di distribuzione, invece, fornisce la frazione di individui della categoria 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 sotto-modello 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 nella frazione 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 durante h , usando il modo m , seguono il percorso k :

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

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.



Grafico 1 - Rappresentazione delle fasi del modello a 4 stadi

Si procederà nell'approfondimento del sotto-modello di ripartizione modale perché significativo nella trattazione degli argomenti della presente Ricerca. L'indagine che si andrà a definire riguarda infatti la scelta tra due modalità di trasporto: il trasporto pubblico (Bus) e il trasporto privato (Auto).

2.5.1 Il sotto-modello di ripartizione modale

Il sotto-modello 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 bus. Inoltre, questo sotto-modello rappresenta uno dei più importanti della modellazione a quattro stadi per la pianificazione dei trasporti e per i processi decisionali [15].

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.

Le modalità proposte di analisi di questo sotto-modello possono essere suddivise 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.

I fattori influenzanti la scelta del modo possono essere 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).

Secondo questo approccio [10] [15], si fa riferimento al modello 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.

Le motivazioni che portano alla 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" [10].

Primo passo è la definizione delle **alternative di scelta**. Le alternative di scelta, nel caso più semplice, sono i singoli modi di trasporto (autobus, automobile e altri), altrimenti possono essere combinazioni di modi semplici diversi (auto + bus, piedi + autobus), combinazioni di servizi differenti offerti dalla stessa modalità (ad esempio i servizi urbano, Regionale, Interregionale per quanto riguarda il modo bus).

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.

2.6 Indagini campionarie

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 nelle sezioni precedenti.

2.6.1 Le indagini

Gli obiettivi della valutazione della domanda, cioè la stima diretta dei flussi, ma anche la stima mediante dei modelli, si raggiungono mediante delle indagini [10], 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.

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: "Quale alternativa sceglieresti in questa circostanza?".

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 V_j a partire dalle scelte effettuate dagli utenti.

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

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

Per la calibrazione del modello è possibile utilizzare il metodo della Massima Verosimiglianza [10]. 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 $h (h = 1, 2, \dots, H)$ 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.

2.6.2 L'indagine SP

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 [16]. Esiste però qualche limitazione all'approccio basato sulle 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.

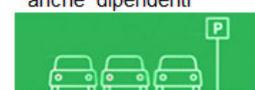
Queste limitazioni possono essere superate dalle indagini SP (Stated Preferences), che sono indagini utili per ottenere delle informazioni riguardanti i possibili comportamenti di mobilità su scenari ipotetici [17]. Infatti indagano le possibili scelte di mobilità che gli utenti farebbero in riferimento 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.

I vantaggi portati da un'indagine SP 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, 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.

SCENARIO 1	AUTO		BUS	
	Tempo di viaggio	20 minuti	Tempo a bordo mezzo	25 minuti
Costo carburante	€ 1,53	Costo del biglietto	€ 1,60	
Costo parcheggio anche dipendenti	Gratuito	Tempo impiegato per raggiungere la fermata	più di 5 min	
		Informazioni disponibili	Orario Cartaceo	
		Tempo di attesa alla fermata	più di 5 min	
		Frequenza	15 minuti	
		Livello di comfort	Posto a sedere disponibile	



Bus Station

Opening Times

Monday 8:30am until 1pm
 Tuesday 9am until 2:15pm
 Wednesday 9am until 3pm
 Thursday 10:15am until 4pm
 Friday 7:30am until 5:30pm
 Saturday 11:30am until 6pm
 Sunday 10am until 12:15pm

Figura 7 - Esempio di scheda SP per le alternative di scelta

Le indagini SP sono contraddistinte 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. Gli attributi possono essere suddivisi in oggettivi e soggettivi [18], 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 il bus. Automobile e bus 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 bus. 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.

2.6.3 Progettazione dell'indagine

Si riportano le 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. Si consiglia di non superare i nove-dieci scenari per ciascun decisore [10].

Per la definizione di alternative tecnologicamente fattibili di un'indagine SP, è opportuno seguire alcuni passi fondamentali [15]. 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 lo 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.

Le variabili con un numero maggiore di livelli possono essere percepite dagli intervistati come più importanti [19]. 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:

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

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.

In questi casi sono disponibili 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 il livello dell' h -esimo attributo dell' i -esimo scenario.

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

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

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 nella tabella 2 la fattorializzazione usata per il caso studio [10], in cui si evidenzia come la variabile *C* verrà ottenuta dalle variabili *A* e *B*.

A	B	C
+	+	+
=	+	=
-	+	-
+	-	-
=	-	=
-	-	+

Tabella 2 - Esempio di fattoriale fratto per la variabile C

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

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 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 (figura 8, [10]).

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 3 - Schema di suddivisione in due blocchi

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.

CAPITOLO 3

MODELLAZIONE DEI SERVIZI DI TRASPORTO PUBBLICO LOCALE

Nei processi di pianificazione, programmazione e controllo dei componenti di ogni sistema di trasporto, l'utilizzo di una base di dati affidabile e completa rappresenta il requisito fondamentale per l'organizzazione dei dati in maniera strutturata e standardizzata.

Negli anni passati sono stati implementati in vari settori, compreso quello del Trasporto Pubblico, diversi strumenti di supporto alle decisioni che si basano su basi di dati dedicate, progettate in maniera chiusa, senza cioè prevedere la comunicazione con le altre fonti di informazioni esistenti.

Vari progetti europei e internazionali hanno tentato di rimediare a questa tendenza, proponendo un linguaggio comune basato sulla definizione dei dati e delle loro relazioni al fine di descrivere in maniera completa sia il servizio di trasporto programmato sia quello effettivamente svolto.

3.1 Utilizzo dei GIS per la modellazione dei sistemi di trasporto

I Sistemi Informativi Geografici (GIS) sono strumenti in grado di gestire grandi quantità di dati e di offrire validi mezzi di analisi per la pianificazione e la gestione del territorio.

I GIS vanno ben oltre alla realizzazione di immagini cartografiche; spesso ne viene ridotto lo scopo, confondendone e limitandone la loro reale utilità. Essi possono essere definiti come un sistema informativo computerizzato che permette l'acquisizione, la registrazione, l'analisi e la visualizzazione di informazioni derivanti da dati geografici (georeferenziati).

Qui di seguito sono elencate le principali caratteristiche che contraddistinguono i GIS:

- La capacità dei GIS di attribuire a ogni oggetto le sue coordinate geografiche spaziali, ossia georeferenziare i dati.
- La possibilità di associare informazioni alfanumeriche di vario tipo (informazione tematica) all'informazione geometrica dell'oggetto (nodi o punti, segmenti o linee, aree o poligoni). La geometria di un oggetto si suddivide in una componente metrica, che ne descrive la forma, la dimensione e la posizione geografica e una componente topologica, che descrive le relazioni spaziali tra gli oggetti (figura 8).
- La possibilità di ottenere nuove informazioni a partire da dati già esistenti, aggregandoli oppure elaborandoli. Le funzioni di analisi spaziale permettono di mettere in relazione dati diversi tra loro, in modo da ottenere nuovi livelli di informazione.

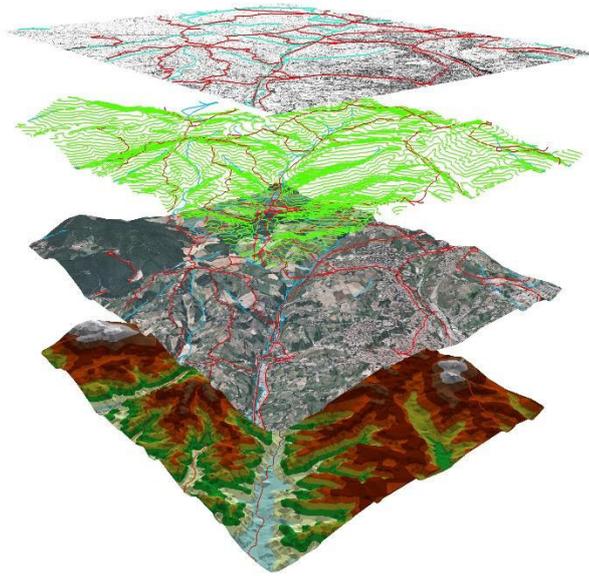


Figura 8 - Livelli informativi nei GIS

Riassumendo, possiamo dire che la tecnologia GIS integra in un unico ambiente le più comuni operazioni legate all'uso di una banca dati (interrogazioni, analisi statistiche) con i benefici dell'analisi spaziale.

Proprio l'integrazione tra informazione tematica e geometria distingue i GIS dagli altri sistemi di informazione e fa di essi un potente strumento per la gestione del territorio. Si ricorda, che fino all'introduzione dei GIS, la migliore fonte di informazione era la sola documentazione cartacea: le mappe da una parte e gli archivi contenenti le informazioni aggiuntive dall'altra. Oggi, grazie ai GIS, è possibile disporre di una rappresentazione grafica dell'informazione e consultare contemporaneamente la banca dati associata.

L'impiego dei GIS è diventata pratica sempre più diffusa anche nel settore dei trasporti, tanto da essere considerato uno tra i più importanti campi di applicazione [20]. Nel settore dei trasporti esiste, infatti, l'esigenza di informazioni aggiornate e strutturate per la creazione e la gestione delle reti.

Agli inizi degli anni Novanta si è introdotto il termine inglese di "GIS-T", che sta propriamente a indicare l'uso dei GIS nel settore dei trasporti. Attualmente, i GIS-T costituiscono un importante strumento informativo in grado di integrare le conoscenze acquisite nel campo della modellistica e della simulazione del traffico con le possibilità di gestione delle informazioni offerte dai sistemi di gestione relazionali dei dati [21]. Tra le possibili alternative di architettura, il modello relazionale dei dati risulta essere ancora la soluzione più diffusa, anche se è forse opportuno specificare, che il modello relazionale non è prerogativa dei GIS-T, ma della maggior parte delle applicazioni GIS in generale.

L'obiettivo principale dei GIS-T è quello di gestire e pianificare i sistemi e le reti di trasporto; qui di seguito se ne riportano, a titolo di esempio, alcune importanti applicazioni pratiche:

- L'analisi e la valutazione delle interazioni tra il sistema di trasporto e il territorio urbano (pianificazione territoriale);
- Gli studi di impatto ambientale delle infrastrutture di trasporto e l'analisi dei costi sociali (traffico e ambiente);
- L'analisi dell'incidentalità e i piani di sicurezza stradale (sicurezza);
- I piani di protezione civile e di evacuazione (gestione emergenze);
- La dislocazione dei servizi (analisi di fattibilità);
- I modelli di simulazione per lo studio della distribuzione dei flussi di traffico (simulazioni);
- I sistemi di navigazione assistita e i servizi di informazione aggiornata sullo stato del traffico (gestione del traffico e studi strategici).

In commercio, troviamo moduli software studiati specificatamente per la gestione del traffico (software di simulazione del sistema di trasporto), dove si è cercato di migliorare alcuni aspetti propri dei GIS, quali la grafica e l'editing dei grafi stradali. Allo tempo stesso, troviamo software GIS che presentano moduli specializzati per l'analisi e la modellistica delle reti di trasporto, rimanendo però strumenti adatti a un più ampio numero di applicazioni (Tabella 4).

Software GIS	Modulo Trasporti
Qgis	Aequibrae
	Grass Network
ArcGIS (www.esri.com)	Network Analyst
	Tracking Analyst
	Utility Network
MapInfo (www.mapinfo.com)	Routing J Server
Geomedia (Intergraph)	Transportation Analyst
AutoCAD (www.autodesk.com)	AutoCAD Map
TransCAD, TransModeler (www.caliper.com)	
Software di simulazione	
Getram/ AIMSUN (www.tss-bcn.com)	
Visum, Vissim, Sitraffic (PTV Vision)	
Transims (www.ccs.lanl.gov/transims)	
MATSim (www.matsim.org , IVT, ETH Zurigo)	

Tabella 4 - Funzioni specialistiche nei principali software GIS

Esistono inoltre, software che pur appartenendo principalmente a una delle due categorie contemplano la possibilità di svolgere anche funzioni dell'altra categoria. Di recente realizzazione, troviamo infine software che sono contemporaneamente GIS e software di simulazione. Ad esempio, il software di simulazione VISUM prodotto dalla PTV Vision, è in grado di interfacciarsi sia con ArcGIS che con MapInfo attraverso l'interfaccia Shape- Converter, un modulo che consente di convertire shapefiles in formati leggibili da VISUM.

La gestione di un sistema di trasporto è caratterizzata da una serie di fasi fondamentali, schematizzate in Tabella xx. È possibile notare come per le prime fasi, dalla delimitazione dell'area di studio alla costruzione del modello dei dati, i GIS si rivelano essere lo strumento più idoneo alla loro realizzazione, mentre per le fasi propriamente di pianificazione i software di simulazione offrono ancora gli strumenti più appropriati.

Funzione	Software GIS	Software Simulazione
La delimitazione dell'area di studio	Si	No
La suddivisione dell'area in zone di traffico (zonizzazione)	Si	No
La selezione delle infrastrutture e/o dei servizi di trasporto rilevanti per il problema	Si	No
La costruzione del modello matematico dell'offerta di trasporto (rete)	Si	Si
La definizione delle componenti della domanda di mobilità	Si	Si
La definizione del modello di interazione domanda/offerta (modelli di assegnazione)	Si	Si

Tabella 5 - Funzionalità a confronto per i GIS e i software di simulazione

3.2 Delimitazione dell'area di studio

Il contesto geografico usualmente è definito come area di studio che, a sua volta, può essere definita come quella porzione di territorio all'interno della quale si ritiene che si esauriscano la maggior parte degli effetti provocati da possibili interventi sul sistema dell'offerta di trasporto. La dimensione dell'area dipende da considerazioni qualitative, dalle finalità dello studio e dalle caratteristiche del territorio. Essa può quindi corrispondere a un'intera nazione o essere limitata a una singola area urbana. All'interno dell'area di studio possono idealmente iniziare e finire in qualunque punto tutti gli spostamenti (relazioni origine-destinazione) e il confine è di solito detto "cordone" [10]. Ciò che si trova al di fuori del cordone è l'ambiente esterno e di esso interessano esclusivamente le interconnessioni con l'area di studio. Per consentire la modellizzazione del

sistema di trasporto, occorre discretizzare il territorio suddividendo l'area di studio in zone di traffico, zone fra le quali si svolgono gli spostamenti (Figura 10, [10]). La cosiddetta zonizzazione è funzione del livello di dettaglio che si adotta per la modellizzazione del sistema di offerta e la successiva analisi del sistema.

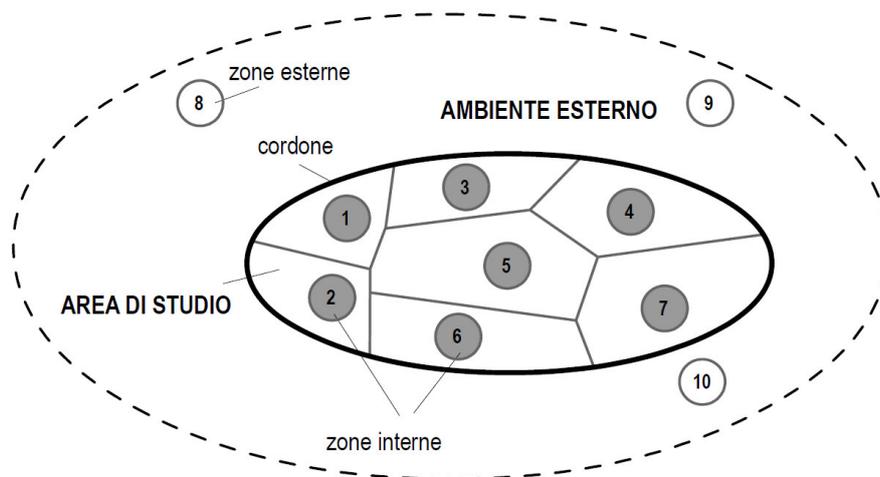


Figura 9 - Definizione dell'area di studio

Per l'individuazione dei confini delle zone di traffico si possono usare diversi criteri. Si possono adottare separatori fisici (corsi d'acqua, spartiacque, ferrovie) oppure l'aggregazione può seguire criteri di omogeneità di utilizzo del territorio o di unità territoriali amministrative. Quest'ultimo criterio si rivela spesso molto utile per analisi statistiche e disponibilità di informazioni.

Si può far uso anche di un diverso dettaglio di zonizzazione per parti diverse dell'area di studio, in funzione della diversa precisione con cui si vuole analizzare il sistema.

3.3 Il modello dei dati del servizio di Trasporto Pubblico Locale

I GIS, indipendentemente dal settore di impiego, devono essere intesi principalmente come mezzo in grado di fornire un modello che descrive e astrae il mondo reale [22]. Essi offrono una semplificazione della realtà che è formulata in funzione della problematica, delle informazioni disponibili e delle elaborazioni che saranno effettuate [23].

In una prima fase della modellizzazione, si separano le informazioni rilevanti da quelle superflue, scegliendo successivamente solo gli elementi più significativi. La scelta degli elementi da considerare è strettamente collegata alle finalità per le quali si costruisce il modello.

Nel caso specifico del sistema di trasporto, si tratterà di definire un modello che simuli il funzionamento del sistema di offerta costituito dalle componenti fisiche e organizzative finalizzate alla produzione dei servizi di trasporto in una determinata area. Si dovrà operare una selezione

delle infrastrutture e dei servizi presenti nell'area di studio che svolgono una funzione rilevante di collegamento fra le diverse zone in cui è suddivisa l'area (rete di base). Solitamente, nel caso delle reti stradali, non tutte le infrastrutture svolgono una funzione di collegamento rilevante. Ad esempio, per analisi su scala nazionale molte delle strade interne alle singole città non sono prese in considerazione nel modello. Al contrario, per una rete su scala maggiore o per reti di servizi aerei o ferroviari si considerano, di norma, tutte le infrastrutture e i servizi. In base alla scala di lavoro, si dovrà inoltre scegliere un livello di dettaglio tale da permettere una conoscenza precisa e adeguata delle caratteristiche geometriche e funzionali dei diversi elementi. La rete di base dipende dalle finalità per le quali si costruisce il modello, dalla zonizzazione e dalle modalità di trasporto considerate, in altre parole se si considera un sistema mono- o multimodale.

I dati sono dapprima descritti con linguaggio naturale in un modello spaziale e, successivamente, tradotti in un modello concettuale. Questa tappa della modellizzazione è completamente indipendente dal sistema informatico e avviene grazie a formalismi che descrivono la struttura dei dati (geometria, topologia, attributi e relazioni tra le diverse entità) in maniera univoca e consistente (ad esempio: ERM6 oUML7). Successivamente, per integrare i dati in un GIS bisogna tradurre i risultati del modello concettuale in un modello logico. Il modello logico dei dati dipende dal tipo di software GIS utilizzato ed è rappresentato con un linguaggio di definizione dei dati proprio del sistema scelto. Infine, il modello fisico descrive in dettaglio la memorizzazione dei dati all'interno del sistema informatico e definisce le modalità di accesso alle informazioni [23].

3.3.1 Modello Arco-Nodo

L'approccio classico adottato per rappresentare e gestire una rete è quello basato su un sistema di elementi topologicamente connessi tra loro tramite la struttura arco-nodo.

Simbolicamente un grafo G può essere indicato con $G = (V, L)$ dove $V = \{1, 2, 3, 4\}$ è l'insieme dei vertici e $L = \{\{1,2\}, \{2,3\}, \{1,4\}, \{4,3\}\}$ è l'insieme dei lati che collegano tali vertici. Si parla di "grafo pesato" o più semplicemente di "rete" se a ogni lato restano associati uno o più attributi numerici [24]. Nel caso di una rete si parla più propriamente di nodi e archi, $G = (N, A)$. La rappresentazione tipica, e anche la più immediata, è quella grafica, dove ogni punto rappresenta un nodo e gli archi sono individuati dai segmenti tra le coppie di nodi.

I grafi utilizzati per le reti di trasporto sono di norma orientati, ovvero gli archi hanno un verso di percorrenza. Ad esempio, un tratto di strada a senso unico è rappresentato da un solo arco, secondo il verso di percorrenza; una strada a doppio senso di marcia è rappresentata da due archi, caratterizzati ciascuno dal proprio senso di marcia. Ogni arco è costituito da una coppia di coordinate d'inizio (nodo iniziale) e una coppia di coordinate finali (nodo finale). Nel caso di archi

orientati, nella rappresentazione grafica, spesso è presente anche una freccia che indica il verso di orientamento.

Nel grafo caratteristico di una rete di trasporto, i nodi corrispondono a realtà fisiche territoriali; essi sono situati in corrispondenza delle intersezioni tra gli archi, ma possono essere localizzati anche in corrispondenza di variazioni significative delle caratteristiche geometriche e/o funzionali di un arco o in corrispondenza di punti strategici, quali aeroporti o stazioni. Gli archi rappresentano i collegamenti tra i diversi nodi e hanno caratteristiche geometriche, funzionali e prestazionali omogenee. Il grafo può essere realizzato con diversi gradi di accuratezza e precisione. Il numero di nodi dipende dal grado di dettaglio geometrico (generalizzazione) che si vuole raggiungere, dalla complessità dell'oggetto da rappresentare e chiaramente dei fini dell'analisi.

Il modello dei dati più tipicamente utilizzato per supportare la struttura arco-nodo è quello di tipo relazionale [25]. In Figura 11, è illustrato un esempio di rappresentazione di un grafo e di fianco sono riportate le tabelle che caratterizzano il suddetto modello.

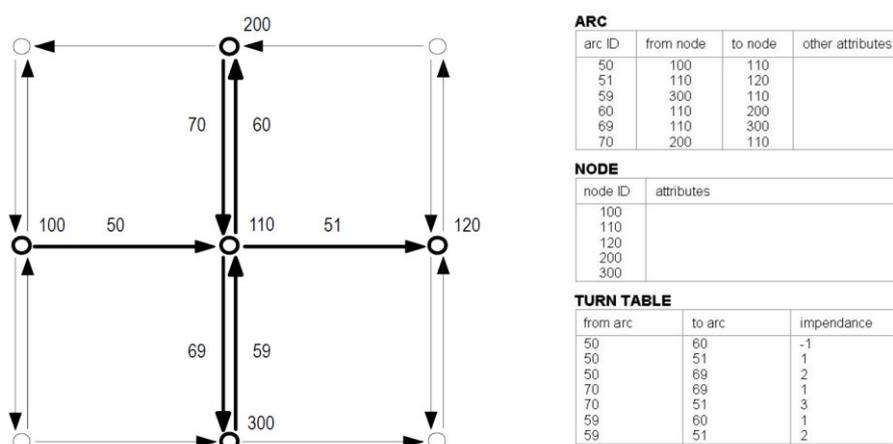


Figura 10 - Modello relazionale dei dati nella struttura arco-nodo [16]

Come si può notare, ogni arco della rete è identificato da una chiave primaria (arc ID) e da una coppia di coordinate che ne determinano la direzione (from node; to node). Normalmente, vi sono associate informazioni tematiche aggiuntive che permettono un'analisi del traffico più dettagliata, quali, ad esempio, la larghezza dell'arco, il tempo di percorrenza, la capacità, il numero di corsie, ecc. I nodi sono identificati a loro volta da una chiave primaria (node ID) e, a seconda delle necessità, da altri attributi [26]. Si ricorda che le intersezioni sono date dalla confluenza di più archi; per tale motivo, esse rivestono spesso un ruolo importante nel sistema di trasporto, in quanto possono rappresentare punti di conflitto e luoghi di congestione e/o incidenti.

Il modello arco-nodo risulta sicuramente molto utilizzato, pur presentando alcuni limiti. Un primo limite riguarda la necessità di inserire un nodo a ogni intersezione, a garanzia della consistenza

topologica della rete. Questo può creare problemi relativi all'eventuale presenza di incroci non reali fra gli archi (si pensi a sopra passi o sottopassaggi). Una soluzione si può raggiungere rinunciando in parte alla consistenza topologica (non è possibile discriminare tra svolte consentite e non) oppure aumentando il grado di dettaglio in prossimità di un'intersezione (Figura 12) e aggiungendo al modello una turn-table.

Questa tabella definisce, per ogni coppia di archi collegati tramite un nodo, se sia possibile o meno il passaggio del flusso. Nel primo caso, si rischia di violare l'integrità dei dati, mentre la seconda soluzione risulta essere una modalità spesso inefficiente e complessa da realizzare [26].

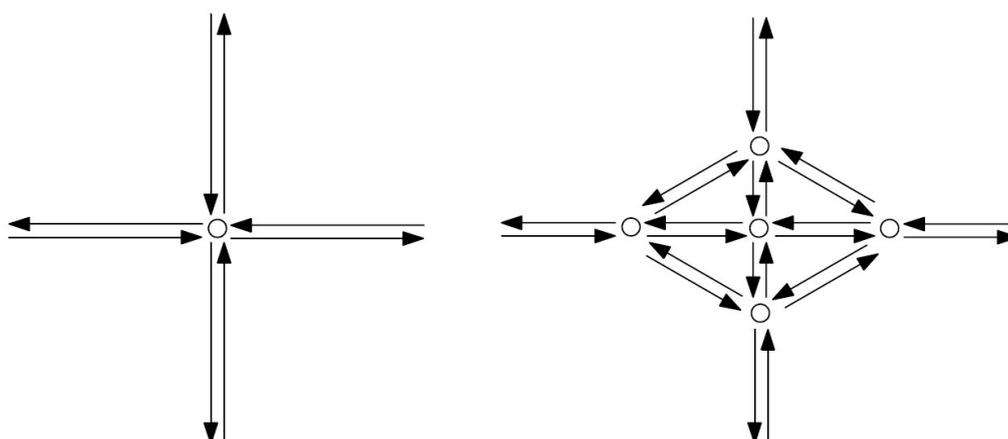


Figura 11 - Intersezione secondo il modello arco-nodo con diverso livello di dettaglio

Un secondo problema, è dato dall'esigenza, dettata dal modello, di avere archi omogenei, contraddistinti cioè da caratteristiche uniformi [25]. Questo vincolo riduce chiaramente le potenzialità del modello, basti pensare come esempio allo stato della pavimentazione stradale. La qualità del manto stradale può presentare un elevato grado di disuniformità lungo uno stesso segmento stradale, oltre che rappresentare un elemento che può variare di molto le sue caratteristiche nel tempo.

Il terzo problema riguarda la difficoltà del modello topologico lineare standard di gestire relazioni m-m tra le diverse entità del modello [26].

3.4 Sistemi di referenziazione lineare e segmentazione dinamica

I sistemi di referenziazione lineare (LRS) permettono di rappresentare e gestire in maniera estremamente efficace informazioni associabili a elementi geografici lineari, quali lo stato della pavimentazione, la frequenza degli incidenti, i limiti di velocità, ecc. [26]. Questo è reso possibile,

in quanto, i LRS consentono di localizzare un evento tramite la sua distanza (progressiva metrica) da un punto fisso lungo un arco (Figura 12).

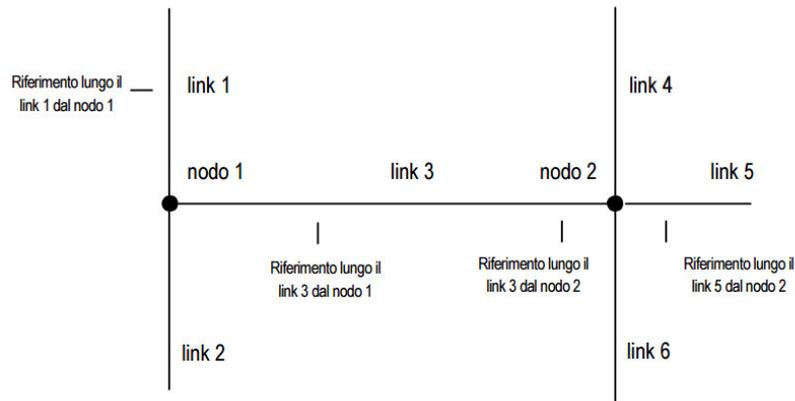


Figura 12 - Segmentazione dinamica con modello arco-nodo

Un'importante estensione del modello topologico lineare è rappresentato dallo schema della segmentazione dinamica. Alla base di questa funzionalità si trova il concetto di route, elemento lineare complesso di lunghezza variabile al quale si può associare l'informazione tematica. La route è composta da uno o più archi, permettendo in questo modo una relazione 1-m e m-m. Mediante la segmentazione dinamica si è in grado di sovrapporre alla struttura topologica arco-nodo (fisica) una nuova topologia, definita in maniera logica, senza modificare i dati presenti nella banca dati.

Come evidenziato in Figura 13, ogni route può essere un elemento continuo, contenere segmenti vuoti, diramazioni o addirittura ripetersi su certi tratti [26].

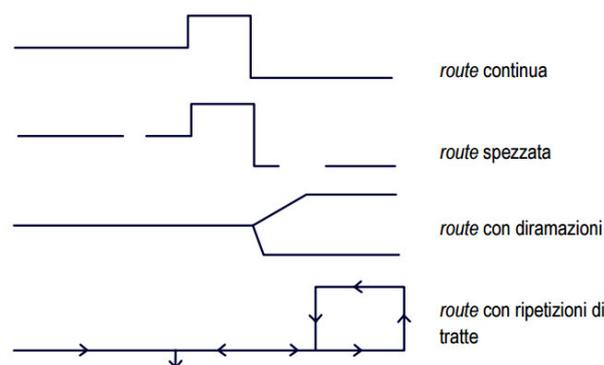


Figura 13 - Tipologie di routes

La mappa dei mezzi pubblici della città di Londra, riportata in Figura 14, mostra un esempio pratico, dove le tratte tra le fermate possono essere modellizzate come archi, le fermate come i nodi del modello e le linee metropolitane come routes.

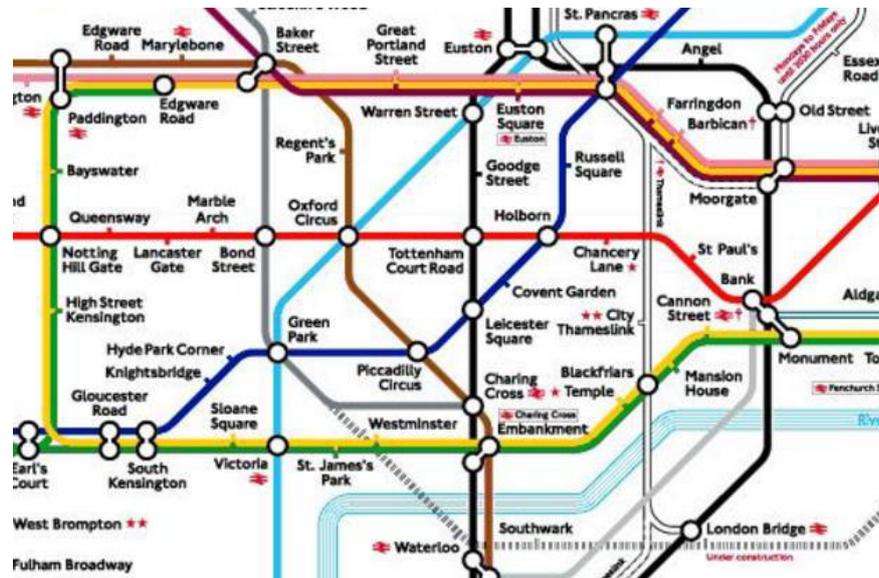


Figura 14 - Estratto di mappa della metro di Londra

Lo schema della segmentazione dinamica permette inoltre di posizionare degli eventi lungo ogni route. Gli eventi sono informazioni tematiche riguardanti la rete che possono comprendere sia fenomeni sporadici, quali ad esempio incidenti stradali, rallentamenti o cali di visibilità, sia informazioni tendenzialmente permanenti, quali alcune caratteristiche geometriche delle tratte interessate.

Essi sono caratterizzati minimo da due attributi, una chiave identificativa per la route e la sua distanza progressiva sulla route e sono posizionati lungo gli archi grazie ai riferimenti lineari.

Come già discusso, esistono diverse applicazioni dei GIS-T che richiedono un grado di dettaglio dell'informazione spesso molto diverso. Questo chiaramente implica la necessità di un modello dei dati adeguato e consono al sistema da analizzare.

Riportiamo qui di seguito alcune considerazioni che si possono fare a riguardo [27]:

- Per analisi semplici relative al traffico stradale privato può essere sufficiente un modello arco-nodo, eventualmente completato da turn-tables per modellizzare le manovre in prossimità delle intersezioni;
- Per analisi multimodali saranno da modellizzare oltre agli elementi base, anche elementi addizionali quali le fermate, i collegamenti tra le diverse modalità di trasporto e i relativi orari;
- Per analisi di traffico dinamiche nel modello si deve considerare la componente temporale che, a seconda del tipo di analisi, potrà esprimere tempi di viaggio, frequenza dei servizi, ciclicità di alcuni fenomeni legati al traffico, ecc.

- Per le operatività si necessita di aggiornamenti e previsioni regolari delle informazioni e il grado di dettaglio dell'informazione sarà di conseguenza maggiore, basti pensare ai sistemi di navigazione o alle simulazioni microscopiche del traffico (capitolo terzo). Il modello dei dati richiesto risulterà inevitabilmente più complesso.

Recentemente, si stanno cercando di proporre modelli che offrano degli standard in grado di creare una struttura dei dati unitaria, integrabile a diverse realtà e soprattutto modelli con un livello dell'informazione scalabile in base al grado di dettaglio desiderato per l'analisi. Per poter realizzare questo obiettivo è necessario un lavoro di cooperazione tra gli addetti ai lavori che permetta di integrare modelli diversi per adattarli ad ambiti il più possibile eterogenei. È importante inoltre che la creazione del modello non sia mirata alla sola gestione, ma anche alla programmazione, alla valutazione del livello di qualità del servizio, alla integrabilità con altri dati territoriali di equivalente valore.

Negli ultimi anni, sono stati sviluppati alcuni modelli di offerta a livello europeo. Per la modellizzazione dell'offerta per il trasporto privato, possiamo ricordare lo standard europeo Geographic Data File (GDF), preparato dal lavoro del Comitato Tecnico del CEN (Comité Européen de Normalisation). Questo standard è nato dall'esigenza di codificare e normalizzare l'informazione di base necessaria allo sviluppo dei sistemi navigazione satellitare. Lo standard è oggi usato da diverse fonti informative, e in particolare dalla banca dati Multinet di Tele Atlas, utilizzata nel corso del presente lavoro (vedi capitolo quarto). Per il trasporto pubblico possiamo invece indicare il modello europeo TRANSMODEL.

Questo standard prescrive le caratteristiche di sistemi informativi relativi all'insieme di tutte le informazioni riguardanti la programmazione del servizio di un sistema di trasporto pubblico. Alcuni elementi sono stati adottati dal modello GDF e integrati nel modello per il trasporto pubblico. Per la rappresentazione dei dati e per le applicazioni di infomobilità, è fondamentale citare il Google Transit Feed Specification (GTFS), diventato ormai lo standard *de facto* per le piattaforme di gestione delle informazioni di trasporto pubblico locale.

CAPITOLO 4

LA PIATTAFORMA DI INFOMOBILITÀ

I presupposti discussi nei precedenti capitoli riguardanti le mutate esigenze di mobilità e le preferenze degli utenti sulle soluzioni di viaggio forniscono gli strumenti teorici e pratici per giungere alla formulazione della necessità di uno strumento informativo di supporto alle scelte degli utenti, che possa inoltre fornire supporto alle decisioni di programmazione delle aziende e delle amministrazioni.

La proposta del presente studio è quella di progettare una piattaforma di infomobilità multimodale aperta, integrata ed interoperabile in grado di fornire informazioni statiche e dinamiche prima e durante lo spostamento, relativamente all'offerta complessiva di trasporto nell'area di riferimento. Il sistema mira all'armonizzazione e all'integrazione degli attuali sistemi informativi unimodali di trasporto all'interno di un'unica piattaforma attraverso la raccolta, la fusione e l'elaborazione delle basi di dati relative ai diversi provider (aziende di trasporto pubblico, gestori di sistemi AVL, ecc.).

La piattaforma deve essere in grado di supportare l'utente nella scelta del percorso e delle modalità di spostamento sulla base del proprio profilo e dell'offerta di trasporto pubblico compatibile con le sue esigenze. Le informazioni possono essere acquisite attraverso le reti di connessioni attive sul territorio e visualizzate tramite smartphone, personal computer, ecc.

Gli utenti, grazie all'implementazione della piattaforma, possono accedere al territorio in modo efficace ed efficiente, nell'ottica di uno sviluppo sostenibile della mobilità urbana che prevede lo spostamento di quote modali verso modi collettivi.

4.1 Architettura della piattaforma

Definiamo architettura di un software l'organizzazione basilare di un sistema, il quale è rappresentato dalle sue componenti, dalle relazioni che esistono tra di loro e l'ambiente circostante, e dai principi che governano la sua progettazione ed evoluzione.

Tra le molte problematiche da affrontare, nello sviluppo dell'architettura di un'applicazione, le più importanti sono:

- La stratificazione dell'applicazione, cioè la suddivisione delle funzionalità in aree indipendenti e intercomunicanti tramite interfacce;
- La strutturazione della logica applicativa;

- La persistenza degli oggetti attraverso un database;
- La gestione dello stato delle sessioni in un ambiente stateless;
- La strutturazione dell'interfaccia utente;
- I principi di distribuzione;

Si devono inoltre considerare problemi riguardanti la validazione dei dati, la tipologia di comunicazione sincrona/asincrona, la gestione dei dati di interscambio, la sicurezza, la gestione di errori/eccezioni, la suddivisione dei dati e l'integrazione con applicativi esterni.

4.1.1 Architetture multi-livello

La stratificazione è una tecnica basata sulla filosofia divide et impera e viene usata dai software designers per suddividere sistemi software complessi. Le architetture software basate sulla stratificazione sono dette n-tier, o multi-tier, oppure multi-strato. Un esempio pratico, e ampiamente diffuso, di questa pratica è rappresentato dallo standard ISO/OSI (Open System Interconnection), cioè il modello di pila protocollare dalla quale sono derivate le reti moderne. Internet stessa è basata sulla suite di protocolli TCP/IP, la quale può a sua volta essere rappresentata tramite il modello OSI.

Questo tipo di suddivisione in strati (altrimenti detti layers) comporta una serie di vantaggi:

- ogni layer rappresenta un insieme coerente di funzionalità, le quali rispondono ad un insieme limitato di problematiche;
- ogni layer incapsula l'implementazione dei servizi forniti, nascondendo la propria complessità agli strati adiacenti;
- le dipendenze tra gli strati sono minimizzate, facendo sì che ogni layer sia intercambiabile, al solo costo di rispettare le interfacce degli strati adiacenti;
- la suddivisione in layer incoraggia la riusabilità, permettendo a volte, di riutilizzare gli strati in altri applicativi con una quantità minima di interventi sul codice.

L'applicazione della stratificazione introduce anche alcune complicazioni inerenti le prestazioni del sistema e la possibilità di modifiche a cascata. I problemi di prestazioni sono principalmente legati alla necessità di passare da una rappresentazione dei dati, strettamente legata ad uno strato, verso un'altra, fruibile da uno strato differente. Sebbene tale operazioni spesso si riduce ad una semplice mappatura, tra diverse istanze di oggetti, diventa onerosa al crescere della quantità di dati in transito dallo strato. Il problema delle modifiche a cascata dipende, invece, dall'impossibilità di incapsulare tutte le operazioni in modo ottimale. Il risultato che ne deriva è che modifiche, anche semplici e inerenti un singolo strato, si propagano agli strati adiacenti. Un esempio di questo è

l'aggiunta, in un'entità della base dati, di un campo che vogliamo mostrare anche nell'interfaccia utente, e che dovremo quindi aggiungere in tutti gli strati intermedi.

4.1.2 La stratificazione

La piattaforma presenta un'architettura multi-strato, nella quale ogni livello opera indipendentemente dagli altri, incapsulando i dettagli di implementazione del servizio fornito, ed esponendo interfacce, metodi ed oggetti, tramite il quale può essere interrogato dagli altri livelli. Questa pratica favorisce la separation of concerns, cioè il principio per cui ogni componente software deve potersi concentrare sul suo obiettivo primario, senza preoccuparsi di come sono implementati i servizi dal quale dipende. Il vantaggio derivante da questa separazione è un incremento della manutenibilità, della modularità, della scalabilità e dell'incrementabilità del software.

L'architettura a tre strati, anche detta 3-tier architecture, suddivide le funzionalità del software in tre differenti unità:

- interfaccia utente, o UI layer, la quale si occupa dell'interazione con l'utente e della presentazione dei dati;
- lo strato logico, o business layer, il quale si occupa di incapsulare la logica decisionale, i comportamenti e i calcoli sulle entità del dominio applicativo;
- lo strato di persistenza, o data layer, il quale supporta la memorizzazione e il recupero dei dati dell'applicativo.

Il data layer è composto da un database relazionale, o RDBMS, e da un ORM (Object Relational Mapping), cioè da un software che favorisce l'integrazione tra un database relazionale e la struttura ad oggetti del sistema. Altro vantaggio indotto dall'utilizzo di un ORM è la possibilità di astrarre le caratteristiche implementative dello specifico RDBMS utilizzato, rendendo di fatto, la base dati intercambiabile.

Il business layer, oltre che fornire servizi relativi alle entità del dominio verso lo strato di interfaccia, incapsula le interfacce di accesso a servizi esterni e le logiche decisionali.

L'UI layer comprende tutte le procedure, i modelli dati e i servizi che permettono l'interazione con l'utente; trattandosi di interfaccia web, questo strato è ulteriormente suddiviso in: server-side, cioè l'insieme di componenti software elaborati dall'infrastruttura server, e client-side, cioè quell'insieme di script, dati e documenti di layouts eseguiti dal client.

La piattaforma comprende infine uno strato verticale, detto common layer, che contiene una serie di classi, le quali funzionalità sono condivise tra tutti gli altri layer. Questo strato implementa funzionalità di uso comune come l'infrastruttura di logging, metodi di utilità per la manipolazione dei dati, eccezioni personalizzate, ed una serie di classi per l'integrazione di plugins e moduli aggiuntivi. Il common layer comprende infine un insieme di oggetti leggeri, detti Data transfer objects o DTO, utili per il trasferimento di entità complesse all'interno e all'esterno dell'applicativo.

Ognuno di questi layer è compilato come componente indipendente ed espone agli altri layer solamente i metodi pubblici che gli permettono di interfacciarsi con essi.

4.2 Lo sviluppo secondo pattern

In questo capitolo sono presentati i principali design pattern impiegati nella progettazione e sviluppo prototipale della piattaforma. Il concetto di pattern è definito come una soluzione progettuale generale a un problema ricorrente. Ogni pattern è caratterizzato da un nome che lo identifica, da una classe di problemi ai quali può essere applicato, dalla descrizione della soluzione proposta, ed infine, da vincoli e risultati introdotti dalla sua applicazione. I pattern di sviluppo si possono suddividere in tre macroaree: pattern architetturali, design pattern e pattern di implementazione, in base all'ambito di applicazione dei pattern che ne fanno parte. I pattern architetturali sono pattern di alto livello e operano sulla struttura del sistema, individuandone insiemi di responsabilità omogenee e relazioni di tra esse, allo scopo di partizionarle tra le varie componenti. Un esempio di pattern architetturale è la n-tier architecture, esposta in precedenza in questo capitolo. I design pattern sono strettamente legati al paradigma object-oriented e si riferiscono alla struttura, e interazione, degli oggetti del sistema. I pattern di implementazione sono invece i pattern di basso livello, legati a specifiche tecnologie, che mirano a sfruttare i punti di forza le caratteristiche peculiari di una certa piattaforma.

La descrizione del problema affrontato da un pattern comprende una panoramica sulle situazioni cui esso è applicabile, la quale, può essere più o meno specifica e deve comprendere le precondizioni necessarie alla sua applicazione.

La soluzione proposta dal pattern è riassunta dal suo nome e viene descritta come la configurazione degli elementi da esso costituiti anche il problema sia risolto. La soluzione proposta deve astrarre il problema, senza addentrarsi nelle specifiche di implementazione.

I vincoli imposti da un pattern sono spesso l'argomento primario per determinarne la scelta, in quanto determinano l'impatto della soluzione prodotta sul resto del sistema.

4.2.1 Il pattern Model View Controller (MVC)

Il pattern MVC, Model-View-Controller, è un pattern architetturale legato alla programmazione ad oggetti, nato alla fine degli anni 70 come framework per Smalltalk, sviluppato da Trygve Reenskaug. Da allora, il framework MVC, ha giocato un ruolo importante nel design e nello sviluppo di framework per interfacce utente. Il problema affrontato da questo pattern è quello di separare le logiche di business dai dati, e dalla loro rappresentazione.

La struttura di MVC è caratterizzata da tre tipologie di oggetti:

- il Model, rappresenta le informazioni del dominio, contiene i dati, e quindi lo stato di entità del sistema;
- la View, che mostra i dati del model adattandosi al suo stato;
- il Controller, gestisce l'interazione con l'utente, ricevendone i comandi e manipolando il model di conseguenza;

In questo modo la logica di business viene ripartita tra model e controller, model e view si suddividono il problema della rappresentazione delle entità, mentre view e controller compongono l'interfaccia utente gestendo input e output del sistema.

4.3 User Interface (UI)

La gestione dell'interazione con l'utente è un problema molto vasto e complesso, pertanto la progettazione di un'interfaccia utente (in inglese user interface, o UI) diventa un argomento particolarmente delicato. Considerando le caratteristiche web-based che deve avere la piattaforma, e l'obiettivo di trasformarlo in un software ad alta diffusione, la progettazione e lo sviluppo, dello strato di interfaccia, devono tener conto di aspetti relativi a ergonomia e usabilità, in particolare:

- Efficacia ed efficienza nel raggiungimento degli obiettivi prefissi dall'utente che utilizza il sistema;
- Familiarità e facilità di apprendimento, per permettere all'utente di ambientarsi rapidamente al software;
- Sicurezza e robustezza all'errore, facendo in modo che eventuali errori abbiano impatto minimo sull'utilizzo del sistema.

Vanno inoltre considerati aspetti relativi alla portabilità e alla mobilità. Si intende per portabilità la possibilità di utilizzare il software su differenti sistemi, ad esempio palmari, tablet e cellulari. Il problema della mobilità, invece, concerne la possibilità di operare il software in qualsiasi luogo e

momento, consentendone la fruizione agli utenti, così come agli impiegati delle aziende che operano dall'interno del proprio ufficio.

4.4 Metodologia collaborativa per lo sviluppo

Nell'ambito del web design e della programmazione, si indica con wireframe la bozza strutturale di un applicativo web. La tecnica del wireframing, applicata alla progettazione di interfacce, consiste nella produzione di bozze della UI che ne riassumono gli aspetti principali, cioè:

- I contenuti, cioè cosa è necessario mostrare all'utente;
- La disposizione dei componenti dell'interfaccia;
- Una breve descrizione delle interazioni con l'utente.

La produzione di un wireframe è un processo rapido che si presta particolarmente bene al processo collaborativo, fornendo ad ogni membro del team la possibilità di intervenire sulla struttura della UI. Il più delle volte un wireframe è prodotto a matita su un foglio di carta, oppure su una lavagna, e viene rifinito in un secondo momento in caso si renda necessario un confronto con il cliente.

Il passo successivo rappresenta dalla produzione di un mockup, cioè una rappresentazione statica, ma esteticamente dettagliata, della versione finale dell'interfaccia. In certi casi un mockup può mostrare già l'aspetto estetico finale dell'interfaccia, dando un'idea più completa del risultato finale. Un mockup permette di rappresentare la struttura delle informazioni, visualizzare alcuni contenuti e dimostrare le funzionalità di base di una UI, senza però implementarle. I mockup possono essere sufficientemente accurati da far parte della documentazione tecnica del prodotto e contengono sufficienti informazioni per la produzione di un prototipo funzionante.

Il prototipo è una versione dinamica ed interattiva dell'interfaccia finale. Un prototipo non presenta necessariamente gli aspetti estetici della versione finale, ma deve piuttosto evidenziare dinamicamente i contenuti e le iterazioni della UI in modo simile al prodotto finale. Per ridurre i costi di sviluppo spesso si rimanda la fase di allacciamento del prototipo con il backend applicativo, corredandolo di un set di dati temporanei ma significativi.

4.5 Controllers e API

I controllers hanno il compito di elaborare le richieste utente e coordinare modelli e viste allo scopo di produrre l'output desiderato. Data la struttura stratificata della piattaforma, ricade sul controller anche la responsabilità di interfacciarsi con lo strato della logica applicativa. Un particolare tipo di controller è rappresentato dall'API Controller, il quale, anziché renderizzare viste, si limita a

serializzare i dati in un formato di interscambio, come Json o XML, ed inviarli in risposta al client. Con Application Programming Interface (in acronimo API, in italiano interfaccia di programmazione di un'applicazione), in informatica, si indica ogni insieme di procedure disponibili al programmatore, di solito raggruppate a formare un set di strumenti specifici per l'espletamento di un determinato compito all'interno di un certo programma.

4.6 Interfaccia grafica client side

Il client side di un'interfaccia web è composto da pagine web interattive. Queste pagine vengono elaborate dal client tramite un web browser, e costituiscono il punto d'accesso vero e proprio per il sistema. I sorgenti dei quali necessita il browser, per realizzare l'interfaccia, sono costituiti da:

- Documenti di markup, codificati in HTML, forniscono la struttura delle pagine, e dunque dell'interfaccia, e contengono riferimenti agli altri elementi necessari all'interfaccia;
- Fogli di stile, cioè documenti codificati in CSS (Cascading Style Sheets), contenenti direttive di layout che governano l'aspetto grafico all'interfaccia;
- Script, codificati in linguaggio Javascript, interpretati ed eseguiti dal browser per aggiungere aspetti di interattività e dinamicità all'interfaccia.

Questi componenti devono rispettare il più possibile gli standard imposti dal consorzio W3C, affinché l'interfaccia sia eseguibile sul maggior numero di browser possibile, e sia quindi indipendente dall'architettura hardware del device che accede all'applicativo.

4.6.1 HTML5, CSS3 e Javascript

L'interfaccia utente della piattaforma è basata sugli standard HTML5, CSS3 e Javascript, grazie ai quali è possibile in maniera rapida sviluppare applicazioni cross-platform di tipo mobile.

Il termine HTML5 è spesso usato in riferimento ad un insieme di tecnologie del web moderno, molte delle quali sono sviluppate dal WHATWG, cioè Web Hypertext Application Technology Working Group, talvolta in collaborazione con il consorzio W3C e l'IETF (Internet Engineering Task Force). Lo sviluppo di HTML5, è iniziato nel 2004 ad opera del WHATWG, allo scopo di progettare specifiche per lo sviluppo di applicazioni web, ed ha visto l'intervento del W3C solo nel 2007. Nel 2012 però, il W3C, ha deciso nuovamente di separarsi dal processo di standardizzazione, perseguendo una propria versione di HTML5, che al momento è presentato in due versioni: la versione HTML living standard, supportata dal WHATWG, e la versione del W3C, che corrisponderà ad uno snapshot della versione del WHATWG. HTML5 introduce alcune importanti novità rispetto alla versione 4:

- Maggiore disaccoppiamento tra la struttura del documento, gli stili grafici (fonts, colori, bordi, etc.) e il contenuto della pagina;
- Supporto di contesti grafici, rappresentati da elementi di tipo canvas, che permettono di utilizzare Javascript per creare grafica raster;
- Supporto alla geolocalizzazione per i device che lo consentono;
- Introduzione del WebStorage, in sostituzione ai cookies, per la memorizzazione di dati nel browser senza spreco di banda;
- Introduzione dei WebWorkers, cioè script in formato Javascript, eseguiti in background, indipendentemente dagli script sui quali è eseguita la pagina.

La tecnologia di supporto ad HTML5 scelta per la piattaforma, per quanto riguarda le direttive di stile, è la terza versione di CSS, cioè CSS3. CSS è un linguaggio per la formattazione di documenti HTML, XHTML e XML, introdotto a partire dal 1996 dal W3C, per migliorare la manutenibilità e la riusabilità del codice delle pagine web. Il codice CSS è strutturato in regole, a loro volta suddivise in selettori, proprietà e valori. Il selettore permette di indicare al browser quali elementi sono soggetti ad una certa regola; proprietà e valori sono raggruppate per selettori, e indicano le proprietà da assegnare agli elementi riferiti dai selettori che le comprendono. CSS3 è al momento lo standard più recente per i fogli di stile e, pur mantenendo completa retrocompatibilità, introduce numerose funzionalità quali: selettori più evoluti, box models più elastici, alterazione del contenuto tramite direttive, effetti al testo, trasformazioni 2D e 3D, layout multi-colonna, etc.

L'interattività delle pagine, come di consueto nel web, è implementata tramite l'utilizzo di Javascript. Javascript è un linguaggio interpretato, orientato agli oggetti, e caratterizzato da una

```

<p id="demo">0</p>
<p><button id="start">Avvia il timer</button>
<button id="stop">Ferma il timer</button></p>
<script>
var x=1; var t;
function timer(){
document.getElementById('demo').innerHTML = x++;
}
document.getElementById('start').onclick= function (){
t = window.setInterval(timer, 1000);
}
document.getElementById('stop').onclick= function (){
window.clearInterval(t);
};
</script>

```

Codice 1 - Esempio di implementazione di un timer in Javascript

sintassi simile al Java (dal quale prende il nome). A dispetto del nome però, le differenze con Java sono molteplici: mentre Java è fortemente tipizzato, e fortemente orientato agli oggetti, Javascript è debolmente tipizzato, e gli oggetti sono strutturati più come array associativi, che come oggetti Java o C++.

In un linguaggio *fortemente tipizzato*, il programmatore è tenuto a specificare il tipo di ogni elemento sintattico che durante l'esecuzione denota un valore costante, una variabile o una espressione, e il linguaggio garantisce che tale valore sia utilizzato in modo coerente con il tipo specificato: per esempio, non è possibile eseguire una somma aritmetica su dati di tipo stringa. Sebbene venga utilizzato anche lato server (ad esempio da piattaforme come NodeJS), JavaScript è nato come linguaggio lato client per il web, cioè per essere eseguito direttamente sul browser del client, pertanto per lo scopo di questa trattazione, ci riferiremo a Javascript in riferimento al codice lato client.

4.6.2 Il DOM (Document Object Model)

Il Document Object Model (DOM), è un'interfaccia per la manipolazione dinamica della struttura, dei contenuti e degli stili di un documento, i cui standard sono definiti dal W3C.

In sostanza il Document Object Model, tradotto in modello a oggetti del documento, è la rappresentazione di un documento secondo il modello a oggetti, che permette ai programmi di gestirne gli elementi in tempo reale. Tale rappresentazione è indipendente da piattaforme o linguaggi, ed è impiegata da programmi lato server, quanto da script lato client. In particolare, questa rappresentazione ad oggetti, è supportata nativamente dai browser web, che la impiegano

```
<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
<title>titolo documento</title>
<script type="text/javascript">
</script>
</head>
<body>
<h1>Intestazione</h1>
<p>testo del paragrafo ... </p>
<a href="http://its.unical.it/transit">Avvia la piattaforma</a>
</body>
</html>
```

in fase di interpretazione dei documenti HTML, costruendo una struttura ad albero manipolabile, e stilizzabile, tramite JavaScript e CSS. Il DOM, nei browser, prende tipicamente la forma di una struttura dati ad albero, i cui nodi sono rappresentati da elementi relativi a tag specifici, ad esempio tabelle, form, collegamenti esterni, immagini, oppure ad attributi e nodi testuali.

Una volta che il browser ha interpretato il documento HTML, il modello risultante sarà simile a quello rappresentato nel listato xx. La manipolazione del modello costruito può avvenire tramite script, i quali possono essere inclusi nel documento stesso sotto forma di codice JavaScript, oppure possono essere referenziati come risorse esterne. Il codice mostra un esempio di manipolazione del DOM: inserito nel tag script dell'esempio, il codice proposto permette di eliminare dal documento tutti i tag di tipo p.

4.6.3 AJAX (Asynchronous JavaScript and XML)

Il funzionamento delle prime web application, legate al funzionamento dei primi web browser, prevedeva che ogni interazione tra utente ed applicazione (quale l'invio di dati, la richiesta di risorse o una semplice operazione di login), fosse seguito da un nuovo ciclo di richiesta, risposta e rendering della pagina, durante il quale l'interazione dell'utente con l'interfaccia web è bloccata. Questo comportamento viene comunemente detto refresh ed è derivato dalla struttura dell'ipertesto, la quale prevede semplici documenti referenziati tramite collegamenti, sul quale si è basato il web fin dal principio. Col tempo, e con l'evoluzione delle web application, questo comportamento è diventato particolarmente controproducente: l'utente è infatti costantemente interrotto durante la sua interazione, dovendo attendere che il browser proceda ad effettuare le singole richieste sui dati, rompendone la concentrazione ed eliminando di fatto il parallelismo intrinseco in certe operazioni di manipolazione dei dati.

Supponiamo ad esempio di voler eliminare da un elenco di elementi, una serie di elementi selezionati secondo criteri arbitrari. Secondo il suddetto modello di funzionamento le procedure coinvolte nell'eliminazione di un singolo elemento comprendono:

1. L'utente richiede, attraverso il browser, l'elenco degli elementi e attende una risposta;
2. Il webserver risponde inviando un documento contenente l'elenco dati;
3. Il browser dell'utente riceve il documento e ne effettua il rendering, presentando i dati all'utente;
4. L'utente individua uno o più elementi, da eliminare, ed invia la richiesta di eliminazione tramite il browser;
5. Il browser blocca la pagina, bloccando di fatto l'interazione dell'utente, per inviare la richiesta al server;

6. Il server riceve la richiesta, effettua l'eliminazione e invia nuovamente tutto l'elenco di elementi al client;
7. Il browser ripete il rendering della pagina, sui dati ottenuti dalla risposta, e l'utente può tornare a consultare e manipolare i dati.

Questa procedura, oltre agli svantaggi già citati, comporta uno spreco di banda, in quanto ad ogni richiesta il server è costretto a re-inviare l'intero elenco di oggetti al client.

Per ovviare a questi problemi vengono impiegate tecniche AJAX, cioè JavaScript asincrono e XML (Asynchronous JavaScript and XML). Il termine asincrono si riferisce al fatto per cui le richieste avvengono in background, cioè senza interrompere l'interazione utente, tramite alcuni script javascript, e possono essere effettuate anche in parallelo. L'utilizzo di XML, invece, è opzionale. Le tecniche AJAX prevedono diverse fasi, cioè: la richiesta asincrona, la deserializzazione dei dati ottenuti in risposta, la manipolazione della struttura del documento. A queste fasi si può aggiungere la fase di serializzazione, nel caso in cui rappresentazioni di oggetti complesse vengano inviate tramite richieste HTTP POST, secondo un certo formato di interscambio.

La procedura illustrata per la manipolazione dei dati (5.5.3), viene perciò sostanzialmente modificata tramite l'impiego di tecniche ajax:

1. L'utente richiede, attraverso il browser, l'elenco degli elementi e attende una risposta;
2. Il webserver risponde inviando un documento contenente l'elenco dati, il quale è corredato di opportuni script che implementano tecniche AJAX;
3. Il browser dell'utente riceve il documento, ne effettua il rendering, ed interpreta gli script allegati;
4. L'utente individua uno o più elementi, da eliminare, e seleziona il comando di eliminazione dall'interfaccia;
5. Gli script AJAX vengono eseguiti, tramite il browser, e la richiesta viene inviata in background, senza interrompere l'utente, il quale può continuare a selezionare altri elementi da eliminare oppure consultare diversamente i dati;
6. Il server riceve la richiesta, effettua l'eliminazione e invia una semplice conferma dell'eliminazione;
7. Il browser riceve la conferma dell'eliminazione e può alterare la pagina già renderizzata, confermando eventualmente all'utente l'esito affermativo delle azioni compiute.

Grazie a queste tecniche viene reintrodotta il parallelismo nelle operazioni, in quanto l'utente può continuare ad utilizzare l'applicativo, come se si trattasse di una normale interfaccia desktop, oppure effettuare più operazioni sui dati contemporaneamente.

I formati di scambio più utilizzati sono XML, HTML e JSON. Per la piattaforma è stato scelto JSON, principalmente per le sue doti di leggerezza e semplicità. L'acronimo JSON significa JavaScript Object Notation, in quanto tale formato è basato sullo standard ECMA per Javascript. JSON, a differenza di XML, non è un linguaggio di marcatura e la sua sintassi è interpretabile rapidamente tramite javascript, permettendo una rapida deserializzazione in oggetti, tramite l'operatore eval().

```
{ "status" : 200 ,  
  "reason" : "Ok" ,  
  "result" : [  
    {  
      "Id" : 1 ,  
      "Azienda" : "Consorzio Autolinee" ,  
      "Indirizzo" : " Piazza Della Provincia, 31"  
      "Cap" : "87076" ,  
      "Localita" : "Cosenza" ,  
      "Provincia" : "CS" ,  
      "Nazione" : "IT" ,  
      "Stato" : "Attivo"  
    }  
  ]  
  "headers" : null }
```

Codice 3 - Esempio di presentazione di un risultato in JSON

JSON è inoltre supportato dal framework MVC4 per quanto riguarda l'interfaccia lato server. I tipi di dato, supportati dal formato JSON sono booleani, numeri interi e a virgola mobile, stringhe, array e array associativi, ed il tipo di dato nullo.

Il frammento di codice proposto rappresenta una tipica risposta in formato JSON, e ne mostra le doti di leggibilità. I campi degli oggetti sono facilmente identificabili dal proprio nome, e sono seguiti dal loro valore, sempre espresso in formato leggibile, secondo la formattazione richiesta dal tipo di dato rappresentato. L'oggetto rappresentato è complesso, ed è composto dai dati di un'azienda, incapsulati in un oggetto che trasporta informazioni di stato riguardanti l'esito della richiesta. Si può notare l'utilizzo di alcuni dei tipi di dati supportati da JSON: i campi status e il campo Id dell'azienda, assumono valori interi; il loro valore è rappresentato da cifre espresse in caratteri, senza conversioni in binario o cambiamenti di base. Campi quali

Descrizione, indirizzo, o il campo reason, sono campi di tipo stringa, il cui valore è delimitato da doppi apici. Il campo result è un array, i cui elementi sono racchiusi tra parentesi quadre e delimitati da virgole. Infine l'oggetto azienda, compreso nell'array result, è espresso come un array associativo, e il campo headers presenta un valore nullo.

4.7 Sviluppo MVC tramite AngularJS

AngularJS è un framework JavaScript per lo sviluppo di applicazioni Web client side. Pur essendo relativamente giovane (la versione 1.0 è stata rilasciata nel 2012), il progetto ha riscosso un notevole successo dovuto all'approccio di sviluppo proposto e all'infrastruttura fornita che incoraggia l'organizzazione del codice e la separazione dei compiti nei vari componenti.

AngularJS è un framework, una infrastruttura per la creazione di applicazioni composta da un insieme di funzionalità. AngularJS da un lato esalta e potenzia l'approccio dichiarativo dell'HTML nella definizione dell'interfaccia grafica, dall'altro fornisce strumenti per la costruzione di un'architettura modulare e testabile della logica applicativa di un'applicazione. Questi concetti, probabilmente ora un po' astratti, dovranno essere tenuti presenti per comprendere a pieno le potenzialità di AngularJS evitando di utilizzarlo come una semplice libreria JavaScript.

Angular fornisce tutto quanto occorre per creare applicazioni moderne che sfruttano le più recenti tecnologie, come ad esempio le Single Page Application, cioè applicazioni le cui risorse vengono caricate dinamicamente su richiesta, senza necessità di ricaricare l'intera pagina. Tra le principali funzionalità a supporto dello sviluppo di tali applicazioni segnaliamo:

- Il binding bidirezionale (two-way binding);
- La dependency injection;
- Il supporto al pattern MVC;
- Il supporto ai moduli;
- La separazione delle competenze;
- La testabilità del codice;
- La riusabilità dei componenti.

Seguendo il principio della separazione delle competenze, AngularJS fornisce il supporto al pattern Model View Controller (MVC). In realtà AngularJS è molto flessibile nel supporto di questo pattern, tanto che alcuni lo interpretano più come un Model View ViewModel (MVVM) o, come lo ha definito uno dei suoi autori, Model View Whatever (MVW o MV*).

In AngularJS una view è il risultato visivo generato a partire da un template HTML eventualmente

```
<div>
  <p>Nome: <input type="text" ng-model="nome"></p>
  <p>Cognome: <input type="text" ng-model="cognome"></p>
</div>
```

Codice 4 - Gestione VIEW nel framework AngularJS

arricchito da direttive. Consideriamo ad esempio il seguente codice HTML:

Esso rappresenta una porzione di pagina all'interno della quale è definito come visualizzare il nome ed il cognome di un utente. In esso vediamo l'uso di una direttiva che conosciamo già, ng-model. In altre parole, con questo brano di codice arricchito da direttive abbiamo definito come l'interfaccia grafica dovrà visualizzare i dati, cioè una view.

La definizione di un controller in Angular richiede ovviamente la scrittura di codice JavaScript, ma quello che è importante è che fin dalle prime battute occorre organizzare tale codice in maniera opportuna. Per prima cosa, infatti, è necessario assegnare un nome alla nostra applicazione che finora era rimasta "anonima". Per farlo è sufficiente assegnare il nome alla direttiva ng-app:

```
<body ng-app="myApp">
....
<script type="text/javascript">
angular.module("myApp", []);
</script>
```

Codice 5 - Dichiarazione dell'applicazione Web in AngularJS

La definizione del modulo viene effettuata utilizzando il metodo module() dell'oggetto globale angular e passando una stringa che rappresenta il nome del modulo e un elenco di eventuali dipendenze.

Facendo corrispondere il nome del modulo con il nome assegnato alla direttiva ng-app stiamo informando Angular che il codice che gestisce la nostra applicazione si trova nell'omonimo modulo.

All'interno di questo modulo definiamo il controller di cui abbiamo bisogno, e lo facciamo grazie al metodo controller():

```
<script type="text/javascript">
angular.module("myApp", [])
  .controller("userController",
    function($scope) {
      $scope.nome = "Mario";   $scope.cognome = "Rossi";
    });</script>
```

Codice 6 - Implementazione del CONTROLLER con AngularJS

Per il principio della separazione delle competenze tra i componenti Angular, è opportuno sottolineare che il compito principale di un controller consiste nell'impostare lo stato iniziale del modello dei dati e la definizione di funzionalità per la view. In particolare un controller non deve:

- Manipolare il DOM, questo compito è riservato alle direttive Formattare l'input, per questo compito è opportuno utilizzare i form Angular;
- Formattare l'output, questo è compito dei filtri;
- Condividere dati con altri controller, per questo compito è opportuno creare dei servizi;
- Implementare funzionalità generali, l'implementazione di funzionalità che non riguardano direttamente l'interazione tra dati e view deve essere fatta nei servizi.

Per quanto riguarda l'implementazione dei servizi, questi sono trattati come componenti Angular che offrono funzionalità indipendenti dall'interfaccia utente. Essi, in genere, consentono di implementare la logica dell'applicazione, cioè le funzionalità che si occupano di elaborare e/o recuperare i dati da visualizzare sulle view tramite i controller.

Un altro ruolo che possiamo attribuire ai servizi è quello della condivisione di funzionalità accessibili dagli altri componenti dell'applicazione: controller, filtri, direttive o altri servizi. Per fare un esempio, supponiamo di aver bisogno di una funzione per il calcolo delle linee passanti per una fermata di trasporto pubblico e che tale funzione venga utilizzata da più componenti della nostra applicazione Angular. Il modo migliore di gestire questa esigenza è la sua implementazione come servizio.

4.8 La gestione dei dati

La gestione dei dati della piattaforma, come descritto nella sezione precedente in merito alla stratificazione, nello strato di persistenza (data layer), avviene grazie all'utilizzo di Data Base e Data Base Management System (DBMS).

Una base di dati può essere definita come una collezione di dati, utilizzati per elaborare e rappresentare le informazioni di interesse del sistema informativo.

Un sistema di gestione di basi di dati (DBMS, o Database Management System) è un software in grado di gestire collezioni di dati che siano grandi, condivise e persistenti, assicurando loro affidabilità e privacy. Deve inoltre essere efficiente ed efficace. Una collezione di dati si dice grande quando di dimensioni enormi dal punto di vista spiccatamente informatico (migliaia di miliardi di byte) o comunque maggiori della memoria centrale disponibile; di conseguenza deve essere prevista una memoria secondaria. Essa deve essere condivisa affinché applicazioni e utenti diversi accedano ai dati comuni, in tal maniera i dati non vengono ripetuti e si riduce la possibilità di inconsistenze, e persistente perché il tempo di vita non è limitato all'esecuzione dei programmi che lo utilizzano.

L'affidabilità di un DBMS è la capacità di mantenere intatto il contenuto della base di dati in caso di malfunzionamenti di hardware e software: per assicurarla i DBMS dispongono cioè di specifiche funzionalità di backup e recovery. La Privacy nel DBMS assicura a ciascun utente di essere riconosciuto mediante un nome utente e viene abilitato a svolgere solo determinate azioni sui dati, mediante procedure di autorizzazione. Per Efficienza si intende la capacità, per svolgere le operazioni, di utilizzare una aliquota accettabile, per gli utenti, di risorse (tempo e spazio); per Efficacia la capacità della base di dati di rendere produttive le attività dei suoi utenti.

Un modello dei dati è insieme di concetti usati per organizzare i dati di interesse e descriverne la struttura in modo che essi possano essere letti ed elaborati da un calcolatore. Il modello relazionale è un modello dei dati, attualmente il più diffuso, che permette di definire dei tipi per mezzo del costrutto relazione (in genere una tabella) che consente di organizzare i dati in insiemi di record a struttura fissa.

Il DBMS scelto per la piattaforma è PostgreSQL, un DBMS ad oggetti rilasciato con licenza BSD, nato nell'università di Berkeley (1985) allo scopo di gestire ingenti quantità di dati. PostgreSQL usa il linguaggio SQL per eseguire delle query sui dati. Questi sono conservati come una serie di tabelle con chiavi esterne che servono a collegare i dati correlati.

Inoltre, la scelta del DBMS PostgreSQL è stata ponderata sulla base delle sue estensioni spaziali (PostGIS e pgRouting), che lo rendono uno degli strumenti più utilizzati nel panorama delle applicazioni web-based che forniscono servizi geografici a livello globale.

Il modulo PostGIS estende le funzioni del DBMS aggiungendo capacità di analisi spaziali complesse in linea con gli standard dell'Open Geospatial Consortium e fornisce un sistema di gestione dei dati sui quali si basa un sistema GIS (Geographic Information System).

pgRouting è un'estensione che aggiunge funzionalità di routing e diverse analisi di rete al DBMS, quali ad esempio calcolo del percorso minimo tra due punti della rete di trasporto, matrici delle distanze tra punti sparsi sulla rete geografica, ecc.

4.8.1 Il formato dei dati

L'integrazione delle informazioni provenienti da diversi provider richiede la definizione di uno standard per il trattamento e l'immagazzinamento dei dati. La scelta del formato di gestione dei dati di trasporto pubblico è ricaduta sul General Transit Feed Specification (GTFS) di Google, oggi lo standard di fatto per questo tipo di dati, usato da Google Maps, Microsoft Bing Maps, Apple Maps, ecc. Molti operatori di servizi di trasporto pubblicano i dati in questo formato, e molti innovatori civici hanno creato questi file per le loro città.

4.8.2 GTFS

Un feed GTFS è una collezione di file di testo contenuta in un file compresso. L'insieme dei file di testo correlati tramite codici identificativi descrivono delle operazioni sulle tabelle degli orari del sistema di trasporto. Le specifiche sono progettate per essere sufficienti a fornire funzionalità di pianificazione di un viaggio, ma è anche utile per altre applicazioni come analisi del livello di servizio e altre misure prestazionali.

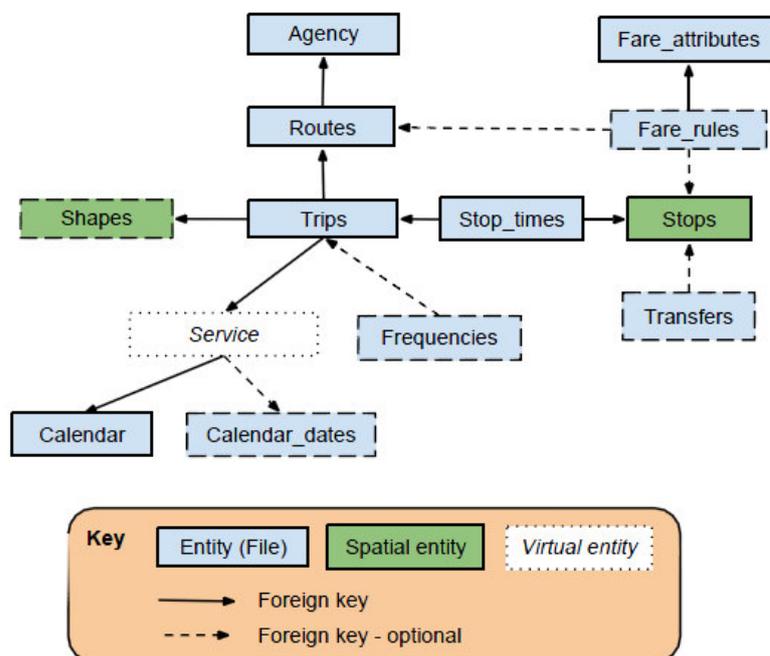


Figura 15 - Schema dei Feed GTFS di Google

Ogni tabella è rappresentata da un file di testo che viene rinominato con il nome della tabella stessa, secondo il seguente schema:

- “agency”: Rappresenta la tabella con le informazioni sull’azienda di trasporto;
 - Campi richiesti:
 - Agency_name,
 - Agency_url,
 - Agency_timezone;
- “routes”: È la tabella che contiene i percorsi;
 - Campi richiesti:
 - Route_id (chiave primaria),
 - Route_short_name,
 - Route_long_name,
 - Route_type;
- “trips”: Rappresenta gli itinerari per ogni percorso, e viene indicata come sequenza di due o più fermate ad un orario specifico;
 - Campi richiesti:
 - Trip_id (chiave primaria),
 - Route_id (chiave esterna),
 - Service_id (chiave esterna);
- “stop_times”: Identifica gli orari di una linea presso le fermate;
 - Campi richiesti:
 - stop_id (chiave primaria),
 - trip_id (chiave esterna),
 - arrival_time,
 - departure_time,
 - stop_sequence;
- “stops”: Questa tabella definisce i punti di fermata dei servizi, comprese le informazioni geografiche;
 - Campi richiesti:
 - stop_id (chiave primaria),
 - stop_name,
 - stop_lon,
 - stop_lat;
- “calendar”: La tabella definisce la ricorrenza con cui avviene il passaggio di un mezzo di trasporto ad una fermata, come giorni di esercizio e periodo di esercizio;

- Campi richiesti:
 - service_id (chiave primaria),
 - Monday,
 - Tuesday,
 - Wednesday,
 - Thursday,
 - Friday,
 - Saturday,
 - Sunday,
 - start_date,
 - end_date;

- “calendar_dates” (opzionale): Rappresenta eccezioni in relazione alla tabella “calendar”;
- “fare_attributes” (opzionale): Contiene le informazioni delle tariffe di viaggio dell’azienda;
- “fare_rules” (opzionale): Contiene le regole di applicazione delle tariffe;
- “shapes” (opzionale): Rappresenta le regole per tracciare i percorsi su mappa dei servizi;
- “frequencies” (opzionale): è la tabella delle frequenze dei servizi;
- “transfers” (opzionale): Contiene informazioni su possibili scambi;
- “feed_info” (opzionale): Contiene informazioni aggiuntive sui feed stessi, quali data di pubblicazione, validità, autore, ecc.

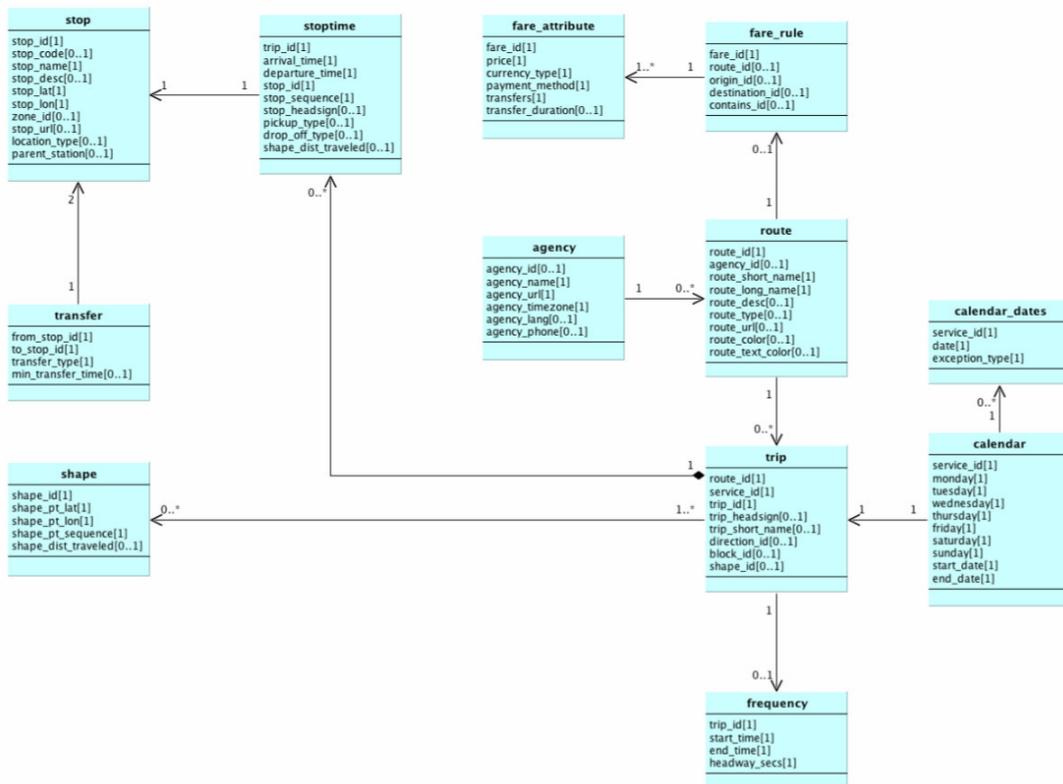


Figura 16 - Schema delle tabelle GTFS in database

La struttura dei file di testo del formato GTFS è stata importata nel DBMS PostgreSQL, al fine di utilizzare le potenzialità di PostGIS e pgRouting di analisi spaziali sul dataset.

4.9 La piattaforma di Automatic Vehicle Location (AVL)

Una delle fonti di dati fondamentali per il corretto funzionamento della piattaforma è rappresentata dalla Centrale Operativa REgionale (C.O.RE.) della Regione Calabria, realizzata grazie alla collaborazione della Regione Calabria e l'Università della Calabria.

Il sistema nasce come piattaforma di certificazione del servizio di Trasporto Pubblico Locale eseguito dalle Società consortili affidatarie dei servizi, e si compone di tre sottosistemi fra loro integrati:

1. La Centrale Operativa Regionale (C.O.RE.);
2. Il Sistema Consortile di Controllo (SICC);
3. Il Sistema a Bordo Veicolo (SBV), replicato su tutta la flotta di veicoli utilizzati per il TPL.

Lo schema logico dell'architettura del sistema è rappresentato nella figura sottostante, che descrive i moduli presenti, i soggetti coinvolti e i canali attraverso cui, secondo modalità e protocolli predefiniti, avviene la comunicazione tra gli elementi del sistema.

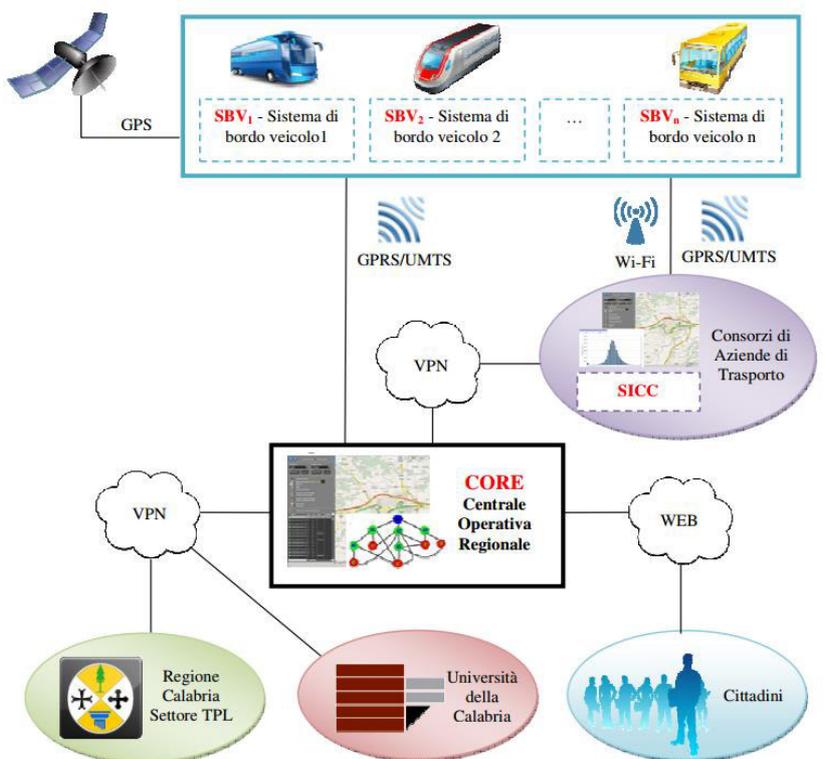


Figura 17 - Schema della Centrale Operativa REgionale come piattaforma AVL

L'architettura di C.O.RE., compatibile con quella ARTIST (ARchitettura Telematica Italiana per il Sistema dei Trasporti), promossa nel 2001 dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, si interfaccia da un lato con i veicoli che compongono la flotta delle aziende di trasporto regionali, dall'altro con i sistemi dei Consorzi.

Le informazioni che vengono inviate dai veicoli sono essenzialmente la sua posizione (rilevata tramite il sistema GPS) e l'identificativo della corsa che sta effettuando (via GPRS/UMTS), mentre i Consorzi trasferiscono alla C.O.RE. le proposte di variazione dell'esercizio integrato di tutte le aziende consorziate di TPL tramite uno strumento messo loro a disposizione.

L'architettura esplicita, inoltre, un'infrastruttura d'interfaccia tra il Consorzio e le flotte dei veicoli delle aziende di trasporto consorziate, attraverso la quale il Consorzio potrebbe trasferire i dati di servizio delle aziende consorziate ai propri mezzi, al fine, da un lato di automatizzare anche il processo di autenticazione ed individuazione dell'autista, oltre che del mezzo, dall'altra, di poter effettuare controlli incrociati con i dati raccolti dalla CORE per esercitare una funzione di controllo interna sulla coerenza dei dati raccolti dalla CORE.

La piattaforma offre inoltre servizi di infomobilità, basati sui servizi delle aziende di trasporto pubblico censite nel sistema, ma non consente di accedere alle informazioni in tempo reale, risultando di fatto un servizio statico e poco utilizzato dagli utenti.

4.9.1 L'architettura della piattaforma C.O.RE.

L'architettura logico-funzionale della piattaforma, garantisce le seguenti funzionalità per ciascun livello.

La Centrale Operativa REgionale rappresenta il sistema di monitoraggio AVL completo, e include il consolidamento in tempo reale dei dati di localizzazione provenienti dai mezzi di trasporto pubblico, la messa a disposizione dei dati di localizzazione in tempo reale, l'elaborazione off-line dei dati per la certificazione dei servizi, la pubblicazione dei dati di certificazione alle aziende di trasporto, le analisi di regolarità basate su strumenti di *business intelligence*.

Questo livello si interfaccia con il Sistema Consortile di Controllo per la trasmissione aggiornata dei dati, l'elaborazione e l'armonizzazione dei dati di esercizio e per la gestione dei reclami. Questo modulo prevede inoltre l'interfaccia con eventuali sistemi territoriali (via LAN o GPRS/UMTS, a seconda della loro localizzazione), allo scopo di mettere a disposizione, in tempo reale, i dati ai sottosistemi di infomobilità non solo dati in forma statica (orario delle corse), ma anche indicando gli anticipi/ritardi di ciascun mezzo e propagando, ove necessario, informazioni di servizio per l'utenza (cambi di percorso, situazioni di emergenza, ecc.).

Il Sistema Consortile di Controllo garantisce le seguenti funzionalità:

- Configurazione dei dati di esercizio completo in forma aggregata per tutte le aziende di trasporto consorziate.
- Invio delle proposte di variazione dei dati di esercizio integrato alla CORE, utilizzando il protocollo di comunicazione che sarà stabilito in fase di progettazione esecutiva della CORE.
- Monitoraggio e ed analisi dei dati della propria flotta resi disponibili dalla CORE (ciò consente la segnalazione alla CORE di annotazione aggiuntiva sulla singola corsa eseguita, reclami, ecc.).

Il Sistema a Bordo Veicolo svolge le seguenti funzioni:

- Rilevare i dati di localizzazione (inizio turno/corsa, posizione, riconoscimento fermata, apertura porte, ecc.), utilizzando un apposito protocollo di comunicazione.
- Inviare in tempo reale i dati di localizzazione direttamente alla CORE utilizzando un apposito protocollo di comunicazione.
- Gestire il funzionamento degradato nei casi di:
 - mancanza di vestizione del mezzo, con riconoscimento alternativo della fermata;
 - malfunzionamento GPS, con sistemi di navigazione “stimata” (dead reckoning) integrati nel dispositivo;
 - malfunzionamento della linea di comunicazione (GPRS/UMTS), mantenendo i dati in locale fino al ripristino della comunicazione stessa.

I protocolli di comunicazione definiti rispettano lo standard SOA (Service Oriented Architecture, compatibile con ARTIST. SOA è un modello architetturale per la creazione di sistemi distribuiti su una rete, che focalizza l’attenzione sul concetto di servizio. Un sistema costruito seguendo la filosofia SOA è costituito da moduli, chiamati servizi, ben definiti ed indipendenti l’uno dall’altro, che risiedono su più nodi all’interno di una rete. Ogni servizio mette a disposizione una certa funzionalità e può utilizzare quelle che gli altri servizi hanno reso disponibili, realizzando, in questo modo, applicazioni di maggiore complessità.

L’architettura SOA non è legata ad alcuna specifica tecnologia, ma consente di definire alcune proprietà, orientate al riutilizzo e all’integrazione in un ambiente eterogeneo, che devono essere rispettate dai servizi che compongono il sistema.

4.9.2 Il modello dei dati di C.O.RE.

Il modello dei dati alla base della piattaforma C.O.RE. appartiene a standard consolidati presso altre realtà nazionali e internazionali, ispirato al TransModel e al TransXChange. Transmodel

(formalmente CEN TC278, modello dati di riferimento per trasporto pubblico, ENV12896) fornisce un modello astratto dei concetti di trasporto pubblico e delle strutture di dati comuni che possono essere usati per sviluppare differenti sistema informativi per il TPL; il modello comprende le reti, gli orari, le tariffe, la gestione operativa, i dati in tempo reale, la pianificazione di viaggio, ecc. (www.transmodel.org). TransXchange è un protocollo standard britannico di scambio dati basato su XML per l'interscambio delle informazioni sulle reti e sugli orari fra gli operatori TPL, Enti Locali e sistemi di informazione ai clienti (www.transxchange.org.uk).

4.10 La piattaforma di infomobilità

I dati provenienti dalla piattaforma C.O.RE. e relativi ai servizi di Trasporto Pubblico Locale nell'area di studio, opportunamente acquisiti nella Base Dati geografica nel formato GTFS, consentono l'interrogazione e l'analisi sulla base della posizione dell'utente. Ogni servizio presente nella Base Dati, grazie all'estensione spaziale PostGIS, risulta infatti georeferenziata, e consente la realizzazione di servizi interattivi per l'utente che condivide la propria posizione con il sistema (GPS).

Sono di seguito riportati i servizi previsti nella piattaforma, che corrispondono alle preferenze degli utenti in fase di indagine relativamente alla sezione della disponibilità all'utilizzo di un'applicazione per smartphone dedicata.

4.10.1 Visualizzazione statica dei servizi

Questo servizio rappresenta una funzionalità base della piattaforma, consente la visualizzazione dei servizi di Trasporto Pubblico Locale su cartografia digitale (Google), con la possibilità di scaricare un formato stampabile degli orari del servizio.

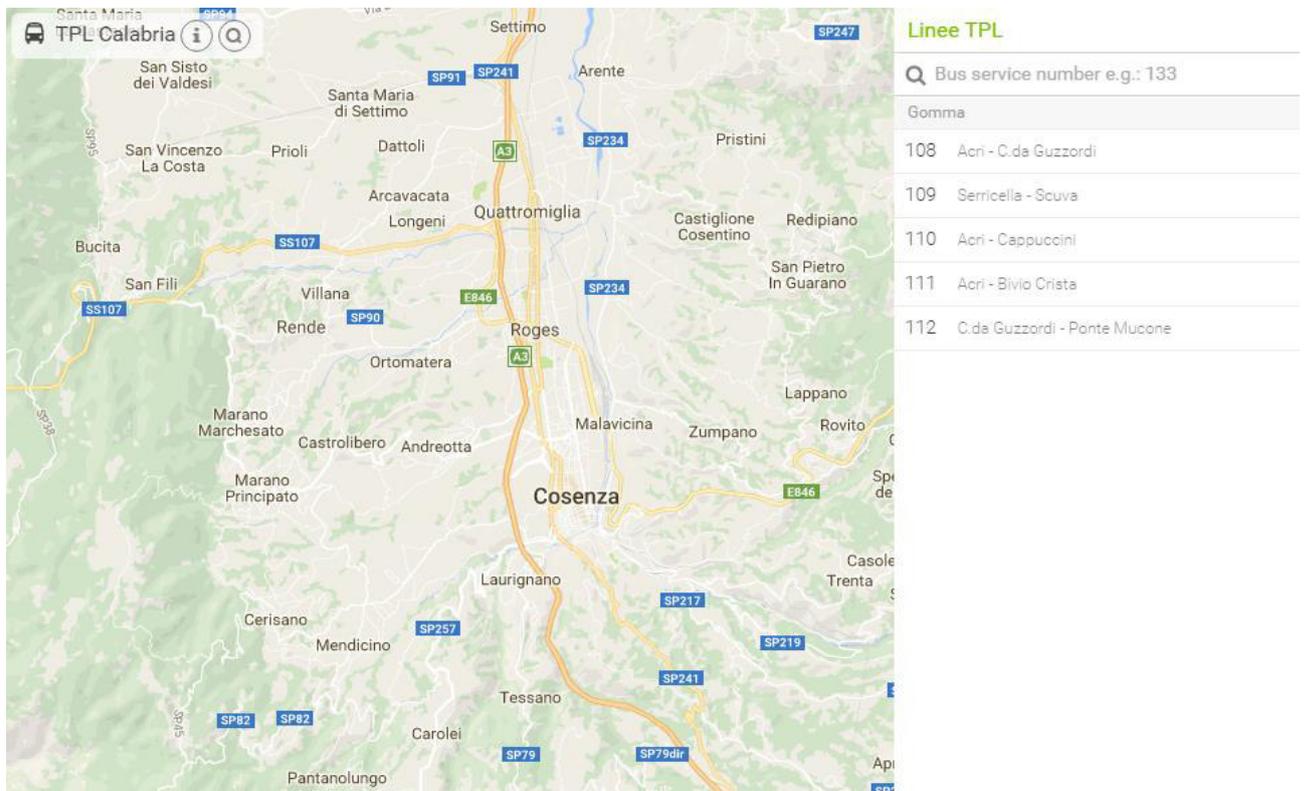


Figura 18 - Visualizzazione su mappa dei servizi di TPL

È disponibile una funzione di ricerca che consente, grazie alla capacità di auto-completamento degli indirizzi forniti da Google sull'area di studio, di visualizzare i punti di fermata in prossimità di un indirizzo scelto dall'utente. Per ogni punto di fermata è possibile selezionare una linea che prevede nel proprio quadro il passaggio dal punto specifico, per la quale è disponibile il collegamento ad una versione stampabile degli orari di esercizio. Il collegamento punta direttamente al portale della C.O.RE., per la quale è stato necessario effettuare la mappatura dei servizi e l'indirizzo specifico per ogni linea.

4.10.2 Interrogazione dinamica dei servizi

Qualora l'utente decide di condividere la propria posizione attraverso il sistema GPS del proprio dispositivo, la piattaforma è in grado di mostrare le fermate intorno all'origine dello spostamento. In questa fase il sistema inizia la profilazione dell'utente, acquisendo i punti di origine (derivati da GPS) e di destinazione (scelti dall'utente) di ogni spostamento.

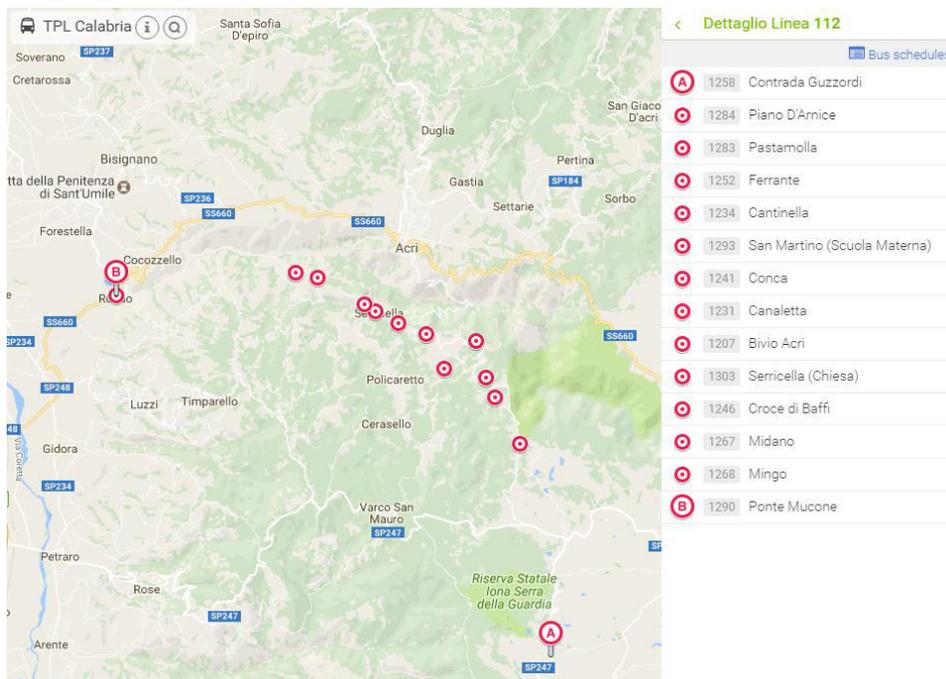


Figura 19 - Visualizzazione delle fermate di una linea di TPL

L'implementazione di questo servizio, grazie alla libreria *moment.js*, consente l'interrogazione dinamica basata su finestre temporali. L'utente ha la possibilità di visualizzare, per ogni fermata disponibile e prossima alla propria posizione, gli orari di arrivo e le linee passanti per il punto della rete più vicino.

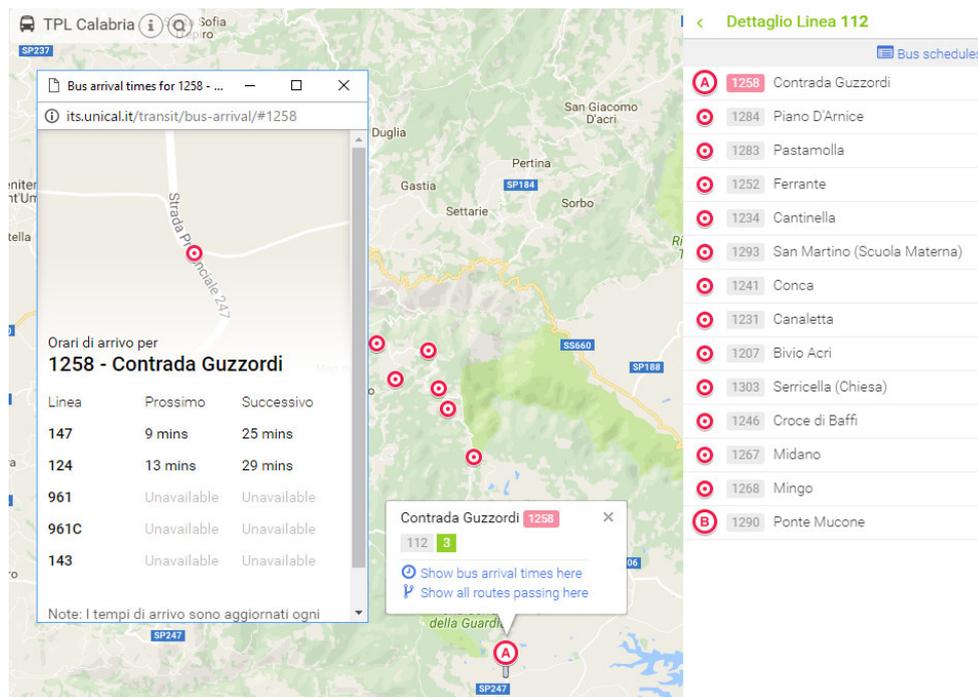


Figura 20 - Servizio di prossimo passaggio alla fermata per un servizio di TPL

4.10.3 Il Transit Simulator

Al momento dell'acquisizione delle informazioni dalla Centrale Operativa REgionale, i servizi di aggiornamento in tempo reale degli orari di passaggio alle fermate non sono ancora disponibili, sono stati dunque simulati i servizi su un modulo dedicato della piattaforma che offre un servizio di interrogazione dei mezzi in circolazione su cartografia digitale.

Questa funzionalità consente la visualizzazione dei percorsi delle linee transitanti nell'area di studio, la sequenza delle fermate della stessa linea, e consente inoltre il tracciamento dei veicoli rispetto alla propria posizione.

Transit Circolare C15 Simulator

Time: 19:41:26 1x

Enter your location

Open Full Screen Window

Vehicle: Circolare Cosenza-Quattromiglia (C15_A42)

STOP Draw route

(Biocontrol))		
3. Viale Borsellino (ALVI)	19:34	19:34
4. Viale Borsellino (C.O.M.)	19:36	19:36
5. Viale Cosmai (Casermette)	19:38	19:38
6. Viale Cosmai (G. di Finanza)	19:40	19:40
7. Viale Cosmai (Farmacia Russo)	19:42	19:42
8. Roges via Crati 1	19:44	19:44
9. Roges via Crati 2	19:46	19:46
10. Roges via Valle del Neto	19:48	19:48
11. Via Kennedev (Scintille)	19:50	19:50
12. Via Kennedev (Emautocozza)	19:52	19:52
13. Commenda (Chiesa S. Antonio)	19:54	19:54
14. Commenda (Poltrone&sofà)	19:56	19:56
15. Commenda (ANAS)	19:58	19:58
16. Commenda (Magnelli Sport)	20:00	20:00
17. C.da Tocci (Scuole)	20:02	20:02
18. Commenda (Q8)	20:04	20:04
19. Via Verdi (Bar Verdi)	20:06	20:06
20. Via Verdi (Mercati Alimentari)	20:08	20:08

Figura 21 - Simulatore della linea Circolare C15 - Cosenza - Quattromiglia (Rende)

Nel momento in cui i dati della piattaforma C.O.RE. saranno disponibili in un formato libero per l'acquisizione, attraverso specifiche API sarà disponibile sul modulo del simulatore l'aggiornamento in tempo reale della posizione dell'intera flotta di veicoli nell'area di studio.

CAPITOLO 5

LA CARATTERIZZAZIONE DELLA DOMANDA

Lo studio dell'evoluzione del sistema territoriale e dei trasporti delle città di Cosenza e di Rende mostra con chiarezza i diversi modelli di assetto evoluti nel tempo. Fino agli inizi del novecento, infatti, i centri abitati erano ubicati sulle sommità delle colline, sia per esigenze di difesa della popolazioni, sia per far fronte alla malaria che all'epoca affliggeva la valle del Crati e le coste.

Il sistema di trasporto pubblico, in particolare le linee ferroviarie, per esigenze tecniche vennero sviluppate lungo la valle del Crati e in prossimità della linea di costa lungo i litorali tirrenico e ionico. Le stazioni delle nuove linee divennero nuclei di sviluppo, verso i quali si avviò gradualmente la migrazione degli abitanti dei centri storici. Si configurò così, in molti casi, un assetto territoriale a dipoli: la maggior parte dei comuni si riorganizzarono infatti su due poli, il vecchio centro storico e il nucleo "nuovo" intorno alle stazioni ferroviarie.

L'avvento della motorizzazione di massa, negli anni 60 e la parallela costruzione degli assi viari regionali (Strade Statali 18, 106, 107 e Autostrada Salerno-Reggio Calabria), ha incrementato la dispersione degli insediamenti. Da uno sviluppo per poli, intorno ai centri storici e alle stazioni ferroviarie, si è passati a uno sviluppo diffuso lungo la viabilità convenzionale, mentre lo sviluppo per poli si è perpetuato intorno agli svincoli dell'Autostrada. Si è così pervenuti a un assetto territoriale fortemente disperso, che presenta costi elevatissimi in termini di spazi, servizi e trasporto.

Le esigenze di una mobilità sostenibile è emersa prepotente negli ultimi due decenni. La sostenibilità dei trasporti costituisce attualmente uno degli obiettivi fondamentali della politica europea di sviluppo e coesione; per sistema di trasporto sostenibile si intende un sistema in grado di rispondere non solo alle esigenze ambientali, ma anche alle esigenze economiche e sociali, di partecipazione e di equità, che la società moderna esprime. Verso una mobilità sostenibile orientano sia la necessità di limitare l'effetto serra, connesso all'utilizzo dei combustibili fossili, sia la prevedibile scarsità di fonti energetiche convenzionali; l'attuale fase di recessione dell'economia mondiale, infine, rende indifferibile il contenimento dei costi di trasporto.

Per tutti questi motivi, occorre orientare le scelte degli utenti del sistema di trasporto verso forme sostenibili, scoraggiando l'utilizzo del mezzo privato e incentivando l'utilizzo del trasporto pubblico, che presenta le caratteristiche ideali per porsi come asse portante per la mobilità urbana nell'area di Cosenza-Rende.

5.1 Analisi dello stato attuale

L'area urbana di Cosenza è molto estesa e comprende, oltre ad una prima fascia di comuni più strettamente integrati, un'ampia zona a sud, l'area dei Casali della Sila e le aree a sinistra e a destra del Crati. L'area ha una popolazione di oltre 200'000 abitanti, ma il nucleo centrale dell'area urbana è costituito dai comuni di Cosenza e Rende, che costituiscono ormai una conurbazione di circa 103'000 abitanti e una densità di 1'118 abitanti/kmq. Il comune di Cosenza ospita il 66% della popolazione residente, mentre il comune di Rende ne ospita il 34% (tabella 1). Tuttavia, la popolazione effettivamente domiciliata nel comune di Rende è maggiore, in quanto comprende un elevato numero di studenti universitari fuori sede, stimati in oltre 10'000 unità (Un sistema di trasporto integrato per l'area urbana di Cosenza-Rende, 2008).

Negli ultimi tre decenni, per la città di Cosenza si è verificata una riduzione del numero di residenti (106'801 abitanti nel 1981, 86'664 nel 1991, 72'176 nel 2001, 67'546 nel 2011, con un decremento di quasi 40'000 abitanti); tuttavia, il comune capoluogo conserva la caratteristica polarizzante dovuta alle attività lavorative, scolastiche e commerciali e se nei comuni limitrofi aumenta la popolazione, nel capoluogo si incrementano i flussi di traffico.

	Popolazione		Superficie [kmq]		Densità [ab/kmq]
	Valore	%	Valore	%	
Cosenza	67546	65.65	37.24	40.47	1813.802
Rende	35338	34.35	54.79	59.53	644.9717
Area urbana	102884	100.00	92.03	100.00	1117.94

Fonte ISTAT - Anno 2016

Tabella 6 - Caratteristiche demografiche della conurbazione Cosenza-Rende

Fino agli inizi del Novecento, la struttura insediativa della conurbazione era costituita dai centri storici di Cosenza e Rende, e da alcuni insediamenti minori. Nel secondo dopoguerra si è avviato il progressivo spopolamento dei centri storici, in particolare di Cosenza, e l'espansione edilizia lungo la valle del Crati, che ha costituito, per la sua morfologia pianeggiante, la naturale collocazione dei nuovi insediamenti.

La tendenza dell'abbandono dei centri storici si è tuttavia in seguito invertita; dapprima a Rende, e poi a Cosenza, sono state avviate intelligenti azioni di recupero, che hanno restituito ai centri antichi l'originaria vitalità.

L'economia della conurbazione è caratterizzata dalla prevalenza delle attività di servizio. A Cosenza sono concentrati gli uffici amministrativi provinciali e le principali strutture sanitarie; a Rende è localizzata l'Università della Calabria. Le strutture commerciali sono variamente distribuite tra Rende e Cosenza. È in atto la tendenza alla realizzazione di centri commerciali di notevoli

dimensioni, un insediamento sorge in posizione centrale nel comune di Rende, due in aree periferiche a Nord e a Sud della conurbazione, uno di recente costruzione nei pressi dello svincolo autostradale di Cosenza Nord, nei pressi del polo universitario. A Rende, a Est dell'area universitaria, è ubicata una estesa zona industriale; gli insediamenti di tipo commerciale prevalgono tuttavia sulle attività di produzione.

La necessità di una maggiore integrazione tra le realtà urbane di Cosenza e Rende ha indotto le due amministrazioni comunali a realizzare un importante asse viario, il viale Parco, che da Piazza Matteotti, alle pendici del centro storico di Cosenza, giunge fino all'Università. Il primo tronco, nel comune di Cosenza, ha ricevuto la denominazione di Viale Giacomo Mancini. Il secondo, nel comune di Rende, è stato di recente completato e ha ricevuto la denominazione di Viale Francesco e Carolina Principe.

Cosenza costituisce inoltre un importante nodo ferroviario; da essa si dipartono le linee delle Ferrovie dello Stato per Paola e Sibari, che connettono l'area urbana rispettivamente alle litoranee tirrenica e ionica. Alla città si attestano inoltre le linee a scartamento ridotto delle Ferrovie della Calabria che connettono Cosenza con la Sila e Catanzaro. Lo spostamento, negli anni novanta, della stazione delle Ferrovie dello Stato dal centro storico alla periferia (Piazza Matteotti – Vaglio Lise) ha comportato una drastica riduzione del traffico dei viaggiatori.

La principale emergenza e nodo di traffico dell'area è l'Università della Calabria, che ha iniziato la sua attività agli inizi degli anni settanta, ha avuto sin dalla sua costituzione carattere residenziale. Il polo universitario, dapprima articolato in sei Facoltà, è stato recentemente riorganizzato in 23 dipartimenti, e conta una popolazione di circa 35'000 studenti e 2'000 docenti e unità di personale dirigente, amministrativo e tecnico.

L'Università è ubicata su un'area collinare, nel comune di Rende, estesa circa 200 ettari. L'elemento caratterizzante dell'Università, dal punto di vista architettonico, è costituito dall'Asse Ponte, un viadotto lungo circa 2 chilometri, ai cui lati sono ubicati gli edifici dipartimentali e per la didattica; in posizione decentrata rispetto all'Asse Ponte sono ubicate le residenze e varie strutture di servizio.

Attualmente l'Università è collegata con Rende e con la città di Cosenza da un servizio di autobus, attestato all'estremità Sud dell'Asse Ponte, che negli ultimi anni è stato potenziato e raggiunge anche l'estremità a Nord.

La realizzazione dell'Università ha avviato un forte processo di espansione edilizia del comune di Rende, che nel 1971 contava solo 13'000 abitanti. In particolare, nelle aree limitrofe all'Università, sono sorti quartieri residenziali e servizi, in prevalenza commerciali e alberghieri; tale crescita è diventata più consistente negli anni novanta, dopo l'approvazione da parte del comune di Rende

del Piano particolareggiato dell'Università della Calabria, che pianifica l'area propriamente universitaria. Il primitivo paesaggio rurale si è così trasformato in un paesaggio urbano, generando in alcuni casi diverse criticità.

Una interpretazione dell'assetto del sistema trasporti-territorio dell'area urbana è delineato nella figura 1. Nella tavola vengono riportati gli spostamenti del sistema insediativo nell'area della conurbazione di Cosenza e Rende classificati per motivo (Casa-Scuola e Casa-Lavoro), in particolare vengono evidenziate le linee di desiderio per l'area di interesse (Matrice del pendolarismo ISTAT, 2011).

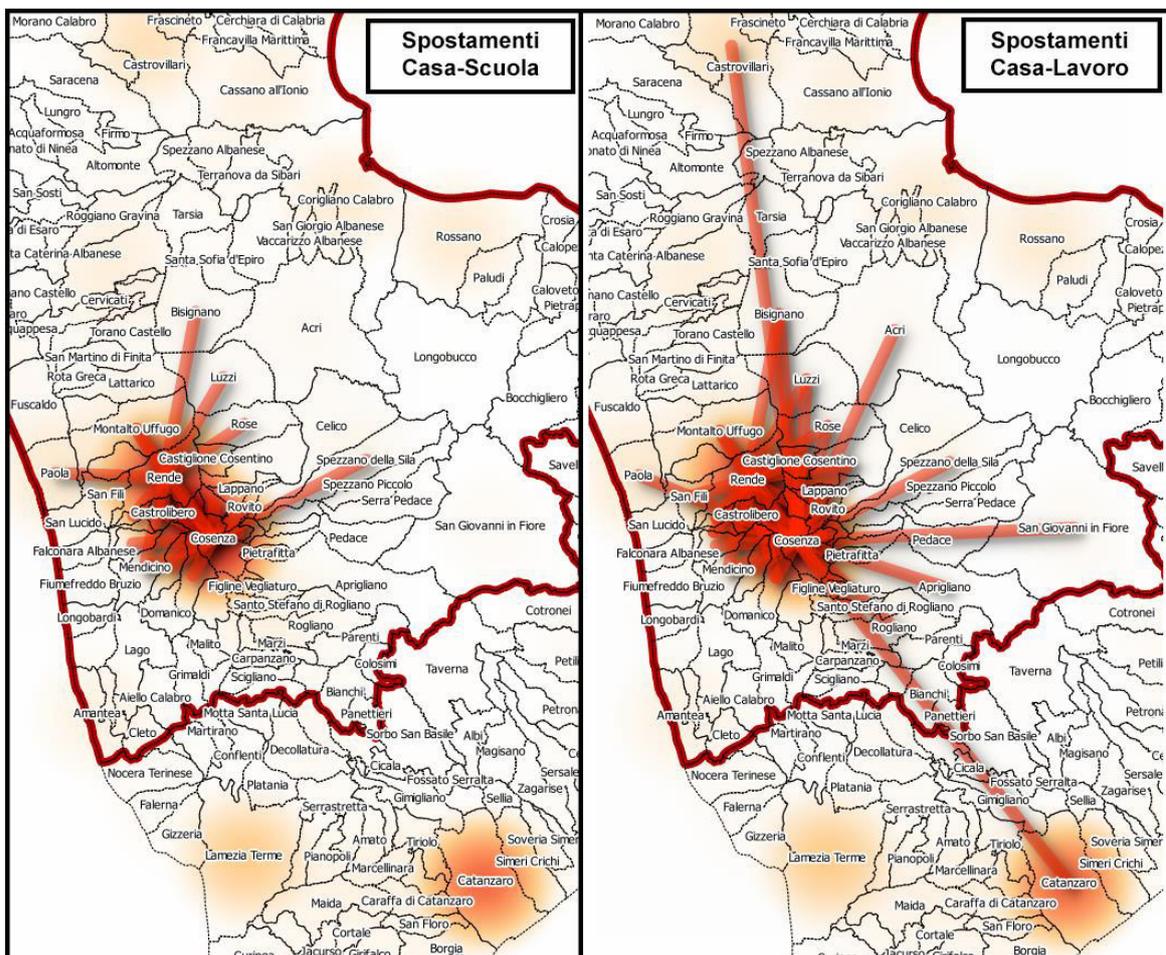


Figura 22 - Spostamenti Casa-Scuola e Casa-Lavoro dell'area Cosenza-Rende

L'area urbana cosentina estende la sua influenza, con diversi gradi di intensità, sull'intero territorio provinciale, con valori di oltre 200 spostamenti giornalieri per il motivo Casa-Lavoro che interessano poli esterni all'area, dovuti ai sistemi territoriali di notevole valenza (Castrovillari e Corigliano-Rossano nell'area provinciale di Cosenza, Catanzaro all'esterno).

5.2 Il sistema di trasporto attuale

5.2.1 La rete stradale

La rete stradale dell'area urbana ha il suo asse portante nell'Autostrada A3 Salerno-Reggio Calabria, che si svolge lungo l'asse nord-sud lungo la valle del Crati. L'Autostrada si connette con l'area urbana mediante gli svincoli di Cosenza Nord-Rende, ubicato nelle immediate prossimità dell'area universitaria, e di Cosenza Sud, ubicato in posizione mediana rispetto al nucleo urbano centrale di Cosenza.

In senso ovest-est si svolge la S.S. 107 Paola-Cosenza-Crotone, che connette la S.S. 18, lungo il litorale tirrenico, con la S.S. 106 lungo il litorale ionico. Questa strada, all'interno della conurbazione, si è trasformata in gran parte in attraversamento urbano.

La rete viaria interna ai comuni di Cosenza e Rende è costituita da assi viari orientati in prevalenza in direzione nord-sud; alquanto carenti sono gli attraversamenti trasversali, che sono tuttavia in corso di potenziamento. La realizzazione del Viale Parco, che percorre in senso nord-sud l'intera conurbazione, ha in parte contribuito a decongestionare la viabilità urbana, tuttavia i livelli di traffico sono ingenti a causa del numero elevato di autovetture individuali.

5.2.2 Il trasporto pubblico locale

Attualmente il sistema di trasporto pubblico locale che interessa l'area urbana di Cosenza e Rende, sia nei collegamenti interni, sia nei collegamenti con l'esterno, è costituito essenzialmente da servizi su gomma. Il trasporto su ferro svolge un ruolo di un certo rilievo solo per i collegamenti con il litorale tirrenico.

Il trasporto su gomma presenta un'offerta elevata in termini di veicoli*chilometri; nella provincia di Cosenza vengono prodotti circa 24 milioni di bus*km/anno.

All'interno della conurbazione Cosenza-Rende i servizi urbani vengono svolti dall'AMACO (Azienda del comune di Cosenza) e dal Consorzio Autolinee, che gestisce i collegamenti con l'Università.

I trasporti extraurbani sono eserciti da 25 aziende concessionarie organizzate in 6 consorzi. Il numero di autobus extraurbani che percorrono la conurbazione è molto elevato; l'autostazione di Cosenza, ubicata in pieno centro urbano, è raggiunta quotidianamente da oltre 800 autobus extraurbani (per verso). I servizi offerti sono tuttavia scarsamente coordinati. Non esistono, in particolare, forme di integrazione tra servizi su gomma e su ferro, e tra servizi su gomma urbani ed

extraurbani; non esiste inoltre un sistema di informazione all'utenza adeguato alle esigenze di mobilità e ai servizi di trasporto eserciti nell'area di interesse.

5.2.3 La mobilità

L'ultima analisi della mobilità in atto nella conurbazione in analisi è stata compiuta sulla base dei dati del Piano urbano di traffico della Città di Cosenza, redatto nel 2002 (AA.VV., 2002).

Il piano effettuò accurate indagini sulla mobilità interna e di scambio della città, mediante un'indagine domiciliare ed indagini al cordone; tuttavia, a causa del tempo intercorso tra la data del documento di Piano e la data attuale allo studio, si è ritenuto opportuno aggiornare i dati di mobilità con le informazioni più aggiornate relative alla matrice del pendolarismo ISTAT (2015) e ai dati delle aziende di trasporto pubblico locale (2015) operanti nell'area.

La realtà metropolitana di Cosenza – Rende rappresenta l'unica grande conurbazione tra Campania (Napoli) e Sicilia (Catania e Palermo) con un peso medio, costante, insediativo del 36%, pari a più di un terzo della popolazione dell'intera Regione. Attrattivamente, data la sua posizione, l'area è caratterizzata da un'eccentricità provinciale che tende a spostare i flussi della conurbazione verso nord, a causa delle condizioni geomorfologiche del territorio e da una centralità regionale che tende a stabilizzare la conurbazione come baricentro regionale, nonostante gli ostacoli naturali.

In merito all'attuale assetto dei servizi di TPL nell'area Cosenza-Rende, i servizi programmati nell'anno 2015 contano 3'522'214 km/anno, in particolare AMACO svolge il 57,11% dei servizi (2'011'694 km/anno) e Consorzio Autolinee il 42,89% (1'510'520 km/anno, quasi esclusivamente sulla relazione Cosenza-Università).

Nel solo bacino di Cosenza esistono 202 linee di trasporto pubblico locale che generano 899 corse giornaliere sulla relazione Rende-Cosenza, ovvero 8'095 bus*km/giorno. La proiezione su base annuale, considerando il solo periodo scolastico, è di circa 3,8 milioni di chilometri erogati complessivamente da tutte le aziende concessionarie operanti nell'area (AMACO e Consorzio Autolinee). Escludendo dall'analisi le due Aziende appena citate, esistono 183 linee attive sulla relazione Rende-Cosenza, che generano 513 corse giornaliere, ovvero 3'591 bus*km/giorno nel solo segmento che percorre la conurbazione tra Cosenza e Rende.

L'analisi della mobilità nell'area di studio è stata condotta, a valle delle considerazioni appena illustrate, sulla base dei dati ISTAT e dei Sistemi Locali del Lavoro (SLL) introdotti dallo stesso Istituto di Ricerca.



Figura 23 - Sistemi Locali del Lavoro in Calabria (ISTAT, 2015)

I Sistemi locali del lavoro (SLL), nell'accezione proposta dall'Istat fin dal 1981, rappresentano dei luoghi (precisamente identificati e simultaneamente delimitati su tutto il territorio nazionale) dove la popolazione risiede e lavora e dove quindi indirettamente tende ad esercitare la maggior parte delle proprie relazioni sociali ed economiche. Da un punto di vista tecnico e metodologico i SLL sono costruiti come aggregazione di due o più comuni cercando di massimizzare il livello d'interazione tra comuni appartenenti allo stesso SLL, espressa dai flussi di pendolarismo giornaliero f_{hk} tra luogo di residenza (località h) e luogo di lavoro (località k).

La necessità di individuare aree territoriali che esulino dalle tradizionali suddivisioni amministrative del territorio è legata all'obiettivo di identificare ed analizzare caratteristiche economiche e sociali di aree specifiche che dipendono dai processi di auto organizzazione della popolazione attiva, misurati mediante i movimenti giornalieri che i singoli individui operano per conciliare l'attività lavorativa con quella sociale.

I principi comuni adottati per la costruzione dei SLL sono:

1. Scopo: ciascuna zona rappresenta un mercato del lavoro.
2. Rilevanza: le zone permettono di diffondere informazione statistica affidabile e confrontabile.
3. Completezza: le zone sono una partizione dell'intero territorio dello stato.

4. Unitarietà: ciascun comune può appartenere a una sola zona.
5. Contiguità: ciascuna zona è costituita da un insieme di comuni contigui.
6. Coerenza: ciascuna zona è costituita da un insieme di comuni non frazionati.
7. Conformità: le zone possono non rispettare i confini amministrativi.
8. Omogeneità: le zone non sono troppo estese territorialmente o troppo numerose in termini di occupati.

L'importanza dei SLL è legata alla possibilità di creare una geografia confrontabile e coerente dell'intero territorio italiano che possa essere d'aiuto all'analisi d'importanti fenomeni socio-economici quali quelli del mercato del lavoro. I SLL individuati in Calabria sono 44.

5.3 Inquadramento e zonizzazione dell'area

Il sistema di trasporto in analisi è interamente localizzato all'interno dei limiti comunali di Cosenza e Rende, e collega le aree di Cosenza sud e Cosenza Nord per la città di Cosenza, Roges, Quattromiglia e Università della Calabria per la città di Rende (Figura xx).

Lo studio ha riguardato analisi, confronto e applicazione ad un caso reale di un modello logit, al fine di ottenere dati consistenti per l'applicazione del modello. Uno dei motivi della scelta dell'area di studio riguarda l'utilizzo di una situazione attuale effettivamente soggetta a problematiche che consentano di garantire realismo, quali la presenza di elevati livelli di congestione stradale, associati all'assenza di un sistema efficiente di informazioni all'utenza per i servizi di trasporto pubblico locale.

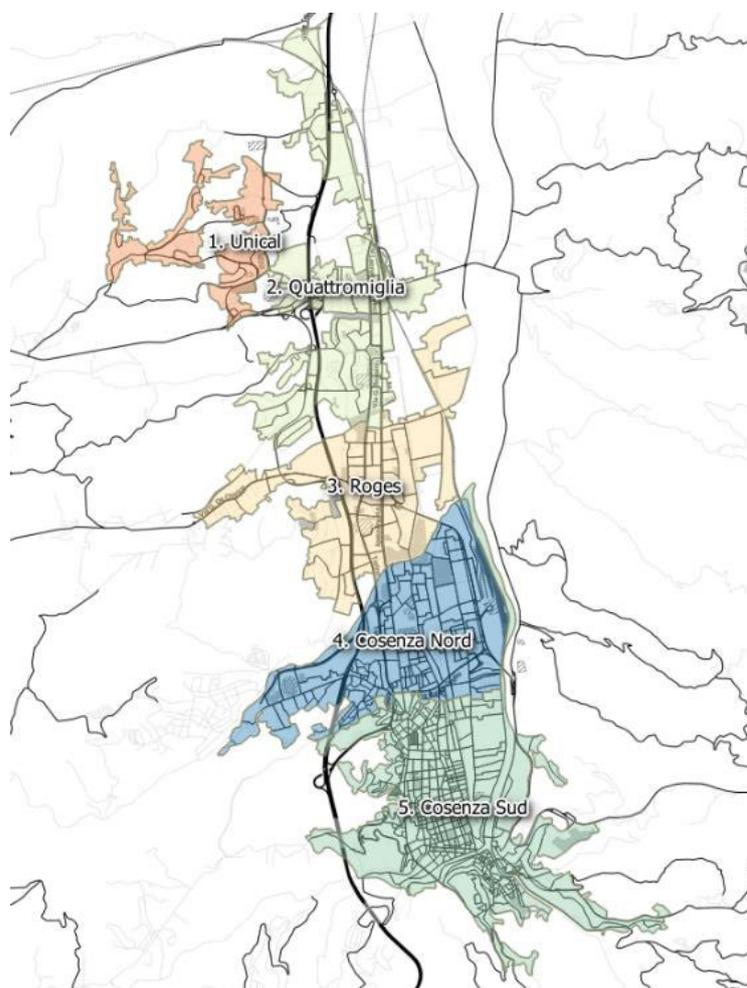


Figura 24 - Area di studio

Sono state identificate le linee di trasporto pubblico locale che collegano la città di Cosenza con il polo universitario dell'Università della Calabria e l'area residenziale della città di Rende, gestite da aziende di trasporto pubblico locale con evidenti carenze nella qualità e disponibilità delle informazioni all'utenza.

L'attuale sistema di informazioni all'utenza è infatti basato su orari cartacei e poco aggiornati, con il risultato che gli utenti del sistema di trasporto pubblico nell'area ricorrono spesso al passaparola per rimanere aggiornati, chiedendo agli operatori stessi il percorso eseguito dal vettore al momento del passaggio alla fermata.

5.4 Definizione del modello

Secondo quanto scritto nelle sezioni precedenti in merito al sotto-modello 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.

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 modo collettivo, le alternative di scelta possibili sono solamente due: l'automobile e il bus. Il Logit Binomiale è quindi il modello che più si adatta alla questione riportata.

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. La calibrazione 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, ponendo particolare attenzione all'impatto di un sistema avanzato di informazione all'utenza.

5.5 Progettazione dell'indagine

Come presentato nei capitoli precedenti, la sezione di preferenze dichiarate (Stated Preferences, SP) verrà utilizzata per la calibrazione di un modello Logit Binomiale. Risulta quindi essere inevitabile il fatto che la modalità in cui verrà mostrata la preferenza dell'utente tra automobile e bus sarà del tipo "scelta".

Caratteristica particolare dell'indagine SP che si andrà a costruire è che solo gli attributi dell'alternativa bus variano, mentre gli attributi dell'automobile restano immutati. Questo perché l'obiettivo è l'analisi delle possibili variazioni da apportare al servizio bus. Tuttavia, a causa delle semplificazioni sui costi e sulla elevata disponibilità del mezzo proprio nell'area di studio, è stato introdotto un attributo "costo del parcheggio" che tiene conto di un'eventuale spesa aggiuntiva giornaliera correlata alla scelta dell'automobile.

Inoltre si è stabilito che questa sperimentazione riguarderà gli spostamenti casa-lavoro e casa-scuola, riferiti alla "giornata tipo" per avere una base dati allineata alle informazioni statistiche rilevate da ISTAT e relative all'analisi della domanda nell'area di studio.

È stato scelto questo specifico spostamento in quanto prevalente da parte dell'utenza durante l'anno. Per di più l'utilizzo del sistema di trasporto collettivo si presta maggiormente alla sostituzione del mezzo motorizzato individuale per gli spostamenti, in quanto caratterizzato da un orario fisso, e a volte cadenzato, calibrato dagli operatori sulla base degli orari di lavoro e delle attività didattiche del polo universitario nell'area di Cosenza, che può essere utile per la pianificazione dello spostamento.

Un'altra caratteristica per la quale il modo collettivo 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 svantaggiosa rispetto al trasporto pubblico.

5.5.1 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 BIOGEME e 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 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 di scenari, n il numero degli attributi e m_n è il numero di livelli dell'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 fermata 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 minuti, oppure ogni 30 minuti.

Come già spiegato nel precedente capitolo, la problematica riguardante il possibile numero elevato di scenari si può superare grazie specifiche tecniche mutate per analogia dall'analisi statistica multivariata e in particolare alle tecniche di progetto delle indagini (*experimental design*) per l'analisi degli effetti diretti e indiretti di diverse variabili tramite modelli lineari.

In generale, la riduzione del numero di scenari da sottoporre all'intervistato può avvenire per effetto di un 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.

5.5.2 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 (o polo universitario). Ci si è concentrati su questo aspetto in accordo con le finalità della ricerca, dettata anche dalla possibilità di raggiungere facilmente un consistente campione di utenti di tipo dipendente e di tipo studente per l'Università della Calabria.

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 al trasporto pubblico, invece, l'utente deve raggiungere la fermata di partenza/passaggio del mezzo relativo al servizio che si trova a una certa distanza dalla propria abitazione. Deve quindi attendere un certo tempo che passi l'autobus a cui è interessato e che è caratterizzato da una certa frequenza. Salito sul mezzo, l'utente cercherà di passare nel miglior comfort possibile il tempo a bordo necessario per effettuare lo spostamento. Una volta arrivato alla fermata 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 sette, entro i limiti che vengono consigliati in letteratura [28]. Si riportano nello specifico alcuni 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.

Il concetto di livello di servizio (LoS, Level of Service) come misura della qualità del servizio di trasporto collettivo per come percepita dagli utilizzatori del servizio stesso, è stato introdotto nel Transit Capacity and Quality of Service Manual [29]. I livelli di servizio sono misurati su una scala che va da dal livello "A" (alta qualità) al livello "F" (bassa qualità). Nel manuale non sono definiti valori standard dei livelli, la cui scelta deve ricadere sulle aziende di trasporto pubblico.

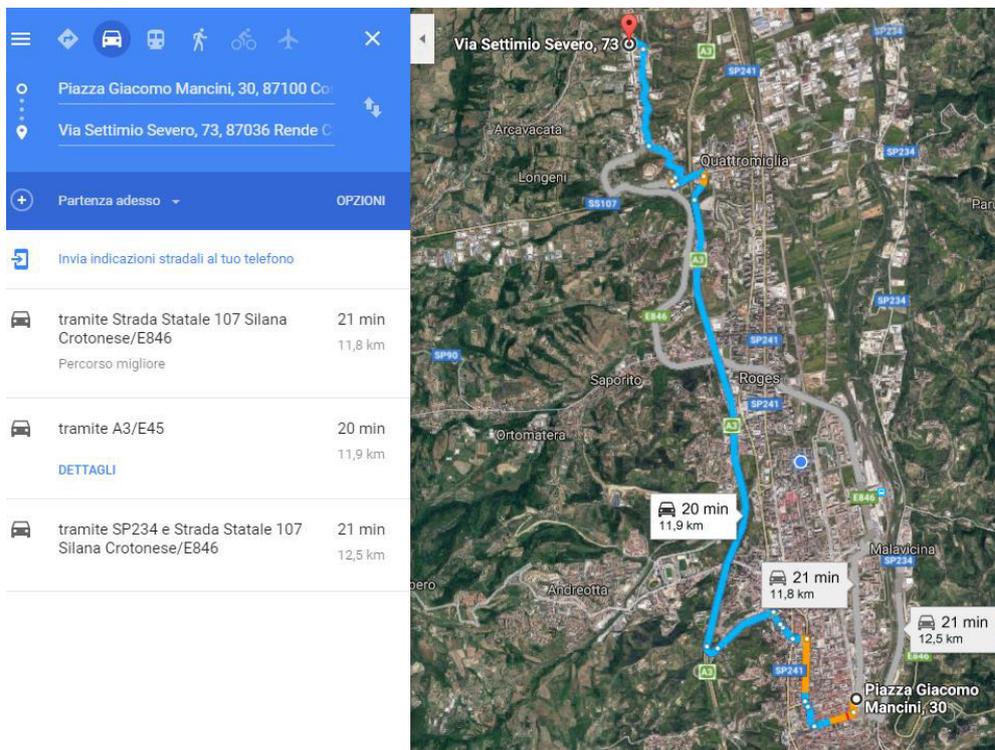
5.5.3 Costo

L'attributo costo riguarda sia l'automobile sia il servizio di trasporto pubblico su gomma. 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 12 Km per descrivere questo spostamento, rappresentativo di un possibile spostamento sistematico tipico casa-lavoro effettuabile con un sistema di trasporto collettivo su gomma dal centro della città di Cosenza all'Università della Calabria sita in Arcavacata di Rende.

In questo modo, mediante un comune strumento di route-planning (nello specifico quello fornito da google maps) 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.

Il calcolo del costo è stato effettuato in base della distanza prevista e sul prezzo del carburante stimato su base statistica.



Secondo le statistiche (Anno 2016) da fonte ACI (Automobile Club Italiano), la vettura più utilizzata in Calabria ha una cilindrata compresa tra 1201 e 1600 cc ed è alimentata a benzina. Per il calcolo del costo del viaggio è stata utilizzata questa tipologia di autovettura.

CALABRIA	Fino a 800	801 - 1200	1201 - 1600	1601-2000	2001-2500	Oltre 2500	Non identif.
ALTRE	3	5					
BENZINA	62'539	289'812	210'624	28'331	1'583	3'642	48
BENZINA E GAS LIQUIDO	1'160	6'580	20'968	6'145	280	448	5
BENZINA E METANO	13	1'583	3'004	195	26	15	
ELETTRICITA		1	1	1			42
GASOLIO	2'489	2'540	266'865	247'522	50'063	15'659	4
IBRIDO BENZINA	1		339	257	10	17	
IBRIDO GASOLIO				38	5		
NON DEFINITO	4	13	5	7			21

Figura 25 - Autovetture per cilindrata e alimentazione per la regione Calabria, ACI 2016

Il prezzo del carburante (benzina) è stato calcolato sulla base dei dati provenienti dall'osservatorio sui prezzi del Ministero dello Sviluppo Economico, pari a 1,477 € al 30/05/2016.

STRUTTURA DEL PREZZO MEDIO NAZIONALE DEI PRODOTTI PETROLIFERI						
30/05/2016						
Prezzi in €/lt.						
PRODOTTO	PREZZO AL CONSUMO	ACCISA	I.V.A. 22%	TOTALE IMPOSTE	PREZZO AL NETTO IMPOSTE	VARIAZIONE (**)
Benzina s. piombo	1,477	0,728	0,266	0,995	0,482	0,014
Gasolio auto	1,310	0,617	0,236	0,854	0,456	0,021
GPL auto	0,554	0,147	0,100	0,247	0,307	0,001
Gasolio da Riscaldamento	1,131	0,403	0,204	0,607	0,524	0,006

(*) - Prezzo medio convenzionale elaborato secondo la procedura definita con decisione 1999/280/CEE. L'elaborazione viene effettuata ogni martedì, a cura della Direzione Generale Sicurezza Approvvigionamento e Infrastrutture Energetiche, sulla base dei prezzi rilevati il lunedì precedente. Fonte: <http://dgerm.sviluppoeconomico.gov.it/dgerm/>
(**) - Variazione prezzo al consumo rispetto all'ultima settimana.

Figura 26 - Dettaglio prezzi carburante al 30/05/2016, Ministero dello Sviluppo Economico

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, 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 di Trasporto Pubblico Locale su gomma, invece, si è fatto ricorso al costo dei titoli di viaggio delle aziende operanti sul territorio, facendo riferimento al costo medio per tratta del titolo di viaggio [30].

5.5.4 La frequenza

Questo attributo riguarda solamente l'alternativa bus, in quanto l'automobile privata è subito disponibile all'utilizzo. Questo attributo potrebbe avere il compito di descrivere l'attesa dell'autobus alla fermata 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.

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 dell'autobus che interessa, quale autobus verrà preso per il ritorno, invece, dipenderà dall'orario di conclusione della giornata scolastica o lavorativa. In altre parole, il tempo di attesa alla fermata 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 fermata di destinazione per percorrere lo spostamento inverso dipenderà dalla differenza di orario tra quello di partenza dell'autobus e di arrivo alla fermata 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, con la metodologia tradizionale, l'orario degli autobus veniva costruito individuando i maggiori centri attrattori di utenza sistematica (aziende, 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.

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

Per quanto riguarda i livelli da utilizzare, sono stati considerati 30 minuti e 15 minuti, che rappresentano i tempi medi delle linee principali degli operatori operanti nell'area di studio, che corrisponde a quanto suggerito dalla letteratura per città di piccole dimensioni [31].

5.5.5 Tempo di viaggio

È il tempo che l'utente spende a bordo del mezzo, sia se si tratta di trasporto pubblico sia di privato. Per il tempo di viaggio relativo all'automobile, si suppone che l'utente non spenda altro tempo alla ricerca di un parcheggio perché disponibile (gratuito o a pagamento). Per quanto riguarda il mezzo pubblico, al tempo speso a bordo, si deve considerare un tempo aggiuntivo dato dal tempo per raggiungere la fermata e dal tempo di attesa alla fermata stessa. Questi due tempi sono stati trattati come attributi diversi che verranno trattati nel seguito.

Il tempo di viaggio a bordo del mezzo privato è stato mantenuto costante e pari 20 minuti, considerando che il trip-planner di Google Maps propone almeno 3 alternative di percorso per

raggiungere l'origine e la destinazione ipotizzata per l'area di studio con un tempo di percorrenza mediamente pari a 20 minuti.

Per il tempo di viaggio a bordo del mezzo di trasporto pubblico, considerando un tempo previsto pari a 30 minuti da quadro orario, si prevedono due livelli di variazione: 25 minuti e 35 minuti, che tengono conto dei livelli medi di congestione del traffico nell'area di studio, considerato che il mezzo viaggia su sede stradale non riservata per oltre il 50% del percorso, considerando una velocità media di 21,50 Km/h fornita dalle aziende locali.

5.5.6 Walking time

L'attributo *walking time* (tempo per raggiungere la fermata da casa) è un attributo che interessa solamente il modo autobus, 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-fermata.

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

Per il calcolo di questo attributo, si fa riferimento alla distanza massima che un utente è disposto a percorrere per gli spostamenti urbani[32], utilizzando la velocità media di un uomo che cammina. Il valore di velocità media che è stato assunto è pari a 4,5 Km/h che appartiene al range di velocità comunemente utilizzato ed indicato in letteratura.

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

400 metri	< 5 minuti
800 metri	> 10 minuti

Per l'attributo *walking time* sono stati predisposti 2 livelli: *fino a 5 min, oltre 5 min*.

5.5.7 Il comfort

Molto importante per gli utenti del trasporto collettivo è il comfort del viaggio, che rappresenta uno degli aspetti del servizio maggiormente dipendente dalle caratteristiche degli utenti. Un viaggio confortevole è caratterizzato da diversi fattori: presenza di posti puliti e confortevoli, presenza di

climatizzazione a bordo, basso grado di affollamento a bordo, bassi livelli di rumore e vibrazioni, assenza di cattivi odori.

Questo tipo di attributo potrebbe ricadere nella definizione di attributo soggettivo[28], 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 del mezzo. Sono stati presi quindi i due estremi: mezzo vuoto o quasi vuoto e mezzo totalmente pieno di utenti. In questo caso è stato possibile tradurre in termini quantitativi questo tipo di attributo: nel caso di presenza di posti a sedere e nel caso di affollamento del mezzo.

5.5.8 Tempo di attesa alla fermata

Questo attributo si riferisce esclusivamente al mezzo pubblico e rappresenta il tempo che l'utente è disposto a spendere nell'attesa che il mezzo raggiunga la fermata di riferimento.

Per questo attributo, per motivi di semplificazione, sono stati impostati due livelli di variazione, *"meno di 5 min"* e *"più di 5 min"*, considerando che generalmente l'utente che raggiunge una fermata conosce il servizio e l'orario di passaggio programmato del mezzo. La scelta dei due livelli di variazione è stata ponderata sulla base dell'attributo frequenza precedentemente discusso, per il quale si considerano i valori di *"15 min"* e di *"30 min"*.

5.5.9 Informazioni disponibili

Un altro aspetto che influenza la qualità di un servizio di trasporto collettivo è legato all'informazione all'utenza. Nell'utilizzare un servizio di trasporto collettivo, i passeggeri devono conoscere i luoghi di accesso/egresso al servizio, gli orari di partenza e arrivo delle corse, gli eventuali trasbordi, etc. Se queste informazioni non sono disponibili i passeggeri potenziali non saranno in grado di utilizzare il servizio [32]. L'informazione all'utenza può essere offerta secondo diverse modalità e può essere disponibile prima che il passeggero inizi il suo viaggio, oppure anche durante il viaggio (a bordo e alla fermata) [30].

Questo attributo assume importanza fondamentale per lo studio, in quanto tramite l'informazione l'utente può modificare il suo comportamento in funzione di aggiornamenti forniti in tempo reale, in gradi di anticipare un eventuale disservizio. In particolare, nell'area di studio, le informazioni disponibili sono di tipo statico e generalmente poco aggiornate; la reperibilità delle informazioni risulta piuttosto complessa per gli utenti a causa dell'assenza di informazioni on-line.

Per questo attributo sono state formulate due livelli di variazione: orario statico e in formato cartaceo e applicazione per smartphone interattiva e basata sulla posizione reale dell'utente tramite sistema GPS (Global Positioning System).

5.6 Piano fattoriale

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

Attributo	ID	AUTO	BUS	LIVELLI BUS	
		Attuale	Attuale		
Tempo di viaggio	TT	18	30	25 min	35 min
Costo	TC	1,53 €	1.6	1.30 €	1.90 €
Walking time	WkT			meno di 5 min	più di 5 min
Informazione	INFO		Poor static	real-time GPS	En-route
Waiting Time	WtT			meno di 5 min	più di 5 min
Frequenza	F		30 min	15 min	30 min
Comfort	COMF		Medium	alto	basso

Tabella 7 - Livelli di variazione degli attributi

Dalla tabella si evince che il numero di attributi, per l'alternativa "trasporto pubblico", si hanno 7 attributi con 2 livelli di variazione. Le caratteristiche dell'alternativa "trasporto privato" non varieranno, come già affermato in precedenza. Il numero di scenari possibili sarà dunque pari a:

$$N = \prod_{i=1}^k m_i^{n_i} = 2^7 = 128 = N_{\text{Piano Fattoriale Completo}}$$

Si avrà a che fare con un piano fattoriale completo di 128 scenari, un numero troppo elevato affinché un solo intervistato possa scegliere senza che subentrino episodi di stanchezza e noia.

Il piano fattoriale completo è quello costituito da tutte le possibili situazioni di scelta e da tutti gli effetti possibili (effetti principali e di interazione). Tuttavia, per uno studio pratico il numero di situazioni di scelta in un disegno fattoriale completo è troppo grande. Di conseguenza, generalmente si fa affidamento ai cosiddetti piani fattoriali frazionati, ne esistono differenti tipologie ma il più noto è il disegno ortogonale [35] che mira a ridurre al minimo la correlazione tra i livelli degli attributi nelle situazioni di scelta. Più recentemente, alcuni ricercatori hanno suggerito un altro tipo di disegni fattoriali frazionati, i cosiddetti modelli efficienti [34]. Invece di limitarsi a

guardare la correlazione tra i livelli degli attributi, il loro obiettivo è quello di trovare i disegni che sono statisticamente più efficienti possibili in termini di minimizzazione degli errori standard dei parametri stimati. In sostanza, questi disegni cercano di massimizzare le informazioni da ogni situazione di scelta. Tuttavia, i disegni ortogonali offrono dei vantaggi nel caso di customised design e per controllare ed eliminare i casi di alternative dominate/dominanti.

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 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.

TT	P	F
+	+	+
=	+	=
-	+	-
+	-	-
=	-	=
-	-	+

Tabella 8 - Piano fattoriale fratto

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 bus, in quanto, come più volte ripetuto, gli attributi dell'alternativa automobile sono caratterizzati solamente da un unico livello (a meno del costo del parcheggio). Questa pratica 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 di scenari (128), si decide di utilizzare parzializzazione e la suddivisione in blocchi, in modo da ottenere 4 blocchi, ognuno con 4 scenari. 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 9).

				4 FRACTIONAL FACTORIAL DESIGN						
StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	TT	TC	WkT	INFO	WtT	F	COMF
8	1	1	2	-1	-1	1	1	1	-1	-1
6	2	1	2	-1	-1	1	-1	1	1	1
7	3	1	2	1	1	-1	1	-1	-1	-1
5	4	1	2	1	1	-1	-1	-1	1	1
2	5	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1
4	6	1	1	-1	1	1	1	-1	1	-1
3	7	1	1	1	-1	-1	1	1	1	-1
1	8	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1
16	9	1	4	1	1	1	1	1	1	1
13	10	1	4	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
15	11	1	4	-1	-1	-1	1	-1	1	1
14	12	1	4	1	1	1	-1	1	-1	-1
12	13	1	3	1	-1	1	1	-1	-1	1
11	14	1	3	-1	1	-1	1	1	-1	1
9	15	1	3	-1	1	-1	-1	1	1	-1
10	16	1	3	1	-1	1	-1	-1	1	-1

Tabella 9 - Costruzione di quattro blocchi a quattro scenari

Il passo successivo consiste nel dare un valore ad ogni livello in modo da costruire gli schemi per il calcolo delle interazioni tra i vari livelli.

In merito alla suddivisione in blocchi e alla parzializzazione, attraverso un software di Design Of Experiment (DOE) sono state calcolate le interazioni tra i livelli disposti, identificando 4 scenari per ogni blocco.

5.7 Il questionario

La formulazione definitiva delle domande è stata preceduta da un'indagine pilota a cui sono stati sottoposti alcuni utenti, sia esperti del settore, sia comuni passeggeri, al fine di verificarne la chiarezza ed intellegibilità. Dalle indicazioni raccolte in fase di acquisizione delle risposte

dall'indagine pilota sono state formulate le domande in versione definitiva, tenendo conto anche delle osservazioni degli intervistati.

Al momento dell'attività di brainstorming che ha preceduto la compilazione del questionario, si è deciso di dividerlo idealmente in cinque sezioni, ognuna relativa all'acquisizione di specifiche informazioni per un totale di 51 domande.

Una particolare attenzione è stata rivolta all'ordine e alla successione delle domande all'interno delle varie sezioni; anteporre una domanda a un'altra, infatti, potrebbe in alcuni casi influenzare le risposte successive.

- **Sezione A: Informazioni di carattere generale**

In questa sezione si chiede all'utente di indicare la classe di età, il sesso, e altre informazioni di carattere socio-demografico utili alla classificazione di tutti gli intervistati. Si chiede inoltre il possesso della patente di guida e la disponibilità di un mezzo privato, utili ai fini di indirizzare l'utente verso sezioni specifiche dell'indagine.

- **Sezione B: Spostamenti sistematici**

Questa sezione è fondamentale per lo studio in quanto consente l'acquisizione delle informazioni sugli spostamenti effettuati dall'utente (*Stated Preferences section*).

- **Sezione C: Informazioni all'utenza**

In questa sezione si chiede una valutazione personale sull'utilità che diverse informazioni, grazie a un'applicazione dedicata, potrebbero essere disponibili durante lo spostamento. Questa sezione è fondamentale per la predisposizione di un'applicazione dedicata che consentirebbe, come sviluppo futuro, l'acquisizione di dati reali sulla scelta del modo di trasporto in relazione alle informazioni disponibili relative al servizio di trasporto collettivo.

- **Sezione D: Scelta delle alternative di trasporto**

In questa sezione venono proposti gli scenari per la valutazione degli attributi relativi alle preferenze dichiarate (SP).

- **Disponibilità all'utilizzo di un'applicazione dedicata, questa sezione misura la propensione all'utilizzo di un'applicazione per smartphone dedicata.**

Dopo la definizione delle sezioni, è stato necessario definire le parti informative per distribuzione dell'indagine, ponendo particolare attenzione all'importanza del contributo di ogni utente nella raccolta delle informazioni. Successivamente è stato necessario implementare il questionario

secondo una struttura web-based in modo da avviare la campagna di raccolta dati parallelamente alla distribuzione dei questionari in formato cartaceo.

5.7.1 Implementazione web-based dell'indagine

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 (versione aggiornata del più noto PHPSurveyor) è un'applicazione web-based implementata in PHP e basata su un DataBase Management System (DBMS) MySQL, PostgreSQL o MSSQL, disponibile in licenza GNU GPL della Free Software Foundation. Questo tipo di licenza ne ha consentito la redistribuzione e la modifica in quanto classificato come software libero.

LimeSurvey consente la creazione e la gestione di più indagini contemporaneamente, con la possibilità di includere ramificazioni e personalizzazioni grafiche, grazie all'utilizzo di codice PHP e HTML per la creazione di contenuti personalizzati. Ogni sondaggio può essere costituito da diversi gruppi di domanda (sezioni), ognuno dei quali richiede la specifica del testo, del tipo, del gruppo di appartenenza e altre caratteristiche avanzate.

I sondaggi possono essere sia pubblici che con accesso riservato, grazie all'utilizzo di una password specifica di accesso (token), che è diversa per ogni partecipante e tiene traccia delle attività di ogni

utente. I dati raccolti, per qualsiasi modalità (pubblica o riservata), possono essere anonimi o nominali.

Nel caso specifico, utilizzando gli indirizzi e-mail di studenti e dipendenti, non si è scelto di creare un accesso riservato, ma è stato possibile conservare il set di dati per ogni identificativo in modo da verificare lo stato di completamento del questionario.

In questo caso è stato possibile inviare una e-mail di richiamo solamente agli utenti che non avevano caricato il questionario in maniera completa. Per assicurare la privacy degli utenti la piattaforma non consente il collegamento degli identificativi alle risposte.

Una volta completato il periodo di somministrazione del questionario, i dati raccolti sono stati esportati come file CSV (Comma Separated Values) per il trattamento e l'importazione su software specifico di analisi.

5.7.2 Metodologia di acquisizione dati

Il Piano Fattoriale Completo dell'indagine progettata prevede 128 scenari, generati dagli attributi scelti e dai livelli di variazione previsti. In particolare sono stati individuati quattro blocchi composti da quattro scenari ciascuno.

Al fine di acquisire un numero significativo di risposte con un utilizzo contenuto di tempo, unitamente alla distribuzione dell'indagine in forma cartacea, si è deciso di implementare l'indagine sul web. Successivamente è stata inviata una richiesta di partecipazione tramite mail e attraverso social network per consentire la compilazione autonoma agli intervistati.

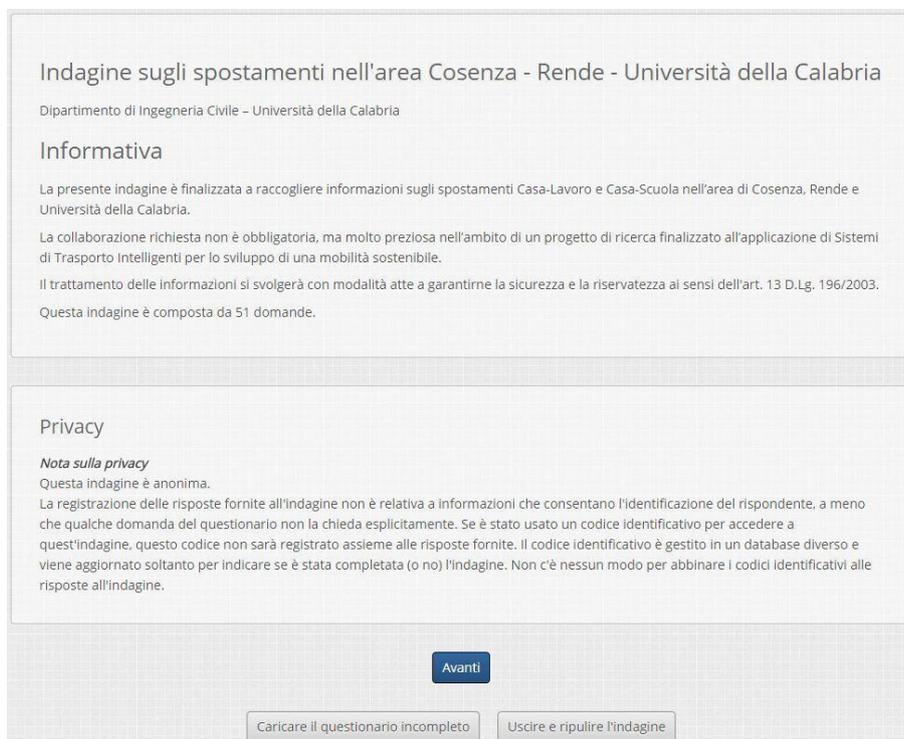
Il rischio principale di questa modalità di raccolta dei dati è rappresentato dalla possibilità di una cattiva comprensione delle domande. È stato dunque necessario formulare i quesiti in maniera semplice e più chiara possibile, in modo da ridurre al minimo le possibili incomprensioni, aggiungendo ad ogni domanda una descrizione dettagliata consultabile nel caso in cui l'utente avesse manifestato perplessità nella lettura.

Un altro aspetto critico che caratterizza questa modalità di intervista è rappresentato dal rischio di mancata compilazione dell'indagine da parte dell'utente. Al fine di valutare la propensione degli utenti alla partecipazione all'indagine somministrata tramite web, è stata implementata un'interfaccia di Web Analytics per consentire l'analisi dettagliata delle statistiche sul comportamento dei visitatori della pagina web iniziale dell'indagine.

Per la raccolta delle informazioni è stata pianificata una strategia di comunicazione mediante l'utilizzo dell'indirizzo di posta istituzionale dell'Università della Calabria, attraverso la quale è stato

possibile somministrare il questionario alla popolazione dei dipendenti del polo universitario (circa 5000, tra strutturati, dottorandi, assegnisti, etc.) e agli studenti (circa 24000 iscritti al 30/05/2016).

Prima di procedere con la somministrazione, è stata formulata una lettera firmata dal Rettore per l'invio ai dipendenti e agli studenti, unitamente ad un messaggio introduttivo sulle finalità dell'indagine, sull'importanza del contributo di ogni utente, oltre che dell'anonimato delle risposte e una nota sulla privacy.



The image shows a web page titled "Indagine sugli spostamenti nell'area Cosenza - Rende - Università della Calabria". Below the title, it identifies the "Dipartimento di Ingegneria Civile - Università della Calabria". The page is divided into two main sections: "Informativa" and "Privacy".

Informativa

La presente indagine è finalizzata a raccogliere informazioni sugli spostamenti Casa-Lavoro e Casa-Scuola nell'area di Cosenza, Rende e Università della Calabria.

La collaborazione richiesta non è obbligatoria, ma molto preziosa nell'ambito di un progetto di ricerca finalizzato all'applicazione di Sistemi di Trasporto Intelligenti per lo sviluppo di una mobilità sostenibile.

Il trattamento delle informazioni si svolgerà con modalità atte a garantirne la sicurezza e la riservatezza ai sensi dell'art. 13 D.Lg. 196/2003.

Questa indagine è composta da 51 domande.

Privacy

Nota sulla privacy

Questa indagine è anonima.

La registrazione delle risposte fornite all'indagine non è relativa a informazioni che consentano l'identificazione del rispondente, a meno che qualche domanda del questionario non la chieda esplicitamente. Se è stato usato un codice identificativo per accedere a quest'indagine, questo codice non sarà registrato assieme alle risposte fornite. Il codice identificativo è gestito in un database diverso e viene aggiornato soltanto per indicare se è stata completata (o no) l'indagine. Non c'è nessun modo per abbinare i codici identificativi alle risposte all'indagine.

At the bottom of the page, there are three buttons: a blue "Avanti" button, and two grey buttons labeled "Caricare il questionario incompleto" and "Uscire e ripulire l'indagine".

Figura 27 - Pagina iniziale questionario con informativa privacy

Per la diffusione dei questionari agli studenti è stato utilizzato uno strumento di invio massivo di messaggi e-mail tipico delle campagne di mail-marketing, con la possibilità di monitorare lo stato di recapito e di risposta degli utenti.

Lo strumento è stato utilizzato esclusivamente per le email degli studenti non in possesso di un account di posta istituzionale, per il quale è stato programmato un invio specifico in accordo con l'Unità Strategica Servizio Statistico d'Ateneo e Supporto alle Decisioni.

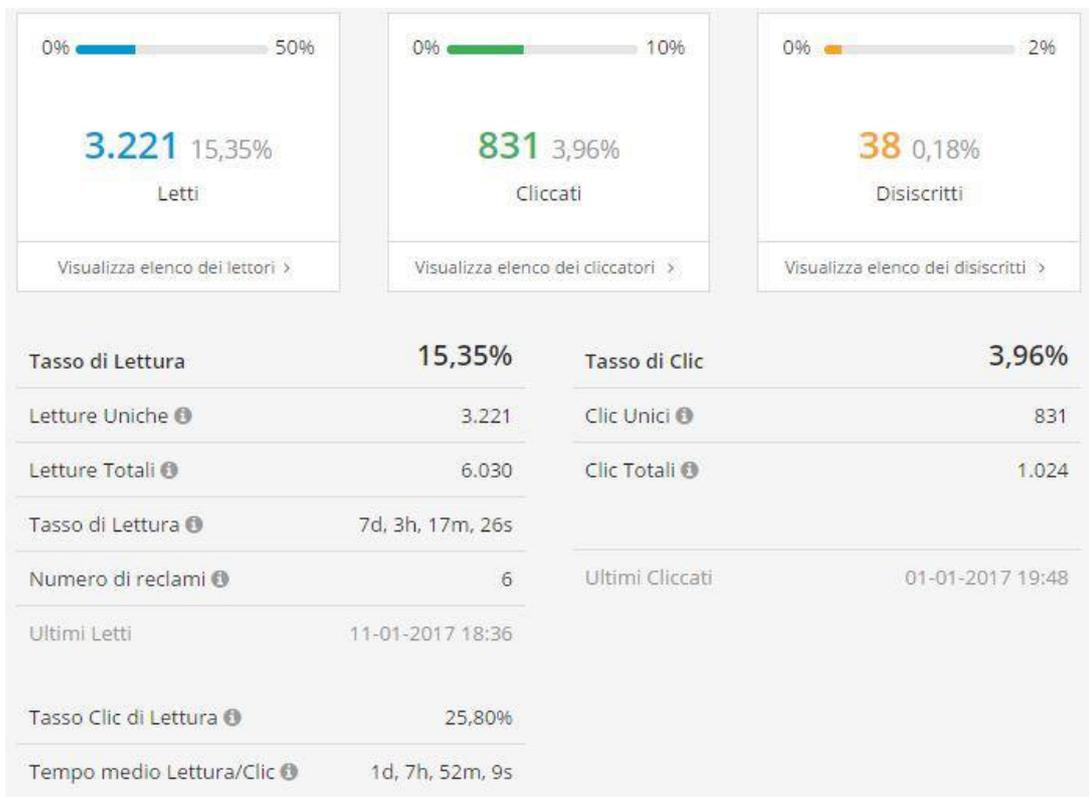


Figura 28 - Dettaglio delle statistiche di invio dei questionari alla popolazione studentesca

5.7.3 Analytics tool

Attraverso l'utilizzo di uno strumento di Web Analytics (Google Analytics) è stato possibile analizzare statisticamente i visitatori della pagina web dell'indagine. Sul sito è stato possibile monitorare i visitatori provenienti da tutte le fonti, sia da motori di ricerca, siti referer o social network, sia dalla campagna mail avviata per l'esperimento.

Nelle prime ore dopo l'invio sono stati completati oltre 400 questionari, entro la prima settimana sono state fornite oltre 1250 questionari con un totale di 231 risposte incomplete. Si è dunque provveduto ad inviare un richiamo per gli utenti che non avevano compilato il questionario lasciandolo incompleto.

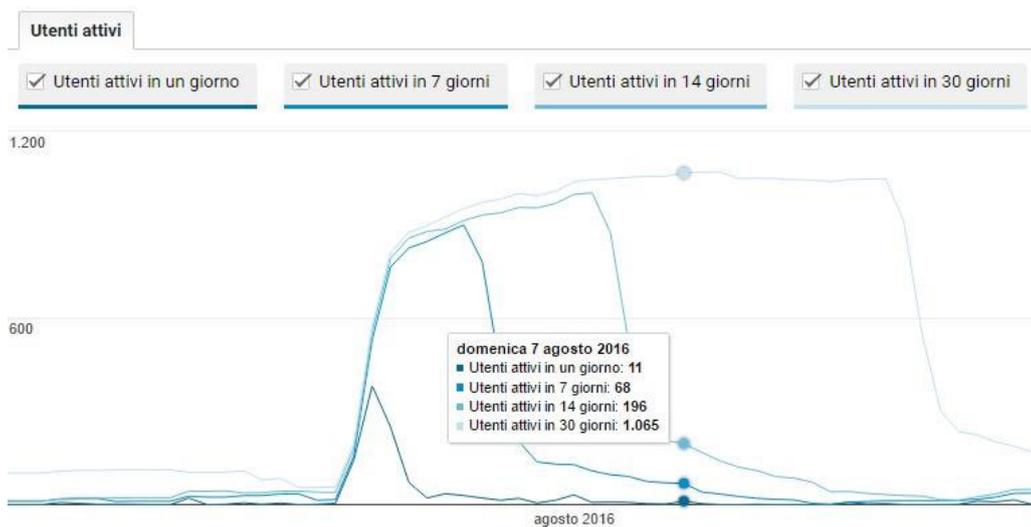


Figura 29 - Dashboard di Analytics in un intervallo del periodo di somministrazione del questionario

Attraverso lo strumento di Web analytics è stato possibile profilare gli utenti che hanno visitato il sito, con particolare riferimento alle seguenti dimensioni:

- Dispositivo utilizzato (figura 30),
- Categorie di affinità (figura 31),
- Segmenti in-marketing (figura 32),
- Canali di accesso (figura 33),
- Categorie di dispositivi (figura 34),
- Sessioni registrate (figura 35).



Figura 30 - Statistiche dei dispositivi utilizzati per eseguire l'indagine

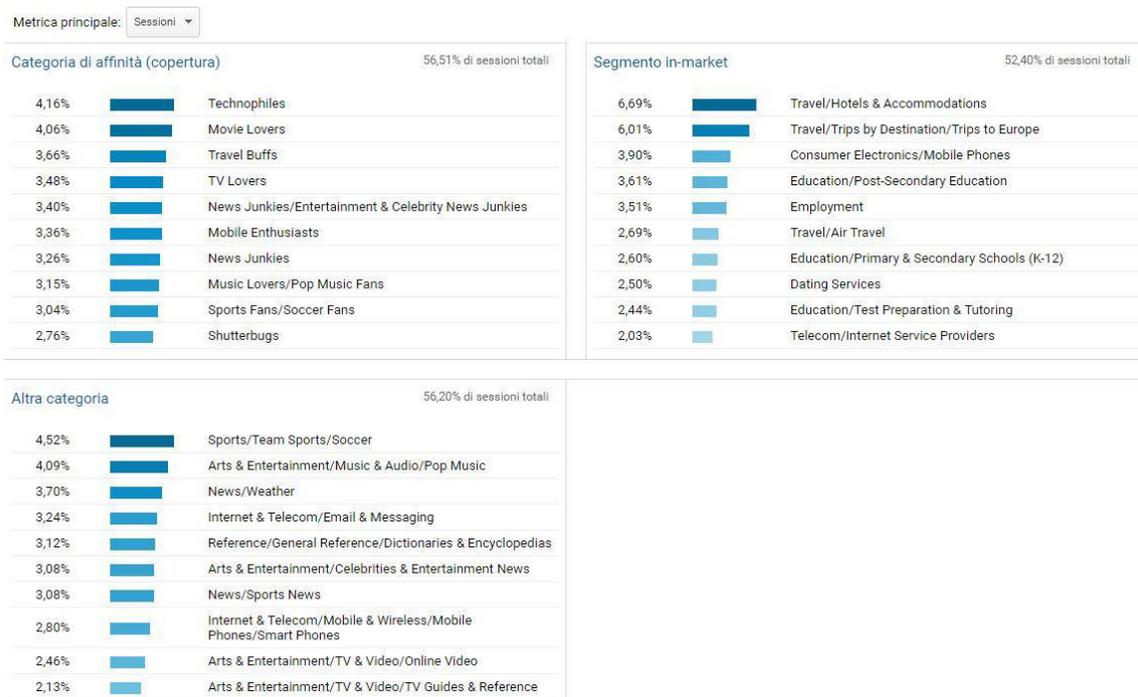


Figura 31 - Categorie di affinità di Google Analytics

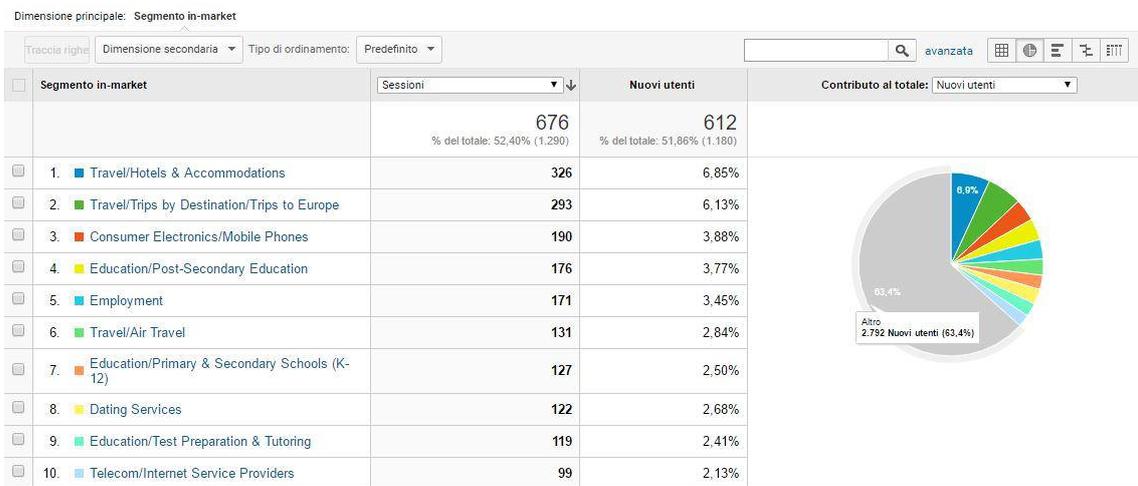


Figura 32 - Segmenti in-marketing di Google Analytics



Figura 33 - Canali di accesso di Google Analytics

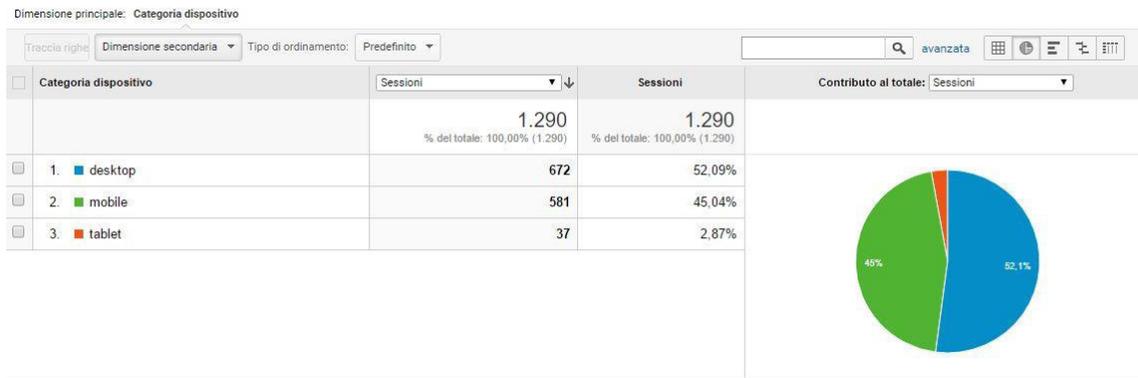


Figura 34 - Categorie di dispositivo di Google Analytics



Figura 35 - Statistiche di sessione di Google Analytics

Nonostante il questionario non ha previsto una sezione apposita per commenti, sono pervenuti per mezzo di posta elettronica numerosi suggerimenti per il miglioramento del questionario e idee per l'incentivazione della mobilità sostenibile.

5.8 Elaborazione dei dati dell'indagine

Nell'arco di 30 giorni sono stati compilati 903 questionari attraverso il canale telematico, e 137 questionari cartacei, per un totale di 1040 questionari. L'analisi di coerenza sui dati eseguita tramite

*Tutte le condizioni soddisfano gli standard di coerenza.
Tutti gli attributi della domanda soddisfano gli standard di coerenza.
Tutti i valori predefiniti soddisfano gli standard di coerenza.
Tutte le impostazioni delle quote di linguaggio soddisfano gli standard di coerenza.
Tutte le valutazioni soddisfano gli standard di coerenza.
Tutte le risposte soddisfano gli standard di coerenza.
Tutte le domande soddisfano gli standard di coerenza.
Tutti i gruppi soddisfano gli standard di coerenza.*

software non ha rilevato problemi di consistenza dei dati:

Il numero totale di risposte complete raccolte attraverso il questionario web-based è di 651, a causa di 347 risposte incomplete nelle sezioni di scenario, per le quali non è stato possibile importarle nel software di analisi e stima del modello. Sono state inoltre scartate le risposte non coerenti dovute probabilmente a difficoltà di comprensione degli scenari o scarsa attenzione nella lettura delle condizioni di scelta, nelle istanze in cui se ad esempio l'utente che ha scelto l'alternativa "bus" con un livello di servizio definito, la variazione positiva degli attributi hanno spostato la scelta dell'utente verso l'alternativa "auto".

5.8.1 Sezione A – Caratteristiche socio-economiche

Le statistiche descrittive delle variabili socio-economiche ottenuti dalla elaborazione dei dati relativi alla sezione A del questionario sono rappresentate di seguito.

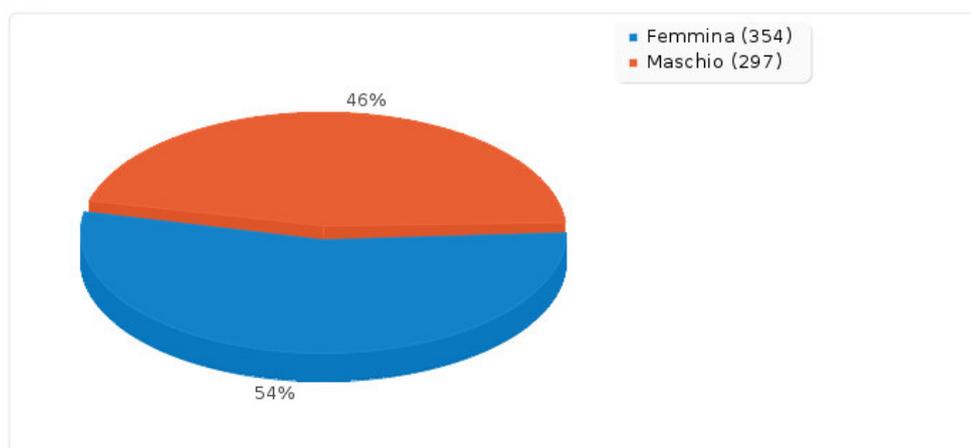


Grafico 2 - Rappresentazione statistica del genere

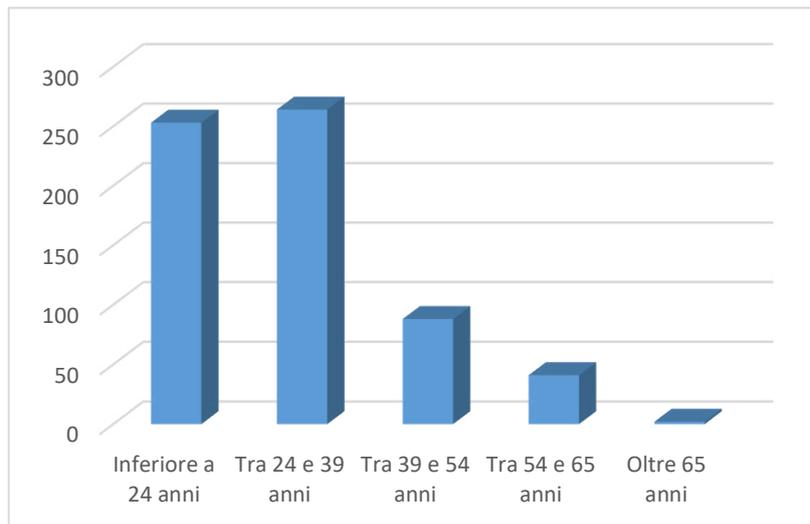


Grafico 3 - Rappresentazione statistica delle classi di età degli utenti

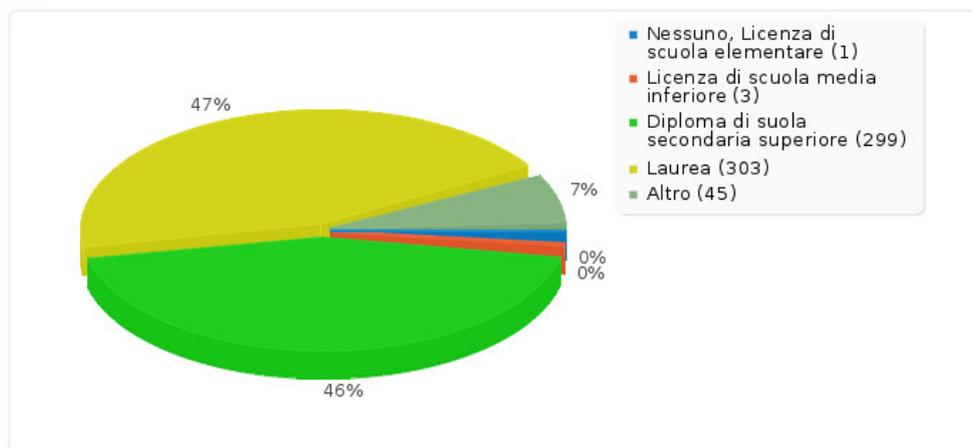


Grafico 4 - Titolo di studio

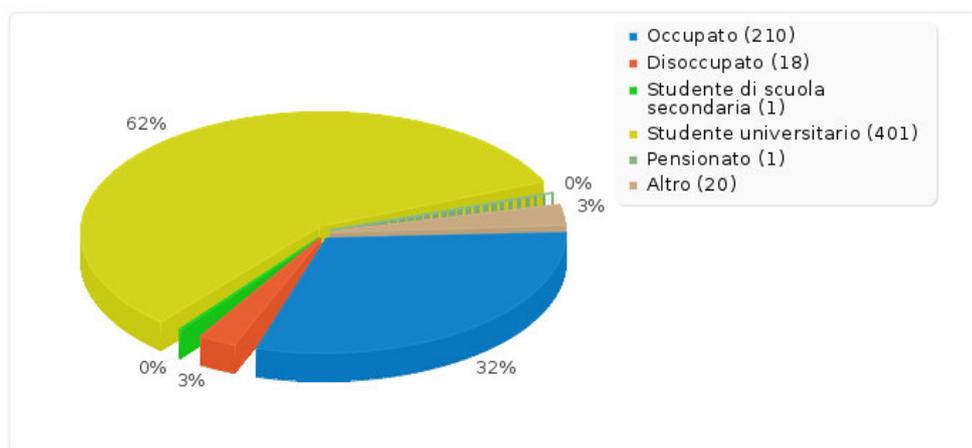


Grafico 5 - Stato di occupazione

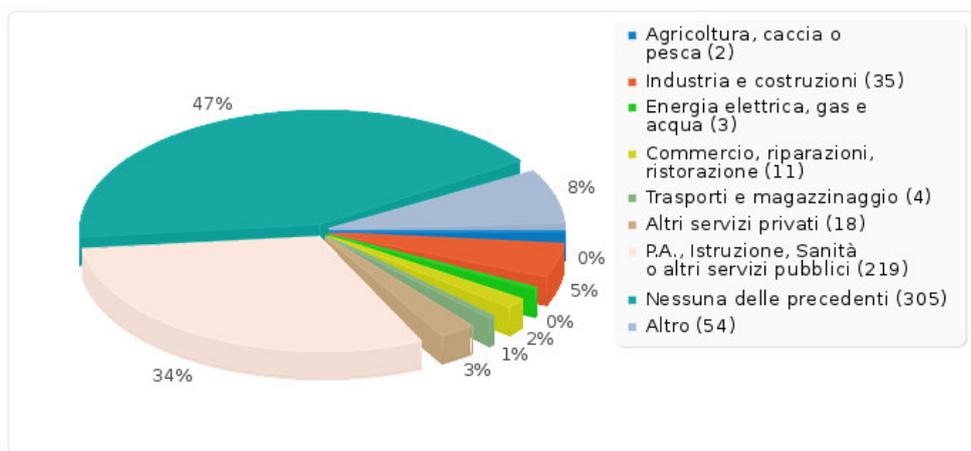


Grafico 6 - Settore di occupazione

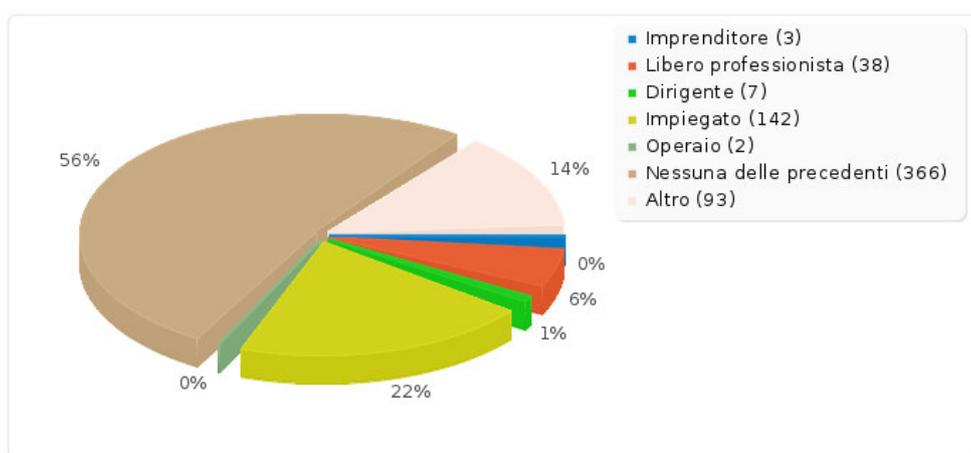


Grafico 7 - Condizione occupazionale

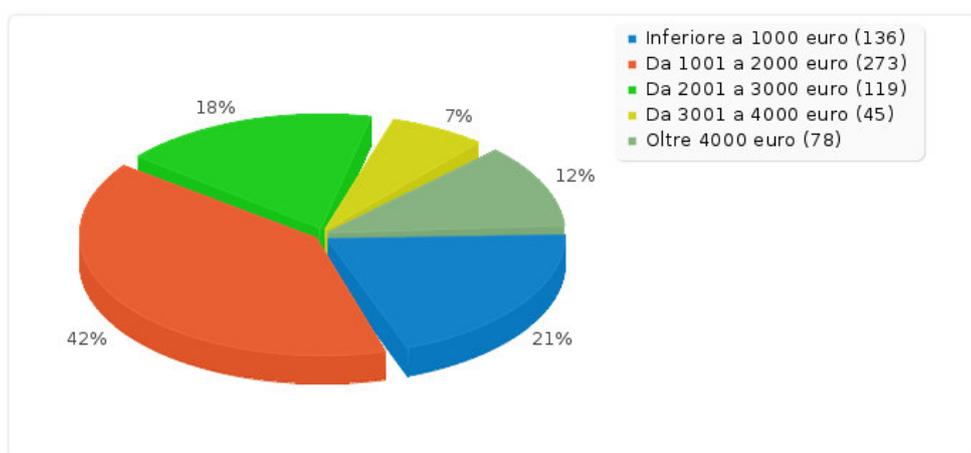


Grafico 8 - Reddito netto mensile del nucleo familiare

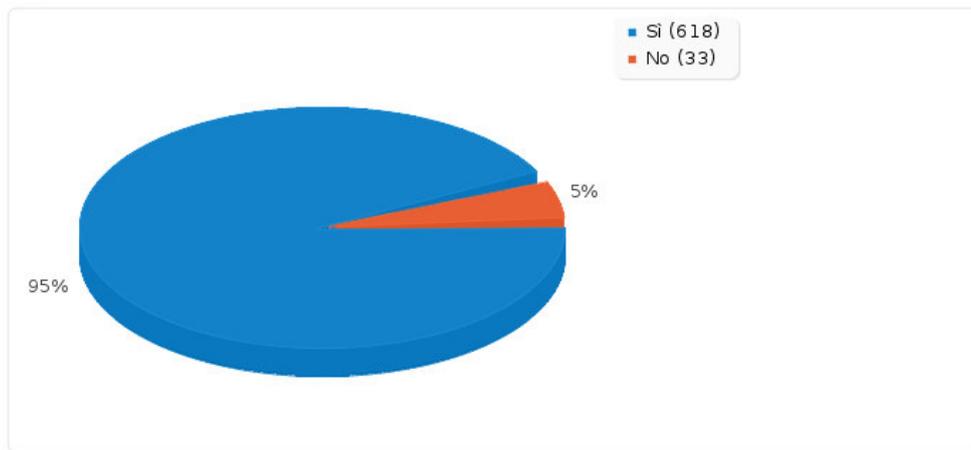


Grafico 9 - Possesso della patente di guida

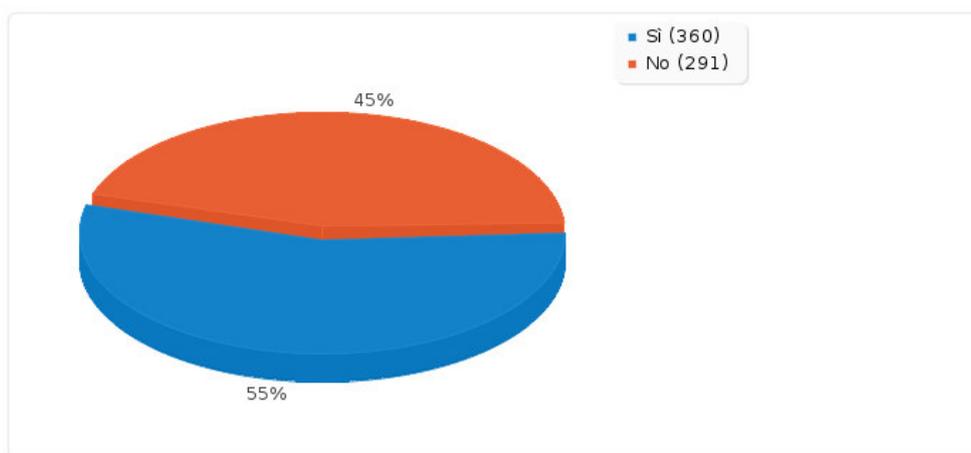


Grafico 10 - Disponibilità di mezzo proprio per gli spostamenti sistematici

5.8.2 Sezione B – Spostamenti sistematici

In questa sezione sono stati analizzati gli spostamenti degli utenti attraverso la definizione della matrice origine-destinazione nell'area di studio.

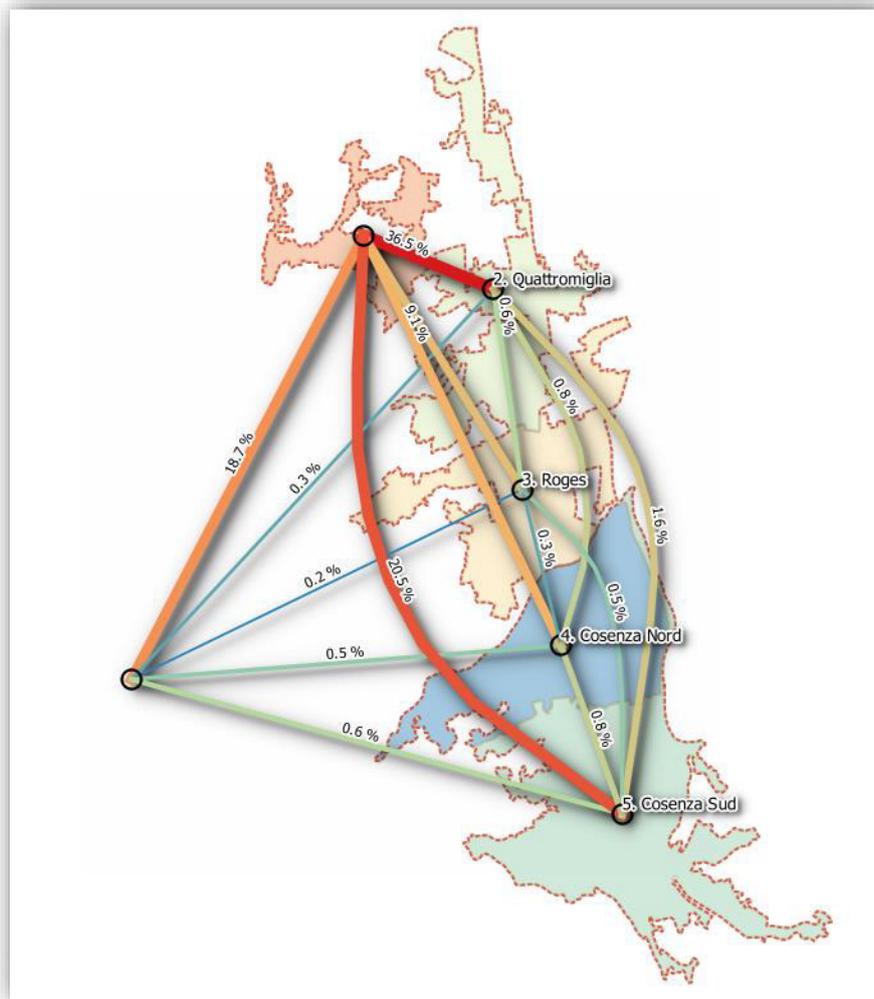


Figura 36 - Rappresentazione degli spostamenti nell'area di studio

Gli spostamenti sistematici dichiarati dagli utenti evidenziano collegamenti più frequenti da e verso la zona 1, identificativa del polo universitario di Rende. In particolare si registrano per il campione analizzato il 36,5% degli spostamenti totali da Quattromiglia, il 20,5% da Cosenza, il 18,7% dall'esterno dell'area di studio.

In merito al motivo dello spostamento, i risultati (figura 37) mostrano un valore del 65% dei rispondenti per il motivo casa-studio, evidenziando una maggiore percentuale di studenti rispetto ai lavoratori. Il dato trova corrispondenza con le statistiche relative allo stato occupazionale (grafico 5), per il quale il 62% dichiara di essere studente universitario.

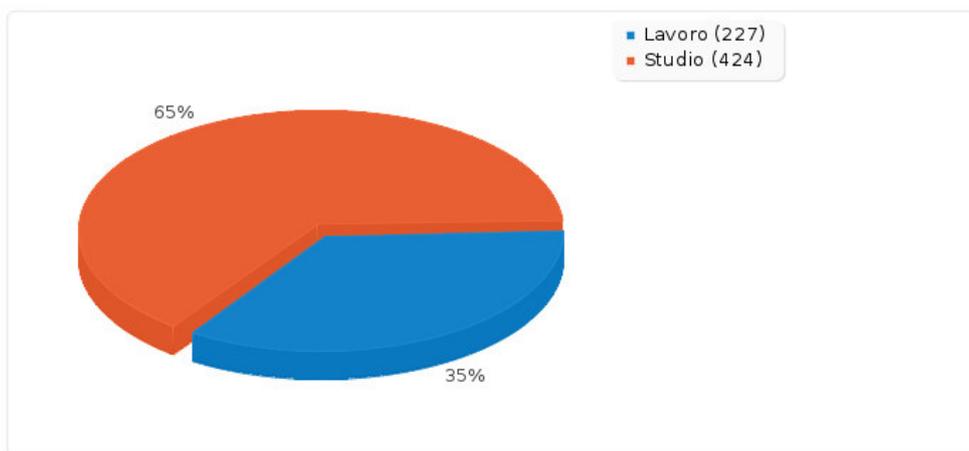


Figura 37 - Motivo dello spostamento

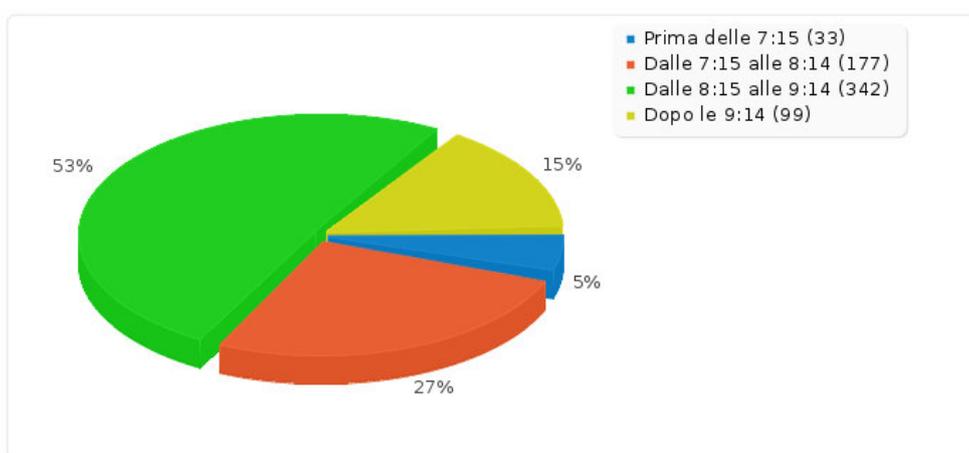


Figura 38 - Fascia oraria

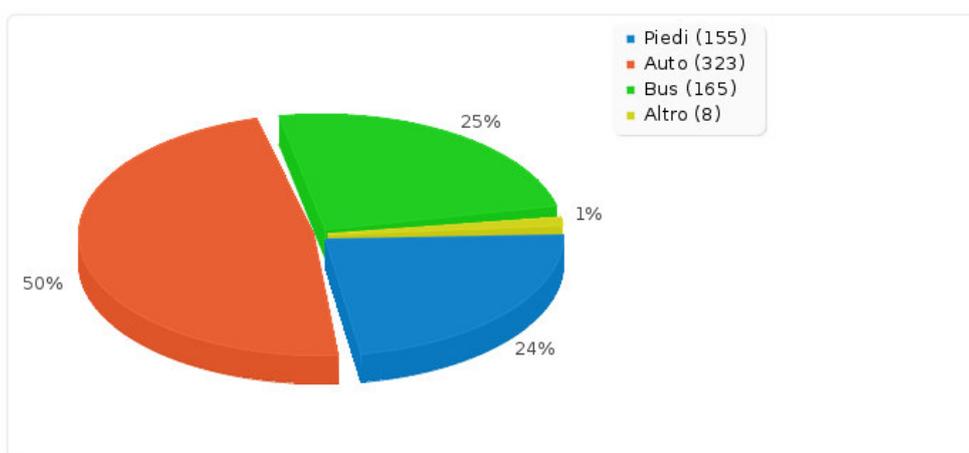


Figura 39 - Scelta del mezzo

La sezione B del questionario è stata suddivisa sulla base della scelta del mezzo di trasporto prevalentemente utilizzato per gli spostamenti sistematici. In particolare, per ogni sottoinsieme di intervistati partizionati per mezzo, sono state formulate domande specifiche del modo

rappresentazione attraverso scale Likert. Tale tecnica ha consentito la valutazione statistica degli attributi scelti per l'esperimento, Ad ogni rispondente è stato chiesto di indicare il suo grado di accordo o disaccordo con quanto espresso dall'affermazione in una scala a 5 modalità.

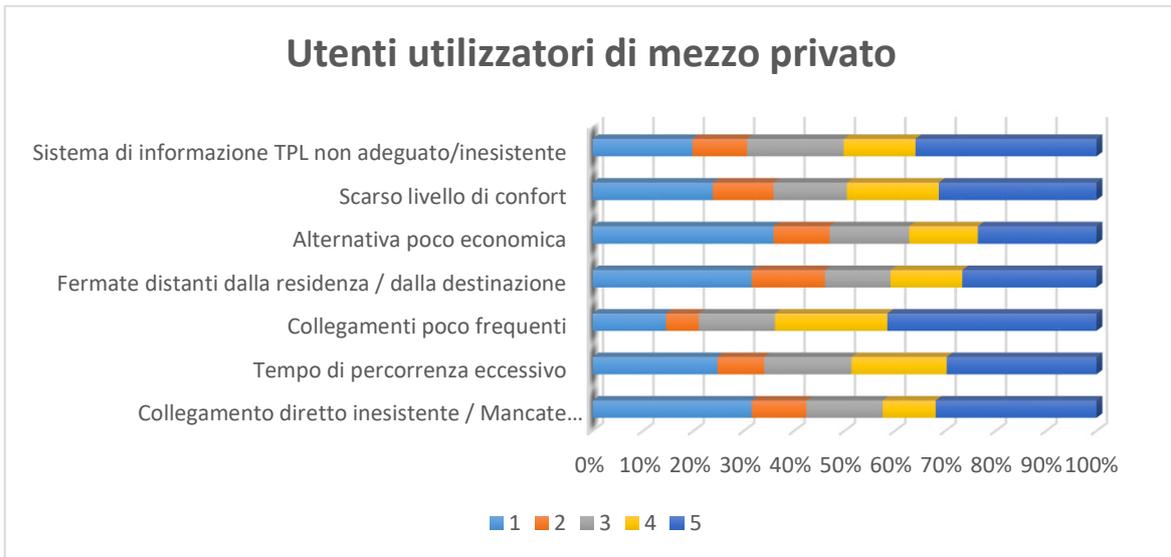


Grafico 11 - Rappresentazione dell'atteggiamento degli utenti dei mezzi privati riguardo ad attributi specifici

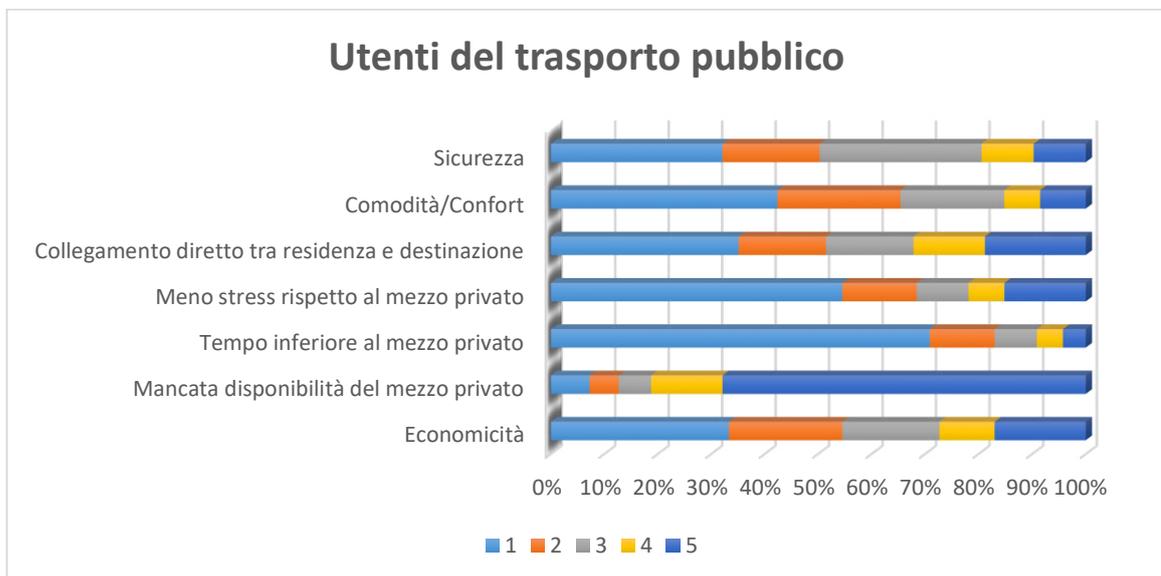


Grafico 12 - Rappresentazione dell'atteggiamento degli utenti del trasporto pubblico riguardo ad attributi specifici

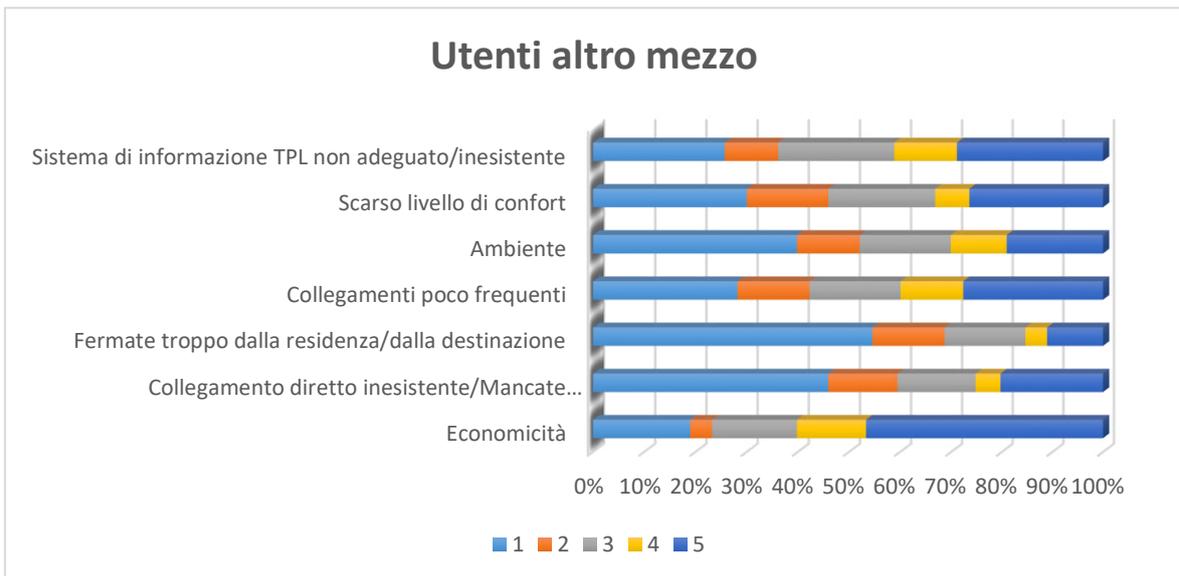


Grafico 13 - Rappresentazione dell'atteggiamento degli utenti che non utilizzano in bus o l'auto riguardo ad attributi specifici

5.8.3 Sezione C – Livelli di gradimento nei confronti di un'applicazione mobile

Gli smartphone di nuova generazione integrano un sistema di sensori che consentono di tracciare la propria posizione, monitorare le nostre attività e, grazie alla loro parte “smart”, consentono di prevedere le proprie necessità e rispondere in maniera efficace ai nostri bisogni. In questa sezione è stata chiesta una valutazione personale sull'utilità che diverse informazioni, grazie a un'applicazione dedicata, potrebbero essere disponibili durante lo spostamento.

La prima domanda “Quanto è importante un'informazione che, in base alla destinazione e all'orario dello spostamento, indichi i MODI di trasporto disponibili, i TEMPI e i COSTI per raggiungere la destinazione?” ha ricevuto adesioni maggiori per i livelli più alti (“moltissimo” e “molto”). Anche la seconda domanda, “Ipotizzando di aver scelto il mezzo di trasporto, quanto è importante un'informazione che indichi durante il viaggio i punti di interesse e indichi le modalità per raggiungerli in tempo reale?”, ha registrato livelli di gradimento molto elevati.



Grafico 14 - Sezione C dell'indagine - Domanda 1



Grafico 15 - - Sezione C dell'indagine - Domanda 2

Nella terza domanda, relativa all'importanza di ricevere informazioni commerciali in base alla propria posizione e ai propri interessi, i livelli di gradimento sono medi.



Grafico 16 - Sezione C dell'indagine - Domanda 3

La quarta domanda della sezione indaga sulle preferenze degli utenti relativamente ai canali digitali preferiti per ricevere informazioni. I risultati, come mostrato nel grafico 17, dimostrano una elevata propensione all'installazione di una applicazione dedicata (49,6%), ma una buona percentuale di utenti ha espresso parere positivo sulla possibilità di ricevere le informazioni attraverso applicazioni di messaggistica istantanea (19,1%).

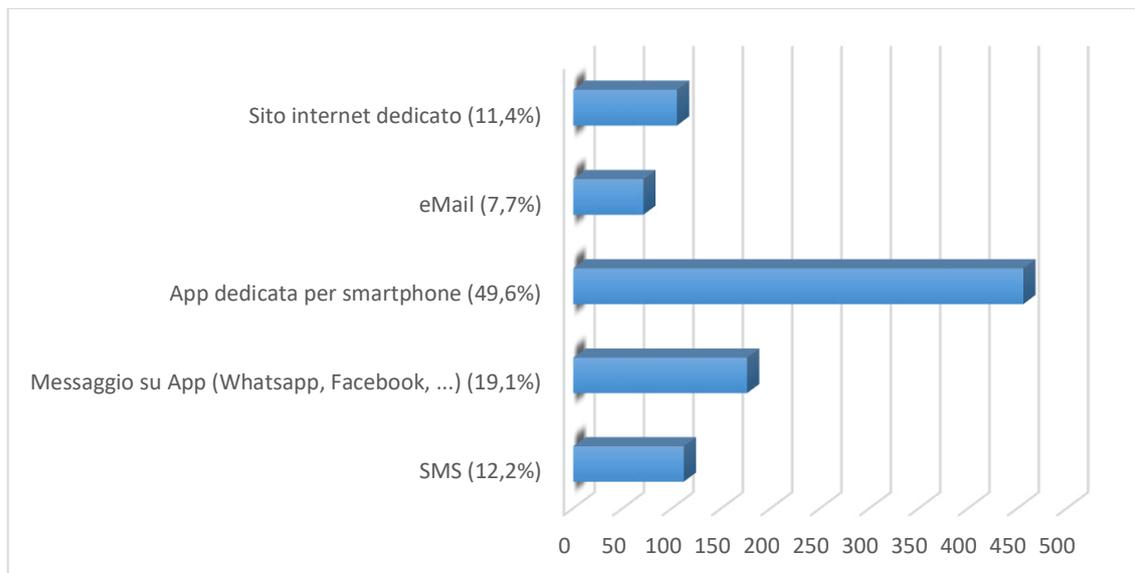


Grafico 17 - Sezione C dell'indagine - Domanda 4

Le informazioni registrate in questa sezione del questionario forniscono preziosi suggerimenti sull'implementazione di specifiche funzioni all'interno di un'applicazione dedicata. La presentazione di informazioni aggiuntive presuppone infatti l'acquisizione di dati da fonti esterne,

quali ad esempio la geolocalizzazione delle attività commerciali, che devono essere acquisite dalla piattaforma per la realizzazione di servizi specifici.

CAPITOLO 6

VALUTAZIONE DELLA CONFIGURAZIONE DELL'OFFERTA DI SERVIZI TPL OTTIMALI E ANALISI DELLO SPLIT MODALE

6.1 Calibrazione del modello Logit

Per l'applicazione del metodo è stato utilizzato il software BIOGEME (Blerlaire Optimization GEv Model Estimation). BIOGEME, rilasciato come software Open Source, è stato progettato per la stima della massima verosimiglianza di modelli parametrici in genere, con particolare riferimento ai modelli di scelta discreta.

Sono disponibili due versioni del software, PythonBiogeme e BisonBiogeme. Per lo studio è stata utilizzata la versione basata su Python, principalmente perché più aggiornata secondo le ultime release del linguaggio di programmazione.

6.1.1 Il datafile

Per la stima del modello, BIOGEME richiede un data file in un formato specifico testuale, che contiene nella prima riga una lista delle etichette corrispondenti ai dati disponibili, e ogni riga consecutiva deve contenere lo stesso numero di dati numerici corrispondenti alle osservazioni.

Per la preparazione del file è stato utilizzato lo strumento *biopreparedata*, che trasforma automaticamente un file CSV (Comma Separated Version) nel formato richiesto. Il tool *biocheckdata* è stato utilizzato per verificare se il data file prodotto fosse coerente con le specifiche richieste da BIOGEME.

I dati contenuti nel data file prodotti per l'esperimento sono descritti nella tabella 10.

DATA FILE BIOGEME	
ID	Id dell'intervistato
SURVEY	Tipo di questionario - 1: on-line, 2: cartaceo
SP	Tipo di questionario SP/RP - 1: SP, 2: RP
MALE	Genere - 1: Femmina, 2: Maschio
AGE	Classe di età - 1: <24, 2: Tra 24 e 39, 3: Tra 39 e 54, 4: Tra 54 e 65, 5: Oltre 65
INCOME	Classe di reddito - 1: <1000, 2: Tra 1000 e 2000, 3: Tra 2000 e 3000, 4: Tra 3000 e 4000, 5: Oltre 4000

	Titolo di studio - 1: Licenza elementare, 2: Licenza media inferiore, 3: Diploma, 4: Laurea, 5: Altro
TITLE	Altro
LICENCE	Possesso patente guida - 0: No, 1: Si
CAR_AV	Diponibilità auto nel nucleo - 0: No, 1: Si
ORIGIN	Zona di origine - Vedi tabella O/D
DEST	Zona di destinazione - Vedi tabella =O/D
PURPOSE	Motivo spostamento - 1: Lavoro, 2: Studio
CHOICE	Scelta mezzo - 1: Bus, 2: Car
WK_TT	Tempo per raggiungere la fermata - 1: Meno di 5 min, 2: Tra 5 e 10 min, 3: oltre 10 min
W_TT	Tempo di attesa alla fermata - 1: Meno di 5 min, 2: Più di 5 min
BUS_TT	Tempo di viaggio BUS - 1: Meno di 10 min, 2: Tra 10 e 20 min, 3: Tra 20 e 30 min, 4: oltre 30 min
BUS_COST	Costo BUS mensile - 1: Meno di 25 €, 2: Tra 25 e 50 €, 3: Oltre 50 €
BUS_INFO	Sistema informazione utenza - 1: Cartaceo, 2: Interattivo real-time GPS
BUS_SEATS	Comfort a bordo - 1: Mezzo affollato, 2: Posti disponibili
BUS_FREQ	Frequenza BUS - 1: 15 min, 2: 20 min
CAR_TT	Tempo di viaggio AUTO - FIXED to 2
CAR_COST	Costo carburante AUTO - FIXED to 2
CAR_PARK	Costo parcheggio mensile - 1: Free parking, 2: Parking Cost

Tabella 10 - Descrizione dei dati per l'esperimento SP

6.1.2 Il modello

Il modello utilizzato è un LOGIT binario con le alternative *bus* e *auto*. Le funzioni di utilità sono state definite come:

$$\begin{aligned}
 V1 = & B_{WK_TT} \times WK_TT + B_{W_TT} \times W_TT + B_{BUS_TT} \times BUS_TT \\
 & + B_{BUS_COST} \times BUS_COST + B_{BUS_INFO} \times BUS_INFO \\
 & + B_{BUS_SEATS} \times BUS_SEATS + B_{BUS_FREQ} \times BUS_FREQ
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V2 = & ASC_CAR + B_{CAR_TT} \times CAR_TT + B_{CAR_COST} \times CAR_COST + B_{CAR_PARK} \\
 & \times CAR_PARK + B_{MALE} \times MALE + B_{AGE} \times AGE + B_{INCOME} \\
 & \times INCOME + B_{TITLE} \times TITLE + B_{LICENCE} \times LICENCE \\
 & + B_{CAR_AV} \times CAR_AV
 \end{aligned}$$

V1 rappresenta la funzione di utilità dell'alternativa *bus*, V2 rappresenta la funzione di utilità dell'alternativa *auto*. La disponibilità dell'alternativa *i* è determinata dalla variabile y_i , con $i = 1, 2$,

che risulta pari a 1 se l'alternativa è disponibile, 0 altrimenti. La probabilità di scegliere un'alternativa i è data dal modello LOGIT:

$$P(i|\{1,2\}; x, \beta) = \frac{y_i e^{V_i(x, \beta)}}{y_1 e^{V_1(x)} + y_2 e^{V_2(x)}}$$

Dato un set di dati con N osservazioni, la funzione di massima verosimiglianza del campione sarà pari a :

$$\mathcal{L} = \sum_n \log P(i_n|\{1,2\}; \beta)$$

Dove i_n è l'alternativa scelta dall'utente n .

6.1.3 Specificazione del modello: PythonBIOGEME

Il modello deve essere specificato in un file con estensione *.py*. Il punto di partenza è stato utilizzare il file fornito dal tool BIOGEME *01logit.py*, opportunamente corretto per la specifica istanza di esperimento dello studio.

La prima sezione del file di modello deve contenere i riferimenti alle librerie Python necessarie al corretto funzionamento di PythonBIOGEME, i nomi delle intestazioni nel data file, e le funzioni statistiche per i calcoli base del modello:

```
from biogeme import *  
from headers import *  
from statistics import *
```

La sezione successiva usa la funzione BETA per definire i parametri che devono essere stimati. Per ogni parametro è necessario definire:

1. Il nome del parametro,
2. Il valore di default,
3. Un lower bound,
4. Un upper bound,
5. Un flag che indica che si desidera stimare il parametro (0) o se mantenere il valore di default,
6. Una descrizione del parametro.

La sezione seguente mostra le funzioni BETA utilizzate nel modello:

```
ASC_CAR = Beta('ASC_CAR',1,-10,10,0,'Car cte.')
```



```
B_WK_TT = Beta('B_WK_TT', 1, -10, 10, 0, 'Walking Time')
B_W_TT = Beta('B_W_TT', 1, -10, 10, 0, 'Waiting Time')
B_BUS_TT = Beta('B_BUS_TT', 1, -10, 10, 0, 'Travel Time')
B_BUS_COST = Beta('B_BUS_COST', 1, -10, 10, 0, 'Bus monthly cost')
B_BUS_INFO = Beta('B_BUS_INFO', 1, -10, 10, 0, 'Bus ATIS')
B_BUS_SEATS = Beta('B_BUS_SEATS', 1, -10, 10, 0, 'Bus seats availability')
B_BUS_FREQ = Beta('B_BUS_FREQ', 1, -10, 10, 0, 'Service Frequency')
```



```
B_CAR_TT = Beta('B_CAR_TT', 2, -10, 10, 1, 'Car travel time')
B_CAR_COST = Beta('B_CAR_COST', 2, -10, 10, 1, 'Car fuel cost')
B_CAR_PARK = Beta('B_CAR_PARK', 1, -10, 10, 0, 'Car parking cost')
```



```
B_MALE = Beta('B_MALE', 1, -10, 10, 0, 'Genre')
B_AGE = Beta('B_AGE', 1, -10, 10, 0, 'Age')
B_INCOME = Beta('B_INCOME', 1, -10, 10, 0, 'Income')
B_TITLE = Beta('B_TITLE', 1, -10, 10, 0, 'Title')
B_LICENCE = Beta('B_LICENCE', 1, -10, 10, 0, 'Driving Licence')
B_CAR_AV = Beta('B_CAR_AV', 1, -10, 10, 0, 'Car availability')
```

Nel caso specifico, i parametri relativi al tempo di viaggio in auto (B_CAR_TT) e costo dell'auto relativo allo spostamento (B_CAR_COST) riportano il flag di stima pari a 1, perché in fase di definizione del modello si è scelto di mantenere costanti le grandezze con valori quanto più simili al contesto di scelta reale.

In una sezione successiva è necessario definire l'insieme di scelta:

```
V = {1: V1, 2: V2}
```

e le regole per la disponibilità delle alternative:

```
BUS_AV_SP = DefineVariable('BUS_AV_SP', SP * ( SP != 0 ))
CAR_AV_SP = DefineVariable('CAR_AV_SP', SP * ( SP != 0 ))
av = {1: BUS_AV_SP,
      2: CAR_AV_SP}
```

Successivamente è opportuno definire il modello di scelta. La funzione *bioLogLogit* fornisce l'algoritmo della probabilità di scelta del modello LOGIT. La funzione richiede tre argomenti:

1. Il dizionario che descrive le funzioni di utilità,

2. Il dizionario che descrive le condizioni di disponibilità,
3. Le alternative per le quali la probabilità deve essere calcolata.

Il modello richiede inoltre una funzione di iterazione sui dati e la definizione della funzione di massima verosimiglianza per la stima del modello.

Nel caso specifico è stato specificato quanto segue:

```

# Funzione di utilità del bus
V1 = B_WK_TT * WK_TT + B_W_TT * W_TT + B_BUS_TT * BUS_TT + B_BUS_COST * BUS_COST
+ B_BUS_INFO * BUS_INFO + B_BUS_SEATS * BUS_SEATS + B_BUS_FREQ * BUS_FREQ
# Funzione di utilità dell'auto
V2 = ASC_CAR + B_CAR_TT * CAR_TT + B_CAR_COST * CAR_COST + B_CAR_PARK * CAR_PARK +
B_MALE * MALE + B_AGE * AGE + B_INCOME * INCOME + B_TITLE * TITLE + B_LICENCE *
LICENCE + B_CAR_AV * CAR_AV
# Definizione dell'algoritmo di calcolo della probabilità
logprob = bioLogLogit(V,av,CHOICE)
# Definizione dell'iteratore sul dataset
rowIterator('obsIter')
# Definizione della funzione di massima verosimiglianza per la stima del modello
BIOGEME_OBJECT.ESTIMATE = Sum(logprob,'obsIter')

```

Tutte le altre variabili sono definite attraverso il descrittore BIOGEME_OBJECT. In particolare si definiscono le funzioni per l'algoritmo specifico di stima della probabilità *BIOGEME_OBJECT.PARAMETERS*, le funzioni di utilità *BIOGEME_OBJECT.FORMULAS*, e le funzioni

```

BIOGEME_OBJECT.PARAMETERS['optimizationAlgorithm'] = "BIO"

BIOGEME_OBJECT.FORMULAS['Bus utility'] = V1
BIOGEME_OBJECT.FORMULAS['Car utility'] = V2

# Statistics
nullLoglikelihood(av,'obsIter')
choiceSet = [1,2]
cteLoglikelihood(choiceSet,CHOICE,'obsIter')
availabilityStatistics(av,'obsIter')

```

per le statistiche:

6.2 Risultati della stima del modello

In prima istanza, con le impostazioni definite nelle sezioni precedenti, il software restituisce diversi risultati sullo stato di esecuzione dello script Python del modello scelto.

- Il primo risultato riporta il numero di processori utilizzati per l'esecuzione:

Nbr of cores reported by the system: 4
Nbr of cores used by biogeme: 2

- Il secondo risultato riporta i dettagli delle iterazioni per la procedura di stima:

Init. log-likelihood: -4510.66 [00:00]

<i>gmax</i>	<i>Iter</i>	<i>radius</i>	<i>f(x)</i>	<i>Status</i>	<i>rhok</i>	<i>nFree</i>
+2.44e-003	1	1.00e+000	+4.5106552e+003	****OutTrReg	-8.81e-002	15 - P
+2.44e-003	2	5.00e-001	+4.5106552e+003	****OutTrReg	+6.77e-001	15 + P
+3.60e-003	3	5.00e-001	+3.4348523e+003	****OutTrReg	+8.30e-001	15 + P
+4.37e-003	4	5.00e-001	+2.5700809e+003	****OutTrReg	+7.82e-001	15 + P
+5.33e-003	5	5.00e-001	+2.0609776e+003	****OutTrReg	+9.71e-001	15 ++ P
+6.19e-003	6	1.00e+000	+1.7587852e+003	****OutTrReg	+8.60e-001	15 + P
+9.91e-003	7	1.00e+000	+1.5805568e+003	****Converg	+9.88e-001	15 ++ P
+1.35e-002	8	2.00e+000	+1.4989867e+003	****OutTrReg	+9.35e-001	15 ++ P
+6.72e-003	9	4.00e+000	+1.4875322e+003	****Converg	+8.17e-001	15 + P
+2.51e-003	10	4.00e+000	+1.4828822e+003	****Converg	+1.02e+000	15 ++ P
+5.90e-004	11	8.00e+000	+1.4824930e+003	****Converg	+1.00e+000	15 ++ P
+2.20e-005	12	1.60e+001	+1.4824762e+003	****Converg	+1.00e+000	15 ++ P

Convergence reached...

- Il terzo risultato riporta il valore dei parametri alla fine delle iterazioni:

Estimated parameters:
ASC_CAR = -3.10143

B_CAR_TT = 1
B_CAR_COST = 1
B_CAR_PARK = -1.30052
B_MALE = -0.140221
B_AGE = 0.00773609
B_INCOME = 0.124486
B_TITLE = 0.0106052
B_LICENCE = 0.578225
B_CAR_AV = 0.392255
B_WK_TT = 0.392312
B_W_TT = -0.184202
B_BUS_TT = -0.611163
B_BUS_COST = -0.379686
B_BUS_INFO = 0.552301
B_BUS_SEATS = 0.867778
B_BUS_FREQ = -0.231528

La tabella 11 riporta in dettaglio il valore dei parametri e i risultati generali dell'esperimento:

Name	Description	Value	Std err	t-test	p-value	
ASC_CAR	Alternative-specific parameter	-3.10	0.610	-5.09	0.00	
B_AGE	Age	0.00774	0.0645	0.12	0.90	*
B_BUS_COST	Bus Cost	-0.380	0.128	-2.98	0.00	
B_BUS_FREQ	Service Frequency	-0.232	0.138	-1.68	0.09	*
B_BUS_INFO	Information available	0.552	0.130	4.24	0.00	
B_BUS_SEATS	Seats availability	0.868	0.113	7.71	0.00	
B_BUS_TT	Bus travel time	-0.611	0.140	-4.38	0.00	
B_CAR_AV	Car availability	0.392	0.107	3.66	0.00	
B_CAR_PARK	Parking cost	-1.30	0.139	-9.37	0.00	
B_INCOME	Income	0.124	0.0377	3.30	0.00	
B_LICENCE	Driving licence	0.578	0.214	2.70	0.01	
B_MALE	Gender	-0.140	0.0920	-1.52	0.13	*
B_TITLE	Title	0.0106	0.0340	0.31	0.76	*
B_WK_TT	Walking time to the bus stop	0.392	0.131	2.99	0.00	
B_W_TT	Waiting time at bus stop	-0.184	0.137	-1.35	0.18	*
Final value of Log-Likelihood		-1623,63				
Log-Likelihood with Zero coefficients		-1714,15				
Rho squared		0,671				
Rho squared bar		0,668				
Final gradient norm.		2,00E-03				
Iterations		12				

Tabella 11 – BIOGEME: Esito della calibrazione LOGIT bin

Il software calcola inoltre le scelte modali nel campione, i risultati sono schematizzati di seguito:

Alt. 1 available: 2473
 Alt. 1 chosen: 904 (BUS)
 Alt. 2 available: 2473
 Alt. 2 chosen: 1569 (AUTO)

6.3 Validazione del modello

Per quanto riguarda la validazione del modello, vale a dire la verifica che la calibrazione abbia raggiunto un buon grado di descrizione della realtà, è opportuno eseguire 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.

In merito al test sulle aspettative del segno, ad eccezione del tempo per raggiungere la fermata, tutte le variabili hanno segno in linea con le aspettative¹, generando un effetto positivo sull'utilità. Tutti gli attributi che sono percepiti come caratteristiche positive riportano coerentemente il segno positivo.

Il secondo test informale riguarda il rapporto tra i diversi coefficienti calibrati. Ad esempio è possibile calcolare il rapporto tra i coefficienti del tempo e del costo monetario, che può essere interpretato come *value of time* (VOT, valore del tempo). Tale valore può essere confrontato con i risultati di altre calibrizioni. I parametri di attributi corrispondenti ad aliquote diverse dei tempi di viaggio presenteranno valori assoluti crescenti in corrispondenza di componenti meno gradite agli utenti.

Il VOT calcolato per l'esperimento è dato dalla seguente relazione:

$$\frac{\beta_{Tempo\ di\ viaggio\ bus}}{\beta_{Costo\ bus}} = \frac{-0,611 [h^{-1}]}{-0,380 [€^{-1}]} = 1,607\ € / h$$

Secondo le indicazioni della letteratura tecnica (Cascetta), il valore del VOT calcolato è in linea con i valori di riferimento per gli studenti universitari, che nell'esperimento rappresentano il 62% degli intervistati.

Dopo una prima valutazione con test informali, è opportuno effettuare test formali sui coefficienti del modello. Il test t-student, utilizzato per rigettare l'ipotesi che i valori stimati dai BETA siano statisticamente uguali a zero, eseguito sui coefficienti del modello evidenzia valori accettabili eccetto per i coefficienti *AGE*, *MALE*, *TITLE* e *BUS_FREQ*, per i quali si riscontra un valore inferiore a 1,96 che rappresenta la soglia di accettabilità per rigettare l'ipotesi con una probabilità di errore del 5%.

Per verificare la bontà dell'accostamento del modello (Goodness of fit), è inoltre opportuno calcolare i valori RHO_QUADRO secondo le seguenti relazioni:

$$\rho^2 = 1 - \frac{\ln L(\beta^{BL})}{\ln L(0)}$$

¹ Il segno dei coefficienti indica la relazione tra la variabile dipendente da quella indipendente, ovvero la probabilità di scelta.

$$\bar{\rho}^2 = 1 - \frac{\ln L(\beta^{BL}) - N_{\beta}}{\ln L(0)}$$

Con N_{β} = numero di coefficienti stimati.

I valori di ρ^2 variano da una capacità riproduttiva del modello nulla pari a 0 a una capacità riproduttiva del modello pari a 1.

BIOGEME indica inoltre un valore di ρ^2 pari a 0,671 e $\bar{\rho}^2$ pari a 0,668, che rappresentano statisticamente un valore piuttosto elevato, dimostrando una buona capacità di riprodurre le scelte fatte dal campione.

6.4 Osservazione sui risultati

Le osservazioni che possono essere fatte riguardo ai dati restituiti da BIOGEME relativi all'esperimento SP condotto sono le seguenti:

- I valori β calcolati dal software risultano, almeno per quanto riguarda il segno, coerenti con la letteratura di riferimento. Riportano segno negativo infatti i coefficienti degli attributi che sono percepiti come un costo (costo del bus, tempo a bordo, frequenza, costo del parcheggio) per l'utente, hanno segno positivo gli altri attributi (Sistema di informazioni, comfort), ad eccezione dell'attributo relativo al tempo impiegato per raggiungere la fermata.
- Dai valori dello *standard error* restituiti dal software, è possibile capire come variano i singoli valori rispetto alla media. Questo comporta che in corrispondenza di valori bassi, si deduce che i risultati di ogni singola risposta sono molto vicini ai risultati finali dell'esperimento. Inoltre, a valori bassi corrisponde un comportamento simile all'interno del campione tra tutti gli utenti. Sulla base di questo presupposto, i valori osservati suggeriscono una discreta omogeneità nel campione scelto, per il quale gli utenti si comportano in maniera più o meno prevedibile.
- I valori ottenuti per i test formali t-student e ρ^2 evidenziano una buona capacità del modello di riprodurre le scelte degli utenti, in corrispondenza dei quali si registrano valori di $\Pr(> |z|)$ prossimi a 0 dimostrando che il modello è in grado di rappresentare con una buona approssimazione la realtà dei dati raccolti, ad eccezione dell'attributo frequenza.

6.5 Rappresentazione del modello

I valori dei coefficienti relativi al modello calcolati attraverso BIOGEME consentono di rappresentare la probabilità di scelta dell'alternativa bus al variare degli attributi tramite il seguente modello:

$$p = \frac{e^{V_1}}{e^{V_1} - e^{V_2}}$$

$$V_1 = -0.380 * Cost_{bus} - 0.232 * Freq_{bus} + 0.552 * Info + 0.868 * Comf - 0.611 * TT_{bus} \\ + 0.392 * Wkt - 0.184 * Wt$$

$$V_2 = -3.10143 + 2 * TT_{auto} + 2 * Cost_{auto} - 1.30052 * Park - 0.140221 * MALE \\ + 0.007736 * AGE + 0.12448 * INCOME + 0.010605 * TITLE + 0.57822 \\ * LICENCE + 0.39225 * AV_{auto}$$

Dove:

- $Cost_{bus}$ = Costo del BUS;
- $Freq_{bus}$ = Frequenza del servizio;
- $Info$ = Sistema di informazioni all'utenza per i servizi BUS;
- $Comf$ = Comfort a bordo, rappresentato dalla disponibilità di posti a sedere;
- TT_{bus} = Tempo di viaggio a bordo del BUS;
- Wkt = Tempo per raggiungere la fermata;
- Wt = Tempo di attesa alla fermata
- TT_{auto} = Tempo di viaggio a bordo dell'AUTO
- $Cost_{auto}$ = Costo dell'AUTO
- $Park$ = Costo del parcheggio
- $MALE$ = Genere
- AGE = Classe di età
- $INCOME$ = Classe di reddito del nucleo familiare
- $TITLE$ = Titolo di studio
- $LICENCE$ = Possesso della patente di guida
- AV_{auto} = Disponibilità del mezzo privato

Le probabilità di scelta dell'alternativa bus può essere calcolata al variare di un singolo attributo, mantenendo costanti tutti gli altri. Per il calcolo della probabilità di scelta delle alternative, per gli attributi da mantenere costanti sono stati utilizzati i valori relativi al sistema di trasporto pubblico dell'area di studio, in modo da ottenere una stima quanto più possibile vicina alla situazione attuale. L'impatto della variazione dei livelli degli attributi (X_k) sulla variazione percentuale della probabilità di scelta dell'alternativa bus ($p[j]$) è stato valutato in termini di elasticità, calcolata come:

$$E_k^{d[j]} = \frac{\Delta p[j]}{p[j]} / \frac{\Delta X_k}{X_k}$$

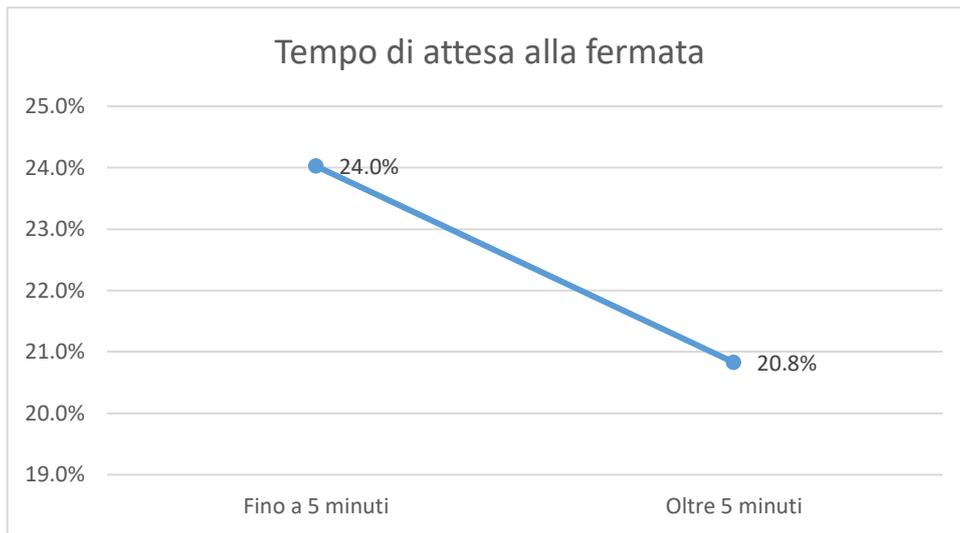


Grafico 18 - Variazione della probabilità di scelta dell'alternativa bus al variare del tempo di attesa alla fermata

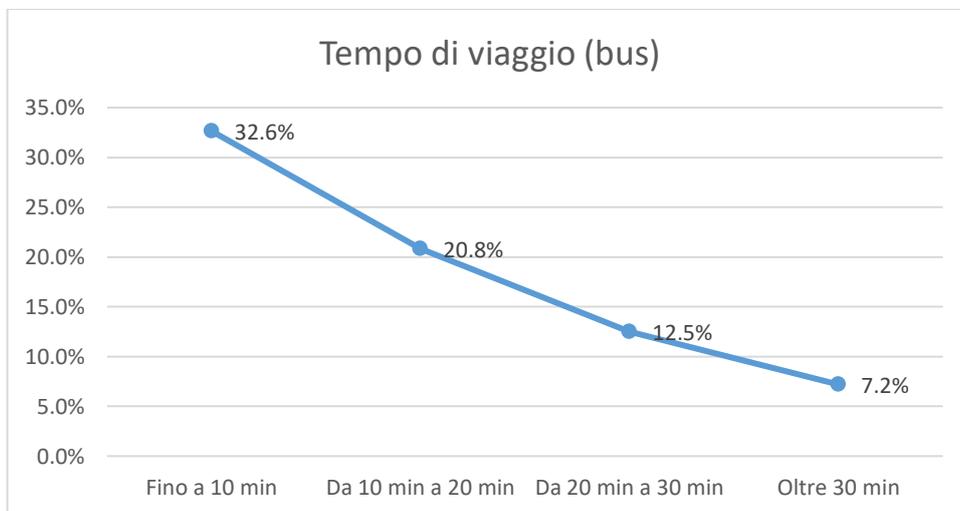


Grafico 19 – Variazione della probabilità di scelta dell'alternativa bus al variare del tempo di viaggio

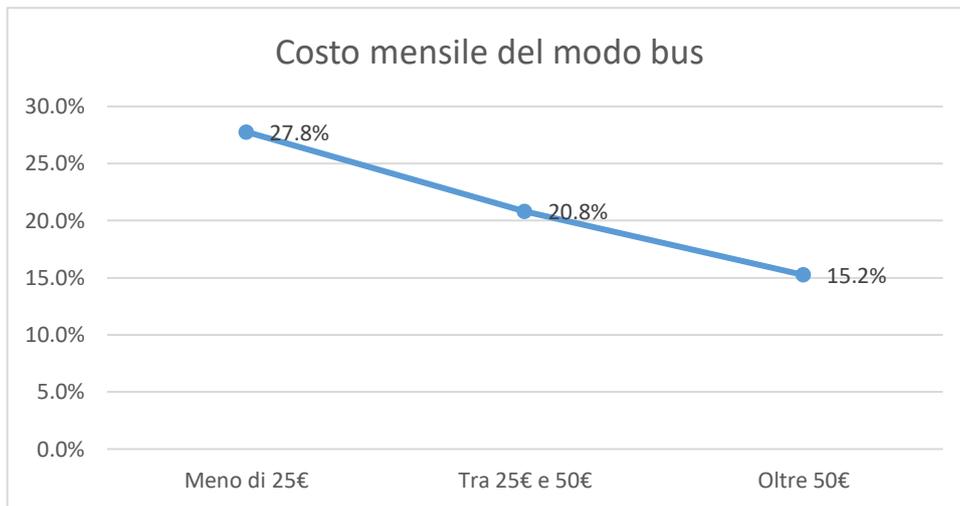


Grafico 20 - Variazione della probabilità di scelta dell'alternativa bus al variare della spesa mensile per il modo bus

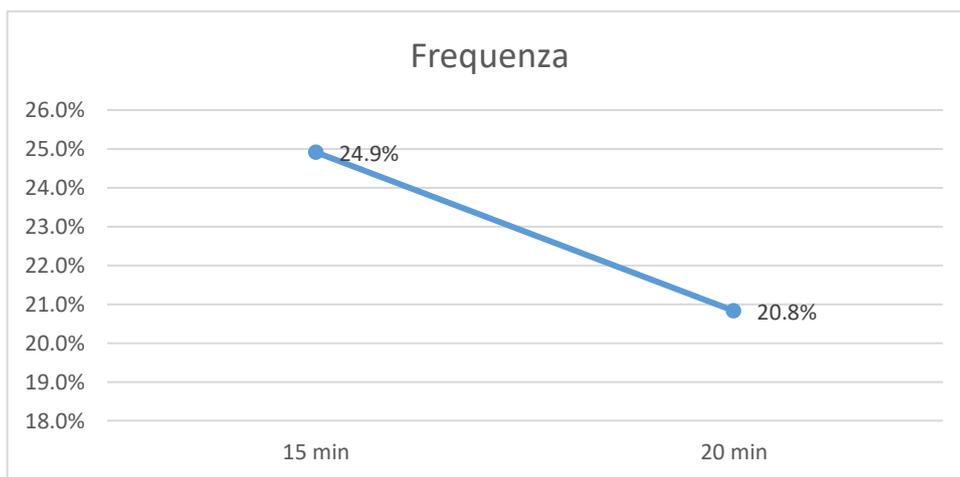


Grafico 21 - Variazione della probabilità di scelta dell'alternativa bus al variare della frequenza

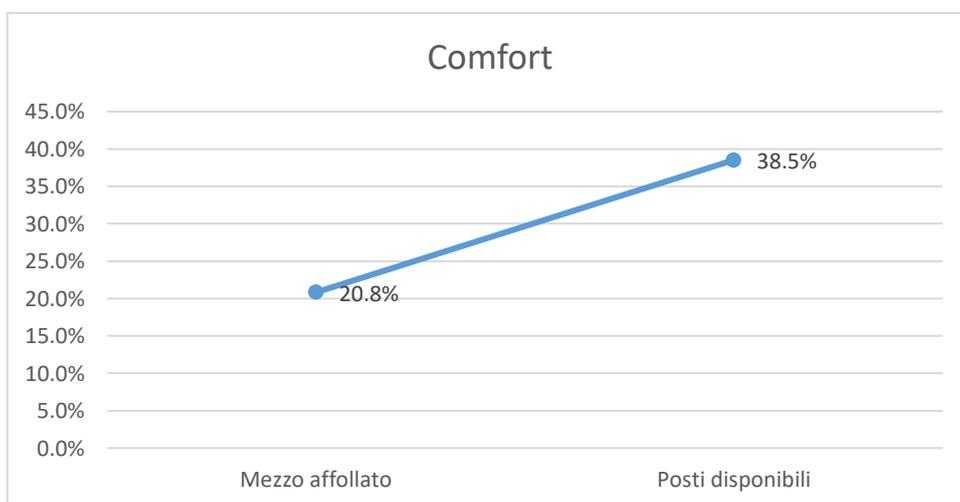


Grafico 22 - Variazione della probabilità di scelta dell'alternativa bus al variare del comfort

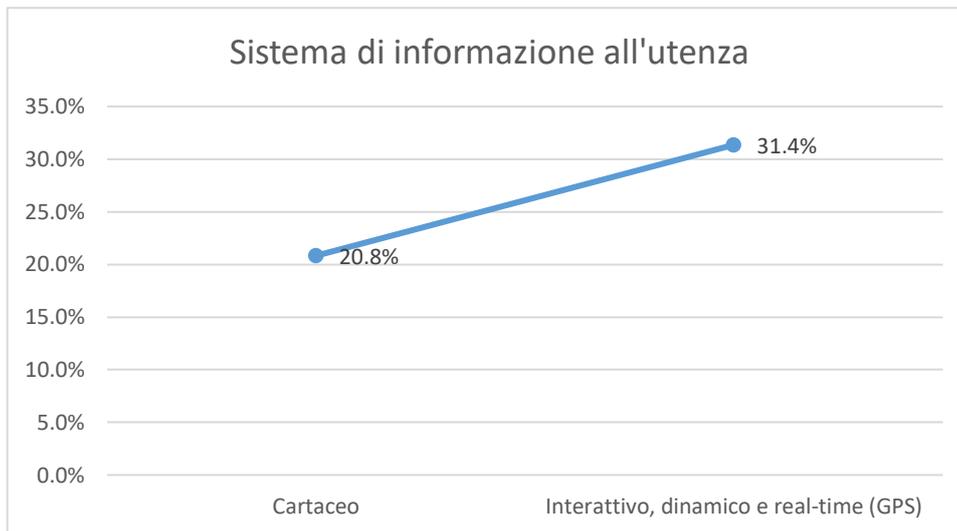


Grafico 23 - Variazione della probabilità di scelta dell'alternativa bus al variare del sistema di informazione all'utenza

Per quanto riguarda l'attributo *waiting time* (tempo di attesa alla fermata), un tempo di attesa inferiore ai 5 minuti favorisce un miglioramento in termini di *shift* modale verso il bus del 3,2%. Questo valore è infatti considerato accettabile e identifica un livello di servizio adeguato dal punto di vista della puntualità (*reliability*) secondo il Transit Capacity and Quality of Service Manual, che considera puntuale un servizio che rispetta l'orario programmato da un minuto in anticipo fino a 5 minuti di ritardo.

Il *tempo di viaggio* a bordo del mezzo è considerato fondamentale dal punto di vista dell'utente, come si evince dal grafico di variazione dello *shift* modale. Aumentando infatti il tempo di viaggio da 20 a 30 minuti, lo *split* modale passerebbe dal 20,8% al 12,5%, perché una buona parte degli utenti considererebbe il bus meno competitivo.

Anche la diminuzione del *costo* dei titoli di viaggio influisce positivamente sulla scelta del modo bus, favorendo uno *shift* del 7% per una spesa totale mensile inferiore a 25€.

Per la *frequenza* si registra un valore di elasticità diretta pari al 4,1%, leggermente inferiore rispetto all'impatto positivo degli altri attributi sulla probabilità di scelta del bus.

Il *comfort*, misurato nell'esperimento come la disponibilità di posti a sedere all'interno del mezzo pubblico, viene percepito dagli utenti come un attributo fondamentale nel processo di scelta della modalità di trasporto. Tale attributo ha registrato infatti il valore più significativo in termini di elasticità, spostando la quota modale di 17,7 punti percentuali verso il bus.

L'impatto di un sistema di informazioni avanzato basato su tecnologie mobile, con la possibilità di localizzare l'utente e fornire informazioni dinamiche sulla posizione dei mezzi, influisce in maniera determinante sullo *shift* modale nella misura positiva del 10,6% per l'alternativa di scelta bus.

Il punto di vista degli utenti è fondamentale ai fini della valutazione dei diversi attributi che compongono il servizio di trasporto pubblico in quanto rappresentano i reali utilizzatori del sistema. Un servizio di trasporto pubblico è caratterizzato da diversi aspetti e fattori che influenzano le scelte degli utenti; l'eterogeneità delle diverse percezioni degli utenti spiega la natura qualitativa di alcuni aspetti caratterizzanti il servizio e i differenti comportamenti degli utenti nelle scelte del modo di trasporto.

I coefficienti calcolati consentono la classificazione degli attributi in base al loro peso, che rispecchia la rilevanza percepita da parte degli utenti intervistati. Questo aspetto si riferisce a un caso generale, per ogni caso specifico a cui verrà applicato il metodo è necessario fare osservazioni particolari. Il risultato generale dell'esperimento può essere comunque utilizzato come indicazione preliminare per qualsiasi servizio di trasporto pubblico che si voglia analizzare per migliorarne le prestazioni.

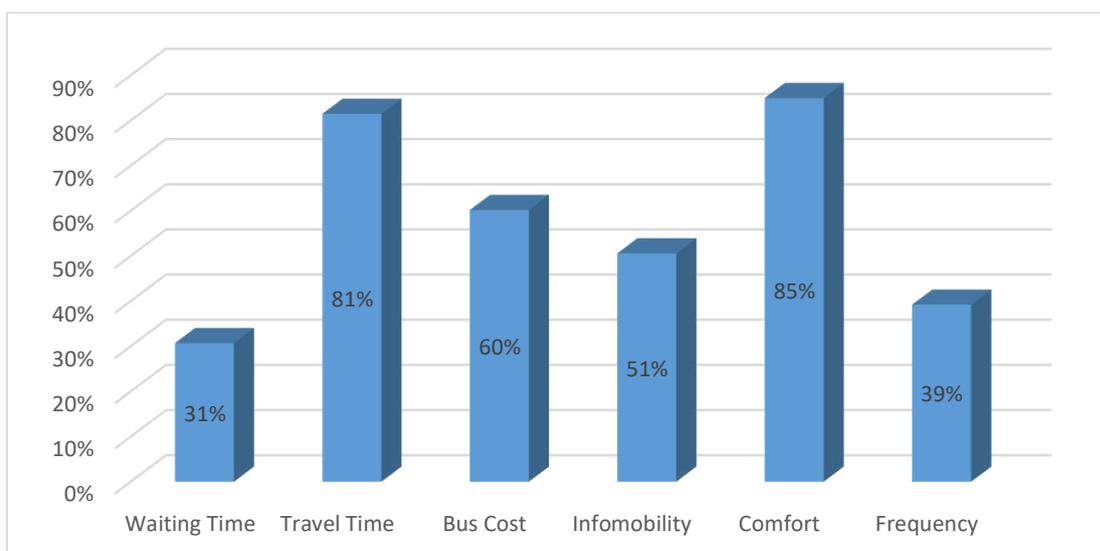


Grafico 24 - Classificazione attributi del servizio di Trasporto Pubblico Locale per elasticità diretta

Il grafico 24 evidenzia gli attributi *comfort* e *tempo di viaggio* come più importanti per gli utenti, i quali hanno rilevanza quasi doppia rispetto al *tempo di attesa* e alla *frequenza* del servizio. La presenza di un sistema di informazione all'utenza per il trasporto collettivo viene percepito come fattore determinante per la scelta del mezzo pubblico, ancor più se utilizzato per ricevere informazioni sul tempo stimato e sulla disponibilità di posti a sedere.

CONCLUSIONI

Lo studio condotto ha inteso approfondire la tematica dell'orientamento della domanda di mobilità verso modi di trasporto sostenibili. È stato analizzato l'impatto che una serie di attributi delle alternative di scelta generano sulla scelta del modo, con particolare riferimento ai sistemi avanzati di informazione all'utenza per il trasporto collettivo che possono essere sviluppati sulla base delle informazioni condivise da parte delle aziende e degli utenti stessi.

Per garantire oggettività all'interno della metodologia definita, è stato eseguito il processo di calibrazione di un modello comportamentale di tipo Logit. Questi modelli simulano il comportamento degli utenti in relazione alle caratteristiche delle alternative proposte attraverso la definizione di una funzione specifica per ogni alternativa. Il processo di calibrazione ha consentito di effettuare una stima dei coefficienti moltiplicatori degli attributi presenti all'interno delle funzioni, fornendo una misura della rilevanza di ogni attributo per il campione di utenti.

Per la calibrazione del modello è stato necessario sviluppare un'indagine di preferenze dichiarate (SP) che ha interessato un campione di circa 650 utenti afferenti all'area di studio. Le indagini sono state svolte attraverso l'implementazione di un questionario web-based, che ha affiancato la modalità classica di compilazione di questionari cartacei.

La calibrazione è stata effettuata attraverso l'utilizzo del software Open Source Biogeme, che ha fornito una stima dei coefficienti moltiplicativi eseguita con il metodo della massima verosimiglianza. È stata eseguita una procedura di validazione del modello sia con test informali (segno dei coefficienti e rapporti reciproci, *Value of Time*), sia con test formali (*t-student test*), che ha consentito una verifica di ragionevolezza e di significatività dei parametri stimati, nonché la capacità del modello di riprodurre le scelte effettuate dagli utenti intervistati.

La fase conclusiva ha riguardato la valutazione dell'impatto di ogni attributo sulla scelta dell'alternativa bus. Il dato di variazione della probabilità di scelta dell'alternativa bus per ogni attributo rappresenta un elemento fondamentale nei processi decisionali di pianificazione e progettazione dei sistemi di trasporto, in quanto fornisce indicazioni sulla priorità di azioni da compiere per individuare gli interventi sul sistema dei trasporti o su parti di esso al fine di raggiungere l'obiettivo dello sviluppo di una mobilità sostenibile.

Queste informazioni, infatti, possono essere utilizzate per la stima dei rapporti costi/benefici nell'ambito degli studi di fattibilità economica dei piani di mobilità. La disponibilità dei dati da parte delle aziende di trasporto pubblico locale nei confronti di istituzioni, enti di ricerca, università e

soggetti interessati a studiare gli spostamenti urbani facilita la comprensione e rende più efficienti le soluzioni per la sostenibilità del sistema della mobilità urbana.

La modellazione della domanda di mobilità contestualizzata all'ambito di studio ha consentito di analizzare il fenomeno nella sua configurazione attuale e di stimare l'effetto sullo split modale prodotto dalla variazione del livello di servizio di alcuni attributi.

Considerando i coefficienti stimati attraverso il modello LOGIT e facendo riferimento ai livelli attuali degli attributi scelti in fase di calibrazione, le probabilità di scelta si attestano per il bus al 20,8% e per l'auto al 79,2%, in linea con la media nazionale delle città di uguali dimensioni, come riportato nell'immagine sotto.

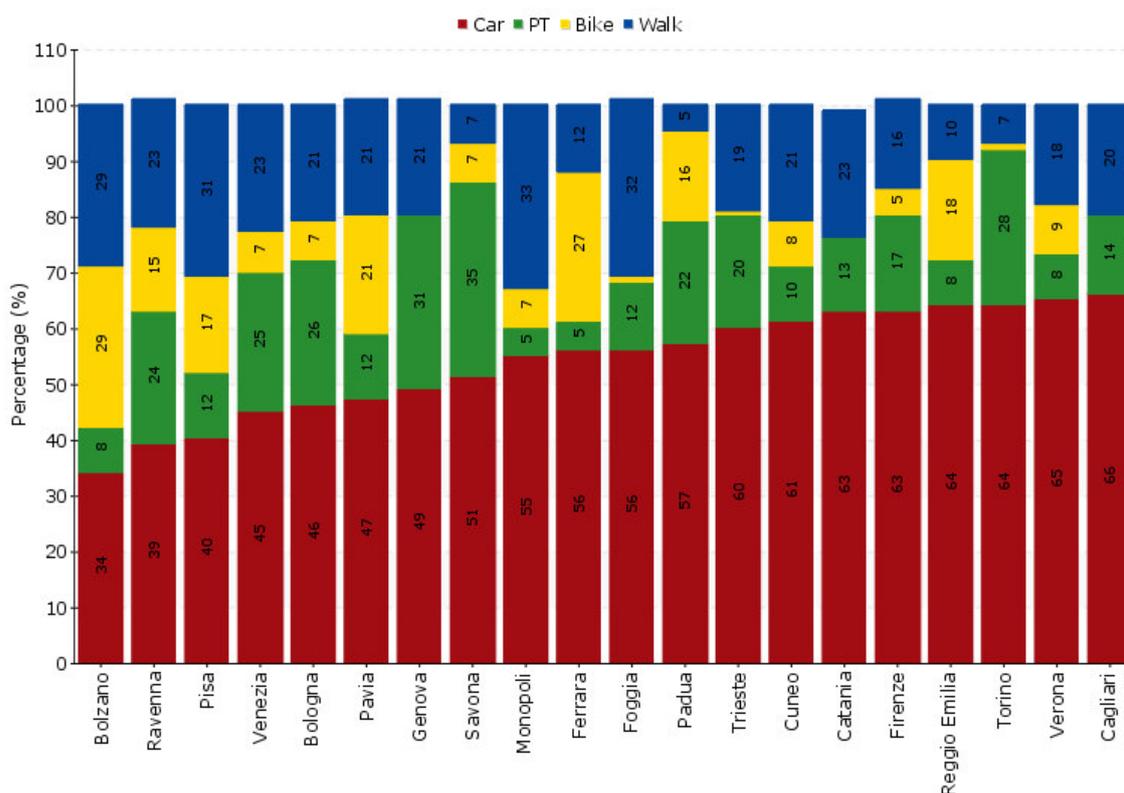


Grafico 25 - Ripartizione modale nelle principali città italiane (Fonte: epomm.eu)

Il dato è tuttavia poco confortante se paragonato alla media delle città europee *best practice* per la mobilità sostenibile; l'auspicata riduzione del divario negli indicatori sulla mobilità urbana fra l'Italia e l'estero richiede necessariamente un riposizionamento della domanda di mobilità privata su gomma. Tale squilibrio modale è sicuramente causa e conseguenza dell'elevato numero di autovetture per abitante che contraddistingue quasi tutte le città italiane (circa 61 vetture/100 abitanti, fonte ACI 2012). Le cause di un elevato tasso di motorizzazione privata potrebbero essere imputate a un sistema di trasporto pubblico poco competitivo rispetto al mezzo proprio.

Nello specifico, i servizi di trasporto pubblico nell'area di studio, in termini di livello di qualità del servizio, sono caratterizzate da prestazioni soddisfacenti. In un lavoro precedente (Guido 2016), sono stati misurati i parametri di qualità dei servizi di trasporto pubblico dell'area di interesse, evidenziando livelli di servizio piuttosto elevati rispetto ai valori medi di riferimento della letteratura (Transit Capacity and Quality of Service Manual, 2013).

Probabilmente accanto a sistemi di trasporto pubblico competitivi sono necessarie strategie mirate alla promozione dei servizi, attraverso la gestione delle informazioni di trasporto con sistemi innovativi per la pianificazione della mobilità individuale dinamica.

La stima del modello ha fornito una misura oggettiva dell'impatto che hanno determinati attributi sulla scelta del mezzo di trasporto, evidenziando un trasferimento modale ipotetico dell'11,6% verso il modo collettivo a seguito dell'introduzione di un sistema di informazione all'utenza interattivo.

L'indagine ha inoltre fornito una base conoscitiva utile alla valutazione delle strategie di sviluppo della piattaforma, per l'ottimizzazione delle risorse disponibili e la massimizzazione del livello di gradimento generale degli utenti. A scopo dimostrativo, sono stati implementati alcuni moduli della piattaforma per la simulazione dei servizi di trasporto pubblico nell'area di studio, sulla base delle preferenze espresse dagli utenti intervistati.

La presenza sul territorio di circa 40'000 studenti identifica la conurbazione di Cosenza e Rende come un'area perfetta per la sperimentazione dei servizi digitali e degli open data, considerato che questa fascia di utenti è abituata all'uso di social network, applicazioni mobili e communities. Con l'utilizzo delle tecnologie di localizzazione degli elementi del sistema (utenti, mezzi, punti di interesse sul territorio, ecc.) e la disponibilità degli utenti alla condivisione di informazioni (*crowd-sourced data*), unitamente ai dati forniti dalle aziende di trasporto, si andrebbe a delineare un panorama completo e dettagliato della situazione dei trasporti.

Con questi presupposti infatti, l'implementazione di una piattaforma sviluppata secondo la logica di centralizzazione delle informazioni di mobilità in collaborazione con gli Enti gestori dei servizi di trasporto pubblico locale, consentirebbe di disporre di uno strumento avanzato di pianificazione strategica per l'ottimizzazione della domanda di spostamento veicolare, con l'obiettivo di ridurre le distanze percorse e promuovere l'utilizzo di modi sostenibili (mezzi collettivi).

BIBLIOGRAFIA

- [1] Ezell, S. 2010. Explaining International IT Application Leadership: Intelligent Transportation Systems. Retrieved January 16, 2014, from ITIF: https://www.itif.org/files/2010-1-27-ITS_Leadership.pdf.
- [2] Gotzenbrucker, G. and Kohl, M. 2011. Sustainable Future Mobility by ICTs. The impacts of Advance Traveler Information Systems on mobility behavior. 8th ITS European Congress, 1-15.
- [3] World Road Association. 2002. Road Network Operations Handbook 2002. World Road Association.
- [4] Nagaraj, U. 2011. Intelligent Public Transport Information System. International Journal on Computer Science and Engineering (IJCSSE), 3, 2635 - 2641.
- [5] Hyejung, H. 2009. Measuring the Effectiveness of Advanced Traveler Information Systems (ATIS). Raleigh, North Carolina: North Carolina State University.
- [6] Lively, D. and Elhamshary, O. (2005). 551 Deployment Coalition. Lessons Learned From Advanced Traveler Information Systems: Applications for Emergency Management and Long Term Disaster Recovery: www.deploy511.org.
- [7] Gentile, G., Noekel, K. 2016. Modelling Public Transport Passenger Flows in the Era of Intelligent Transport Systems. Springer ISBN 978-3-319-25082-3.
- [8] ASSTRA - Associazione Trasporti. <http://www.asstra.it/>.
- [9] Programma Elisa. 2012. Progetto Infocity, "Indagine sull'infomobilità: I Sistemi di Trasporto Intelligenti (ITS) negli Enti Pubblici del Programma Elisa".
- [10] Cascetta, E. 2006. Modelli per i sistemi di trasporto. Teoria e applicazioni. UTET, Novara.
- [11] Nuzzolo, A. 2003. "Modello di domanda di trasporto", dispense per il corso di Progettazione dei sistemi di Trasporto, Roma.
- [12] Martinis, P. 2003. "Appunti di pianificazione dei trasporti", dispense per il corso di Pianificazione dei trasporti, Trieste.
- [13] Maja, R. 2011. "Modellizzazione e simulazione dei trasporti", dispense per il corso di Tecnica ed economia dei trasporti, Milano.
- [14] Agresti, A. 2002. "Categorical Data Analysis", Wiley Interscience, Hoboken, New Jersey.
- [15] Ortùzar, J. D., Willumsen, L. G., 2006. "Pianificazione dei sistemi di trasporto", Ulrico Hoepli Editore, Milano.
- [16] Mazzulla, G., Eboli, L. 2012. The Influence of Service Quality Factors in the Preferences Concerning the Use of Car and Bus. Italian Journal of Regional Science. Vol. 11 – n. 3, 2012, pp. 75-92.

- [17] Mazzulla, G., Eboli, L. 2008. Willingness-to-pay of public transport users for improvement in service quality. *European Transport* n. 38 (2008): 107-118.
- [18] Carbone, A., Carteni, A., Cascetta, E. 2013. La progettazione quality based nel trasporto pubblico locale. Il sistema di metropolitana regionale della Campania. *Ingegneria Ferroviaria*, a. LXVIII, n. 3, marzo 2013.
- [19] Wittink, D., Krishnamurthi, L., Nutter, J. 1982. Comparing derived importance weight across attributes. *J Consum Res* (1982) 8 (4): 471-474.
- [20] Waters, N.M. (1999) *Transportation GIS: GIS-T*. In P.A. Longley, M.F. Goodchild, D.J. Maguire, and D.W. Rhind, editors, *Geographical information systems: Principles, techniques, management and applications*. New York: Wiley, pp. 827–844.
- [21] Bosetti, S., Maroni, D., Rinaldi, M. 2003. *I Sistemi Informativi Geografici per I Trasporti*. Quaderno n. 6, *Ricerche Trasporti*, Milano.
- [22] Burrough, P.A. 1986. *Principles of Geographic Information Systems for Land Resource Assessment*. Monographs on Soil and Resources Survey No. 12, Oxford Science Publications, New York.
- [23] Date, C.J. 1995. *An Introduction to Database Systems*, 6th ed. Reading, MA: Addison-Wesley.
- [24] Balakrishnan, V. K. 1997. *Graph Theory*, McGraw-Hill; Edition 1.
- [25] Goodchild, M.F. 1998. Geographic information systems and disaggregate transportation modeling. *Geographical Systems* 5(1–2): 19–44.
- [26] Miller, H.J., Shaw, S.L. 2001. *Geographic Information Systems for Transportation: Principles and Applications*. New York, Oxford University Press.
- [27] Friedrich, M. 2004. *Prospects of Transportation Modelling*, CD-ROM, Proceedings of 2nd International Symposium Networks for Mobility, Stuttgart.
- [28] Sanko, N. 2001. *Guidelines for Stated Preference Experiment Design*. Professional Company Project in Association with RAND Europe. Project Period: Aug. 1, 2001 – Nov. 30, 2001.
- [29] Transportation Research Board. 2013. *Transit capacity and quality of service manual*. TCRP Report 165, National Academy Press, Washington, D.C.
- [30] Nathanail, E., 2008. Measuring the quality of service for passengers on the Hellenic railways. *Transportation Research Part A* 42, 48–66.
- [31] Transportation Research Board, 2003b. *Transit Capacity and Quality of Service Manual*. TCRP Report 100. National Academy Press, Washington, D.C.
- [32] Transportation Research Board, 2003a. *A Guidebook for Developing a Transit Performance-Measurement System*. TCRP Report 88. National Academy Press, Washington, DC.
- [33] Guido, G., Vitale, A., Rogano, D. 2016. A smartphone based DSS platform for assessing transit service attributes. *Public Transport*. 8: 315.

- [34] Bliemer, M.C.J., and Rose, J.M. 2011. Experimental design influences on stated choice outputs: an empirical study in air travel choice. *Transportation Research* 45A, 63-79.
- [35] Louviere, J.J., Hensher, D.A. and Swait, J. 2000. *Stated Choice Methods*, Cambridge University Press, Cambridge.

SITOGRAFIA

<http://www.istat.it/it/>

<http://dati.istat.it/>

<https://www.istat.it/it/prodotti/banche-dati>

<https://www.istat.it/it/popolazione-e-famiglie>

<http://www.istat.it/it/strumenti/territorio-e-cartografia/sistemi-locali-del-lavoro>

<https://www.qgis.org/it/site/>

<https://www.postgresql.org/>

<http://www.postgis.net/>

<http://pgrouting.org/>

<http://www.trasportiambiente.it/tpl.html>

<http://www.epomm.eu/index.php>

<http://www.aci.it/>

<https://www.viamichelin.it/>

<https://www.wired.com/2011/04/how-smartphones-can-improve-public-transit/>

<http://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2013/03/26/13A02463/sg>

<http://www.spatial.cs.umn.edu/sdm.html>

<https://msdn.microsoft.com/en-us/library/ff649643.aspx>

<http://www.html.it/pag/18299/il-pattern-mvc/>

<https://developer.android.com/guide/topics/ui/index.html>

<http://www.w3schools.com/html/>

http://www.w3schools.com/css/css3_intro.asp

http://www.w3schools.com/xml/ajax_intro.asp

<https://angularjs.org/>

<https://developers.google.com/transit/gtfs/>

<http://www.gtfs-data-exchange.com/>

<http://transmodel-cen.eu/>

<https://www.gov.uk/government/collections/transxchange>

<https://analytics.google.com/analytics/web/>

<https://www.limesurvey.org/>

<http://biogeme.epfl.ch/home.html>

<https://www.python.org/>