DOTTORATO DI RICERCA IN INGEGNERIA

XXIX CICLO DEL CORSO DI DOTTORATO

Metodi e modelli per sistemi avanzati di supporto alla mobilità

Dottorando: Sergio Maria Patella

Docente Guida: Prof. Marco Petrelli

Co-Tutore: Prof. Stefano Carrese

Coordinatore: Prof. Gianmarco De Felice

Collana delle tesi di Dottorato di Ricerca
In Scienze dell'Ingegneria Civile
Università degli Studi Roma Tre
Tesi n° LXV

Sommario

Nel corso degli ultimi decenni la mobilità mondiale ha vissuto un'evidente trasformazione culturale e tecnologica. In particolare si osserva una crescente diffusione e diversificazione sia dei sistemi informativi di supporto sia di nuove forme di mobilità condivisa. Infatti, i moderni *Advanced Traveller Information Systems* (ATIS) e la *sharing mobility* sono ormai realtà consolidate dalle quali lo studio dei fenomeni trasportistici non può prescindere.

Il presente lavoro in primo luogo descrive teoricamente e attraverso diverse applicazioni, il ruolo dei modelli a scelta discreta per lo studio del comportamento dell'utenza nei riguardi degli ATIS e di recenti sperimentazioni di forme di mobilità condivisa. Se da un certo punto di vista i modelli comportamentali sono uno strumento fondamentale nell'ambito dell'ingegneria dei trasporti, il grande sviluppo tecnologico in termini di risorse di mobilità e di sistemi di informazione all'utenza ha reso il problema della scelta modale molto complesso da un punto di vista modellistico. La canonica ripartizione modale e la scelta del percorso sono infatti influenzati in misura non più trascurabile dall' ampio ventaglio di risorse di mobilità disponibili e dalla crescente affidabilità dei sistemi informativi.

La scelta modale, ampiamente studiata nell'ambito della catena degli spostamenti, è soggetta ad un ulteriore e crescente complessità dovuta alla numerosità dei modi di trasporto disponibili e alle loro diverse combinazioni intermodali. Si osserva dunque un contesto di scelta che, oltre ad essere caratterizzato da una grande diversificazione modale, è suscettibile alla variazione dinamica delle risorse di trasporto di cui l'individuo piò disporre durante lo svolgimento della catena degli spostamenti.

Alla luce di queste osservazioni, l'elemento di innovazione sta nell'aver considerato che le disponibilità modali non vanno trattate come un bene statico, sempre accessibile all'utente; bensì si tiene conto di una variazione dinamica del suo insieme di scelta durante lo svolgimento della catena di attività.

L'approccio suggerito trova applicabilità sia in fase di modellazione della domanda di trasporto sia nell'ambito della tecnologia informativa,

sottolineando la necessità di un approccio integrato tra gli Activity Based Models (ABM) e gli ATIS. Con particolare riferimento a quest'ultimo aspetto, l'insieme di attività che compongono la catena quotidiana dell'utente così come le sue specifiche risorse di mobilità sono considerate congiuntamente nella definizione di un metodo implementabile in un sistema informativo dinamico.

La questione fondamentale affrontata è quella di capire come si possa definire un sistema che riesca a tenere conto delle reali disponibilità modali dell'individuo durante l'evoluzione del il suo *trip chaining*. Per questo scopo viene proposto un framework dove l'analisi dei dati di mobilità di uno specifico contesto, l'applicazione di un modello comportamentale e le caratteristiche dinamiche, vengono implementate nella metodologia per risolvere i problemi di tipo computazionale e modellistico relativo alle scelte intermodali.

Proprio in virtù della natura combinatoria delle scelte intermodali, i dispositivi ATIS attualmente in uso forniscono soluzioni intermodali fisse e che non considerano tutte le risorse di mobilità di cui eventualmente l'utente dispone. Da un punto di vista dinamico, si osserva che il ventaglio di soluzioni modali (modo singolo o combinazioni) dipende strettamente dalle risorse effettivamente possedute dall'utente e dall'evoluzione della sua catena di spostamenti. Se normalmente il passaggio concettuale tra la statica e la dinamica rende i problemi relativi alla modellazione dei trasporti più complessi, stavolta paradossalmente il caso dinamico semplifica il problema statico che è intrattabile a livello computazionale. Inoltre, attraverso un'analisi aggregata dei dati è possibile definire un insieme di alternative di trasporto entro il quale l'utente fa la scelta che massimizza la sua utilità.

La metodologia proposta considera tre caratteristiche fondamentali: le risorse di mobilità possedute dall'utente variano dinamicamente; il soggetto decisore ha specifiche abitudini di mobilità; l'evoluzione della catena di attività quotidiana.

L'insieme di risorse possedute dall'individuo definiscono un *portfolio di mobilità* il cui possesso "consente" all'utente di usufruire di determinati modi di trasporto. Questo concetto, recentemente introdotto in letteratura, fornisce interessanti spunti di riflessione per definire un modello comportamentale per la stima del portfolio.

Abstract

Over the last decades, world mobility has witnessed a clear cultural and technological transformation.
In particular, there is a growing diffusion and diversification of both information support systems and new forms of shared mobility. In fact, the modern *Advanced Traveler Information Systems* (ATIS) and the *Sharing Mobility* are now well established and they have become crucial aspects in transportation modelling.
This work describes, theoretically and through various applications, the role of discrete models for the study of users' behavior towards the ATIS and towards recent experiments of sharing mobility. While on some level, behavioral models are a key tool in transport engineering, the great technological development of both the sharing mobility and the ATIS has made the mode choice problem very complex from the modelling standpoint. In fact, the traditional mode split has become considerably affected by the wide range of available mobility resources and the increasing reliability of information systems.
The mode choice, largely studied at the trip chaining level, is subject to a growing complexity due to the variety of modes available and to their various intermodal combinations. There is therefore a context of choice, which besides being characterized by a great mode diversification, is susceptible to the dynamic variation of the mobility resources available by the individual during the trip chaining.
In the light of these observations, the innovative aspect proposed is that mode availability should not be treated as a static good that is always accessible by the user; but it is taken into account that a dynamic variation of the choice set can be observed while unfolding the activity chain of each user.
The suggested approach finds applicability both in the modeling of transport demand and information technology, underlining the need for an integrated approach between Activity Based Models (ABM) and ATIS. With particular reference to this latter aspect, the set of activities that make up the chain as well as user's specific mobility resources are considered jointly in defining a method that can be implemented in a dynamic information system. The main issue this study analyze is how a dynamic

information system can be profiled on actual user mode requirements and availabilities and how it can be able to accompany the individual during the whole daily trip chaining.

For this purpose it is defined a framework were the aggregate analysis of data, the behavioral model and the dynamic features are implemented in the method to solve computational and modelling problems related to intermodal travel choices.

The combinatorial nature of intermodal choices has so far made the problem approachable only from a static point of view; in fact, the aforementioned devices provide fixed intermodal solutions and do not consider all the mobility resources held by the user. However, if we approach the issue by a dynamic point of view, we observe that the range of modal solutions (single mode or combinations) depends heavily on the resources actually owned by the user and on the evolution of the trip chaining. While normally, the conceptual leap from the statics to the dynamics makes transportation modelling problems more complex, this time paradoxically the dynamic approach simplifies the static problem that is intractable from the standpoint of computation. Furthermore, through aggregate data analysis it is possible to define the set of modes within which the user chooses the alternative that maximize their perceived utility.

The methodology takes into account three main features: mobility resources owned by the user change dynamically; the individual has specific mobility habits; the evolution of travelers' activity chain during the day.

The set of resources owned by the individual define a mobility portfolio which 'allows' the user choose certain modes of transport. This concept, recently introduced in the scientific literature, provides interesting insights for the definition of a behavioral model for portfolio estimation.

Indice

Elenco delle figure **VIII**
Elenco delle tabelle **IX**
Introduzione **1**
1 Advanced Traveler Information System **4**
1.1 ATIS: Interpretazione comportamentale 4
1.2 Un'evoluzione degli ATIS: IJP 6
2 Modelli comportamentali **10**
2.1 Introduzione 10
2.2 Formulazione generale 11
2.3 Logit Multinomiale 12
2.3.1 Nested Logit 14
2.3.2 Cross Nested Logit 16
2.4 Modello di ripartizione modale 17
2.4.1 Portfolio di mobilità 19
2.4.1.1 Formalizzazione del modello 21
2.5 Indagini RP e SP 23
3 Studi e applicazioni della teoria dell'utilità aleatoria 25
3.1 Introduzione 25
3.2 Modello di scelta per un servizio telematico 26
3.2.1 Stato dell'arte 27
3.2.2 L'innovazione tecnologica 30
3.2.3 Metodologia 32
3.2.4 Risultati delle indagini 33
3.2.5 Formalizzazione e risultati del modello comportamentale 36
3.3 Modelli di scelta applicati alla sharing mobility 39
3.3.1 Indagine e modello sul car pooling 40
3.3.2 Indagine e modello sul car sharing 46
Errore. L'origine riferimento non è stata trovata. Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.
Errore. Il segnalibro non è definito.
4 Sistemi di supporto dinamici e comportamentali **52**
4.1 Introduzione 52
4.2 Architettura logica di un IJP dinamico 54
4.2.1 Insieme di scelta, valutazione del parametro k e modello comportamentale. Caso studio di Copenaghen 60
4.3 Calibrazione del portfolio offline 67
5 Conclusioni e sviluppi futuri **74**
Bibliografia **76**
Sitografia **83**

Elenco delle figure

Figura 1.1: Esempio di ATIS sul Trasporto Pubblico 7
Figura 3.1: Schema logico del sistema di accertamento 30
Figura 3.2: Classificazione dell'utenza 36
Figura 3.3: Frequenza-età 41
Figura 3.4: Funzionalità del servizio 42
Figura 3.5: Comfort relazionale 43
Figura 4.1: Architettura logica dell'IJP 59
Figura 4.2: Portfolio delle risorse 61
Figura 4.3: Ripartizione modale aggregata 62
Figura 4.4: Ripartizione modale/distanza 63

Elenco delle tabelle

Tabella 2.1: Modi di trasporto abilitato dai portfolio di risorse 20
Tabella 3.1: Attributi forniti dall'indagine RP/SP 37
Tabella 3.2: Funzione di utilità sistematica 38
Tabella 3.3: Risultati della calibrazione 39
Tabella 3.4: Occupazione dichiarata dagli intervistati 41
Tabella 3.5: Risultati della calibrazione 44
Tabella 3.6: Effetto della familiarità 45
Tabella 3.7: Confronto uomo/donna 46
Tabella 3.8: Specificazione degli attributi 50
Tabella 3.9: Risultati della calibrazione *51*
Tabella 4.1: Risultati della calibrazione del modello generale *64*
Tabella 4.2: Ricostruzione del campione *65*
Tabella 4.3: Risultati della calibrazione attività 'work' *68*
Tabella 4.4: Risultati della calibrazione attività 'leisure' *69*
Tabella 4.5: Risultati della calibrazione attività 'service & collect' *70*
Tabella 4.6: Risultati della calibrazione del portfolio *72*

Introduzione

Nel corso degli ultimi decenni la mobilità mondiale ha vissuto un'evidente trasformazione culturale e tecnologica; il concetto di 'sostenibilità' è stato infatti pienamente integrato nell'ambito dei trasporti trovando proprio in esso un vasto campo di applicabilità.
In particolare in ambito urbano il traffico è una delle principali cause di inquinamento ambientale e acustico nonché di ritardi sulla rete stradale. Queste considerazioni, congiuntamente all'aggravio delle spese individuali sostenute per i trasporti a causa di fenomeni di congestione, hanno mosso la comunità di utenti verso un utilizzo più cosciente delle risorse di mobilità e dei sistemi di supporto alle scelte di viaggio.
L'enorme progresso nel campo delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione (ICT) ha permesso lo sviluppo e la diffusione degli *Advanced Traveller Information Systems* (ATIS) e di nuove forme di mobilità condivisa. Infatti, la *Sharing Mobility* così come i moderni ATIS sono ormai realtà consolidate nei trasporti e dalle quali lo studio dei fenomeni trasportistici non può prescindere.
Gli ATIS sono tutti quei sistemi che possono rientrare nella grande categoria degli Intelligent Transportation Systems (ITS) e che servono a fornire all'utenza informazioni sulla mobilità di vario genere.
Inizialmente noti per la loro funzione di navigazione assistita via satellite, questi sistemi ormai coinvolgono l'intero sistema di trasporto mondiale.
I primi esempi di ATIS sono databili intorno ai primi anni '50 con l'inizio della diffusione dei pannelli a messaggio variabile. Un'altra fonte di informazione precedente alla diffusione di internet e del GPS su dispositivi portatili è quella fornita dai canali radio dedicati alla mobilità.
I moderni sistemi ATIS, grazie alla tecnologia GPS, sono estremamente precisi nel valutare i dati cinematici dei veicoli. Offrono dunque una corretta stima dei tempi di viaggio e rappresentano un validissimo strumento di supporto alle decisioni.
L'evoluzione tecnologica degli ATIS, ha mosso l'interesse della comunità scientifica e degli utenti utilizzatori verso una nuova generazione di dispositivi basati sui concetti di rete multimodale e profilazione sull'individuo. L'utenza che desidera scegliere la migliore alternativa in un contesto multimodale si confronta con un ampio set di alternative monomodali e con differenti combinazioni di queste per soluzioni intermodali.
Nel capitolo primo viene dapprima evidenziato il meccanismo generale di scelta del percorso in presenza e in assenza di sistemi informativi e, successivamente, viene sottolineato il ruolo e il contributo scientifico

fornito dall'applicazione dei modelli comportamentali nell'ambito del processo decisionale a seguito di informazioni di tipo *pre-trip* e *en-route*.
Il secondo capitolo affronta a livello concettuale e matematico i modelli comportamentali. Verranno esposti i presupposti concettuali della teoria delle scelte e la formulazione matematica di alcuni dei principali modelli a scelta discreta con un particolare riferimento a quelli utilizzati per le applicazioni descritte nel capitolo terzo circa studi specifici sulla mobilità sostenibile.
I modelli comportamentali si sono rivelati uno strumento imprescindibile nell'ambito della modellazione e previsione delle scelte di mobilità degli utenti. Tuttavia, il crescente utilizzo degli ATIS e delle nuove risorse di mobilità condivisa ha reso i problemi relativi alla scelta modale e alla scelta del percorso più complessi e meritevoli di un approccio che tenga conto del considerevole aumento delle alternative di scelta modale ed anche della crescente affidabilità e diffusione dei sistemi ATIS.
L'esigenza di una semplificazione ma allo stesso tempo della realizzazione di un complesso di strumenti in grado di supportare l'utenza in un'articolata rete di trasporto multimodale, ha portato alla definizione di una nuova categoria di dispostivi detti Intermodal Journey Planners (IJP). Questi sono definiti come dei pianificatori di viaggio intermodale, in grado cioè di suggerire alternative di viaggio costituite da una fase di transizione tra diverse risorse modali.
Sia gli ATIS che gli IJP tuttavia forniscono alla comunità informazioni che non tengono conto delle effettive risorse possedute dall'utente e la cui disponibilità dipende dall'evoluzione della catena di viaggi e di attività quotidiane. In altre parole i sistemi informativi propongono soluzioni, monomodali o intermodali che siano, presupponendo che l'utilizzatore abbia a disposizione tutte le alternative che il sistema contempla. Il possesso di queste in realtà varia per ogni individuo e, inoltre, durante lo svolgimento della sua catena degli spostamenti si verifica una variazione dinamica delle disponibilità modali. La scelta modale viene in questo modo inquadrata nell'ambito degli Activity Based Models (ABM) ovvero di quei modelli di domanda che simulano lo svolgimento della catena di attività e spostamenti di ciascun utente.
Nel quarto capitolo viene definita l'architettura logica e la metodologia per un IJP dinamico ponendo dunque la basi teoriche e tecnologiche per collegare le scelte modali nell'ambito degli Activity Based Models (ABM) e gli ATIS.

L'insieme di attività che compongono la catena quotidiana dell'utente così come le sue specifiche risorse di mobilità sono considerate congiuntamente nella definizione del sistema innovativo. La disponibilità delle risorse di mobilità non è considerata statica ma dinamica in quanto dipende dall'evoluzione delle attività quotidiane.
La questione fondamentale che si vuole affrontare è quella di capire come si possa definire un sistema che riesca a tenere conto delle reali disponibilità modali dell'individuo e accompagnarlo durante tutto il suo *trip chaining*. Per questo scopo viene proposto un framework dove l'analisi dei dati di mobilità di uno specifico contesto, l'applicazione di un modello comportamentale e le caratteristiche dinamiche, vengono implementate nella metodologia per risolvere i problemi di natura computazionale e modellistica delle scelte intermodali.
L'insieme di risorse possedute dall'individuo definiscono un *portfolio di mobilità* il cui possesso "consente" all'utente di usufruire di determinati modi di trasporto. Questo concetto, recentemente introdotto in letteratura, merita un particolare approfondimento e fornisce interessanti spunti di riflessione per definire una specifica metodologia per la stima del portfolio.

1 Advanced Traveler Information System

1.1 ATIS: Interpretazione comportamentale

Inizialmente noti per la loro funzione di navigazione assistita, i sistemi ATIS sono stati studiati fin dai primi anni ’90 secondo un approccio comportamentale con l’obiettivo di prevedere il loro impatto sulle decisioni degli utenti.
L’aspetto che inizialmente è stato oggetto di numerosi studi di settore è quello dell’effetto delle informazioni ottenute attraverso gli ATIS sul processo di scelta del percorso. Il meccanismo comportamentale di scelta del percorso nella sua forma più elementare può essere descritto come segue: l’utente sulla base di informazioni reperibili preventivamente in diversi modi e sulla base di alcuni parametri sperimentati personalmente come i tempi di viaggio, la sicurezza, il numero di intersezioni semaforizzate ecc., e sulla base della familiarità con il percorso, effettua una scelta. Questa viene poi valutata in virtù dei tempi riscontrati. Se questi sono maggiori di quelli attesi l’utente può decidere di modificare le proprie scelte sulla base della nuova esperienza vissuta.
Con l’avanzare delle telecomunicazioni, in particolare internet e la comunicazione satellitare, il meccanismo descritto si è notevolmente modificato. La modellizzazione del processo di scelta del percorso deve infatti contenere al suo interno delle variabili che tengano conto di una nuova tipologia di informazioni ottenibili sia “preventivamente” (o *pre-trip*), ovvero l’utente si informa prima di mettersi in viaggio circa lo stato del traffico, sia “adattivamente” (o *en-route*), ossia contestualmente allo spostamento. Nel meccanismo tradizionale le informazioni erano decontestualizzate dal reale stato della rete; con gli attuali ATIS le informazioni di tipo pre-trip, generalmente ottenute attraverso PC domestici o smartphone, descrivono lo stato della rete in tempo reale fornendo il suggerimento opportuno in virtù della scelta modale impostata dall’utente. Nella fase en-route, prima dell’avvento dei dispositivi portatili dotati di GPS, le informazioni sul traffico potevano giungere all’utenza in modo sporadico e randomico attraverso i pannelli a messaggio variabile o canali radio dedicati; gli ATIS attuali consentono una costante e accessibile valutazione della rete e una conseguente modifica del percorso in tempo reale.

I due diversi livelli della fase di viaggio, cioè quello intenzionale e quello realizzativo, meritano due trattazioni simili ma distinte.
Le informazioni e le decisioni prese *pre-trip* hanno un forte riverbero su tutto il modello a quattro stadi. Infatti in determinate condizioni può accadere che l'utente, a seguito di informazioni preventive circa lo stato del traffico, possa decidere di cambiare scelta modale (in questo caso si risale di uno step nel modello di domanda), oppure di muoversi in un orario differente (anticipo/posticipo) e, in fine, rinunciare allo spostamento (in questo caso si risale al principio del modello di domanda).
Le informazioni ottenute durante la fase di viaggio potrebbero in linea teorica avere lo stesso impatto sul modello a quattro a stadi. Vista però l'oggettiva difficoltà nel simulare in tempo reale variazioni sui modelli generazionali, distributivi e modali, nonché la scarsa verosimiglianza di queste situazioni si tende a valutare solo la possibile variazione del percorso nei riguardi nel trasporto privato. Tale assunzione attualmente trova però meno riscontro nella realtà; infatti proprio in virtù del fatto che gli ATIS di ultima generazione supportano reti multimodali e grazie al diffondersi delle nuove forme di mobilità condivisa, come ad esempio il *car sharing* e il *car pooling*, non si può escludere un cambio di mezzo in tempo reale.
Gli studi di Polak and Jones (1993) si focalizzarono sugli effetti delle informazioni pre-trip utilizzando indagini SP. Evidenziarono la necessità di fare un progresso nei sistemi informativi, che fornivano perlopiù informazioni monomodali, suggerendo sistemi di informazione multimodale.
Khattak et al. (1996) hanno modellizzato la risposta rivelata e dichiarata agli ATIS quando l'utente si scontra con un'inaspettata congestione sulla rete a livello pre-trip. Attraverso questo studio hanno sottolineato l'effetto della qualità e della quantità delle informazioni nella decisione di cambio di modo e di percorso in caso di ritardi inaspettati.
Srinivasan e Mahmassani (2000) hanno introdotto il concetto di inerzia e fiducia (*inertia* e *compliance* nel testo originale), nello studio della scelta di percorso di fronte a informazioni in tempo reale. Hanno assunto che l'inerzia e la fiducia siano due meccanismi comportamentali che possono essere incorporati nei meccanismi di scelta del percorso in tempo reale. Il loro studio ha evidenziato che entrambi questi meccanismi sono influenzati dallo stato della rete, da passate esperienze dei viaggiatori, da misure di performance del sistema e dalla qualità dell'informazione. I due meccanismi comportamentali, fiducia e inerzia, riflettono rispettivamente

la propensione di un utente a rispettare le informazioni fornite dai sistemi di informazione avanzati (ATIS), e la tendenza degli utenti a continuare nei loro percorsi o più in generale nelle loro scelte di viaggio abituali.
Attraverso l'utilizzo di un simulatore interattivo, la cui tecnologia è definita da Chen e Mahmassani (1993), Hani S. Mahmassani e Yu-Hsin Liu (1999) hanno inoltre investigato gli effetti delle scelte sugli orari di partenza nei viaggi sistematici nell'ambito del *day-to-day travel behaviour* in risposta ad informazioni real time. Gli effetti della qualità di queste informazioni sui meccanismi di scelta sono stati approfonditi da Chen et al. (1999) sia a livello pre-trip che en route; l'analisi si è focalizzata su tre aspetti caratterizzante il dispositivo ATIS: la natura dell'informazione (descrittiva o prescrittiva), la sua affidabilità (sintetizzata in sei livelli) e il tipo di feedback che il dispositivo fornisce all'utilizzatore ex post facto. Un altro aspetto evidenziato da Srinivasan e Mahmassani (1999) è quello del ruolo della congestione nei processi di cambio del percorso. Il loro studio ha mostrato che la tendenza al cambio di percorso en-route non varia sensibilmente al variare dei livelli di congestione; al contrario, la variazione di percorso preventiva è suscettibile ai livelli di congestione sperimentati precedentemente. I risultati della letteratura scientifica riportata rinforzarono ulteriormente la spinta tecnologica verso una nuova generazione di ATIS in grado di supportare reti multimodali.

1.2 Un'evoluzione degli ATIS: IJP

I canonici ATIS forniscono informazioni separate tra i diversi modi di trasporto. Le informazioni possono interessare il trasporto pubblico, quello privato, quello ciclistico e quello pedonale.
Nei sistemi attualmente più in uso vengono fornite le diverse alternative modali, con i rispettivi tempi e costi, come un set di scelta tra alternative mutualmente escludentesi. Il soggetto decisore eventualmente, sulla base delle proprie disponibilità modali, può autonomamente organizzare un viaggio intermodale, che preveda cioè l'utilizzo di più mezzi in sequenza. Un esempio può chiarire meglio il concetto espresso. Si supponga il seguente viaggio, osservabile in Figura 1.1.
Origine: Via Vincenzo Bellini, 00198, Roma
Destinazione: Via Vito Volterra 00146, Roma
Modo: Trasporto pubblico

Il sistema ATIS interrogato fornisce diverse soluzioni. La più veloce, indicata in blu, prevede l'utilizzo della metropolitana.

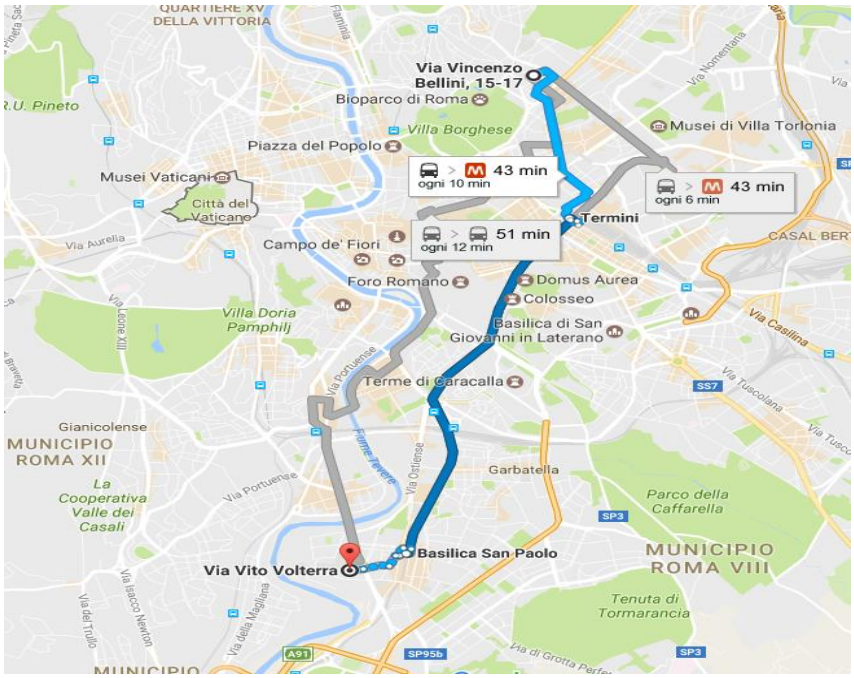

Figura 1.1: Esempio di ATIS sul Trasporto Pubblico

Nell'ordine:

- Il bus 360 (12 min., 9 fermate)
- Un tratto a piedi di 3 min.
- La metropolitana linea B (11 min., 6 fermate)
- Un tratto a piedi di 12 min.

In totale occorrono 43 min. (38 senza considerare i tempi di attesa del servizio pubblico).
Si supponga ora che il generico utente disponga di una bicicletta e che sia intenzionato ad usarla in combinazione con il trasporto pubblico poiché effettuare tutta la tratta di 8,8 km in bicicletta gli risulterebbe troppo oneroso. Esistono tre scenari verosimili: (1) utilizzare la bicicletta per andare dall'origine Via Bellini (che si suppone essere la sua residenza) fino alla metro; (2) utilizzare la bicicletta come vettore tra la stazione di discesa

della metro e la destinazione Via Volterra (che si suppone essere il luogo di lavoro); (3) utilizzare la bicicletta per entrambi gli spostamenti caricandola in metro (attualmente a Roma è possibile portare la bicicletta nei giorni feriali, escluso il sabato, da inizio servizio fino alle ore 7, dalle ore 10 alle 12 e dalle 20 fino al termine del servizio).
Ipotizzando una velocità media in bicicletta di 15 km/h si hanno i seguenti risparmi in termini di tempo:

- Scenario 1: -10 min.
- Scenario 2: -8 min.
- Scenario 3: -18 min.

I calcoli e le valutazioni fatte risultano non immediate per un'utenza media e soprattutto impensabili da effettuarsi in tempo reale allo spostamento.
Analoghi esempi potrebbero essere fatti combinando diverse scelte modali. Ad esempio l'utilizzo in sequenza dell'automobile e del trasporto pubblico è soluzione adottata spesso per trasporti urbani di lungo raggio o pendolari laddove ci fosse disponibilità di un nodo di scambio intermodale. Ulteriori scelte potrebbero coinvolgere l'utilizzo combinato del trasporto pubblico e di vetture in condivisione.
Queste considerazioni hanno mosso la comunità scientifica verso la definizione di strumenti di terza generazione basate su concetti comportamentali e di intermodalità.
Si è passati da una prima generazione di ATIS, che si basava perlopiù su informazioni fornite all'utente attraverso pannelli a messaggio variabile o su canali radio dedicati, ad una seconda generazione costituita da dispositivi GPS portabili a bordo delle automobili la cui funzione principale era esclusivamente quella di suggerire il percorso geometricamente più breve cioè senza alcuna informazione circa il reale stato di congestione della rete. Si può identificare in quella corrente la terza generazione, che prevede lo sviluppo di applicazioni in grado di fornire informazioni in tempo reale sul traporto pubblico e privato, di supportare reti multimodali e di essere profilati sul soggetto decisore (Chorus et al. 2006). In tal senso viene aggiornata e rifinita la classificazione proposta da Adler e Blue (1998) che identificavano unicamente nella seconda generazione tutto ciò che ha seguito la prima.
È opportuno evidenziare la sostanziale differenza, spesso confusa in letteratura, tra rete multimodale e trasporto intermodale. Il primo concetto

si riferisce all'offerta infrastrutturale che dunque è modellizzata attraverso diversi layer che rappresentano la rete corrispondente ai modi di trasporto. Van Nes (2002) fornisce un'ampia descrizione degli elementi caratterizzanti tali reti e suggerisce un approccio gerarchico per la loro definizione. Nuzzolo et al. (2014) propongono un dispositivo di terza generazione in grado di supportare l'utenza su reti multimodali con informazioni personalizzate e in tempo reale. Ulteriori esperienze, come indicato da Zhang J. et al. (2011), sono quelle di *Trapeze*, *Jeppesen*, *Google*, *Logica*, *Mentz*. Il secondo concetto si riferisce alla domanda di trasporto ovvero alle scelte modali che possono coinvolgere le singole alternativa o una loro sequenza. Questa scelta di viaggio è molto frequente in diversi contesti e in diverse combinazioni. È tipica la scelta di automobile e mezzo pubblico per spostamenti extra-intra urbani. Altre soluzioni frequenti sono quelle di abbinare la bicicletta o l'andare a piedi con il trasporto pubblico. Negli ultimi anni si sta diffondendo in ambito urbano anche la transizione tra automobile in condivisione e mezzo pubblico ed anche la transizione tra automobile di proprietà e automobile in condivisione. Quest'ultima combinazione può nascere ad esempio dall'esigenza di accedere ad una zona a traffico limitato (nella quale sono ammessi i veicoli di car sharing) lasciando la propria automobile al di fuori di essa.

I sistemi informativi che forniscono al viaggiatore soluzioni di viaggio intermodale sono chiamati IJP (*Intermodal Journey Planner*). Zhang L. et al. (2011) progettano l'app PATH2go, sperimentata sul corridoio US-101 a San Francisco, che supporta anche la scelta combinata di auto privata più trasporto pubblico. Altri esempi di sistemi di questo tipo sono:

- *Onlymoov* [1]. Grand Lyon (FRANCE), usa l'IJP fatto da Cityway.
- *Triplinx* [2]. Grand Toronto (CANADA), usa un IJP fatto da Cityway.
- *TripGo* [3]. Utilizzato in 120 città si specializza sull'interazione tra trasporto pubblico e privato.
- *Transport for London* [4]. Usa l'IJP di Mentz.
- *UK Regional Traveline* [5]. Usa l'IJP di Trapeze Group, JourneyPlan e Mentz.
- *Journey.fi* [6]. È un IJP per la pianificazione di viaggi in Finlandia, Utilizza l'IPJ fatto da Logica.
- *OV9292* [7] è un pianificatore utilizzato in Olanda.
- *TravelWits* [8]. Combina il trasporto aereo con altri modi

2 Modelli comportamentali

2.1 Introduzione

"Il comportamento è il modo di agire e reagire di un oggetto o un organismo messo in relazione o interazione con altri oggetti, organismi o più in generale con l'ambiente. Si tratta dunque dell'esternazione di un atteggiamento, il quale a sua volta si basa su una idea o una convinzione, più o meno realistica fino anche un pregiudizio. Il comportamento umano può essere conscio o inconscio, volontario o involontario, ed è strettamente collegato al tipo o modello di personalità dell'individuo" [9].
Il concetto di comportamento trova una ragionevole applicabilità nel meccanismo di *scelta*. Questa è un "libero atto di volontà per cui, tra due o più offerte, proposte, possibilità o disponibilità, si manifesta o dichiara di preferirne una (in qualche caso anche più di una), ritenendola migliore, più adatta o conveniente delle altre, in base a criteri oggettivi oppure personali di giudizio, talora anche dietro la spinta di impulsi momentanei, che comunque implicano sempre una decisione" [10].
La teoria delle scelte è una disciplina che afferisce ad una molteplicità di aree di studio quali: l'econometrica, la statistica, la psicometria, la sociologia, l'ingegneria gestionale e dei trasporti. L'obiettivo di quest'affascinante disciplina è quello di descrivere e simulare il comportamento umano attraverso strumenti analitici.
Proposto da Block e Marschak (1960) e Marschak (1960), il paradigma modellistico più diffuso e consolidato nell'ambito della teoria delle scelte si basa sul concetto di massimizzazione dell'utilità aleatoria (RUM). L'ipotesi alla base è che il soggetto decisore scelga un'alternativa tra quelle disponibili che massimizzi l'utilità percepita da tale alternativa. L'utilità rappresenta una forma funzionale del beneficio percepito dal soggetto che deriva da ciascuna alternativa. In questi termini, e in accordo con teoria dell'*homo oeconomicus*, la scelta rappresenta il risultato di un computo tra i benefici e gli svantaggi relativi alle diverse alternative.
Questi modelli permettono di stimare la domanda di beni e servizi attraverso un'osservazione campionaria e di effettuare previsioni sul comportamento in contesti diversi da quelli osservati.
L'applicazione dei modelli di scelta discreta nell'ambito dell'ingegneria dei trasporti affonda le sue radici nei primi anni '70 fino a trovare oggi un

completo e imprescindibile ruolo nella rappresentazione dei complessi aspetti che influenzano la domanda di trasporto (Bierlaire, 1997). Le scelte di mobilità in generale possono riguardare tutte le fasi del modello a quattro stadi: se effettuare uno spostamento o meno, scegliere una destinazione piuttosto di un'altra, che mezzo prendere e che tragitto fare.
I modelli a scelta discreta forniscono, attraverso la calibrazione, la probabilità di scelta di ciascun'alternativa presente nell'insieme (dunque finito) di alternative mutuamente escludentesi. Il processo matematico di calibrazione è concepito sulla massimizzazione della *likelihood*, ossia della probabilità di scelta dell'alternativa effettivamente selezionata da ciascun decisore. Sebbene si parli di probabilità di scelta, questi modelli in realtà seguono un processo decisionale deterministico; assumono infatti che venga scelta l'alternativa con la maggiore utilità. Gli psicologi oppongono a questa prospettiva una concezione probabilistica del comportamento umano, che si basa su un principio di inconsistenza percepita nel comportamento (Marcucci, 2011). Lo stesso individuo può infatti effettuare scelte diverse in contesti apparentemente simili e per i quali non è lecito suppore processi cognitivi in atto tali da modificare le sue preferenze. Potremmo dunque dire che i modelli RUM sono probabilistici ma costruiti su un presupposto deterministico, cioè che l'individuo scelga l'alternativa per la quale egli ne percepisce la maggiore utilità. Se si assume per vera quest'ipotesi, rendere i modelli a scelta discreta deterministici, ovvero far tendere a zero il residuo aleatorio, implicherebbe identificare tutte le variabili che inducono gli individui a fare una scelta. Un tale modello oltre ad essere analiticamente intrattabile presupporrebbe un'indagine sterminata di tutte le contingenze. È per questo motivo che i modelli RUM hanno trovato una così vasta applicabilità e hanno fornito risultati tanto apprezzabili nell'ambito delle scienze applicate.
Nel seguente paragrafo verrà descritta la formulazione generale dei modelli a scelta discreta e di quelli della famiglia Logit.

2.2 Formulazione generale

L'utilità che il decisore *i* associa all'alternativa *j* non è nota all'analista e, pertanto, viene rappresentata come una variabile aleatoria indicata con U_j^i.

Seguendo la trattazione di Cascetta (2006), si indica con I^i l'insieme delle alternative entro il quale il decisore *i* effettua la scelta. Dunque la probabilità che egli effettui la scelta *j* è data da:

$$p[j \mid I^i] = p[U_j^i > U_k^i \quad \forall k \neq j, k \in I^i]$$

Quest'espressione rappresenta la probabilità che l'alternativa *j* esibisca un'utilità maggiore di tutte quelle disponibili.
L'utilità può essere però decomposta in due contributi: un contributo sistematico che rappresenta il valore atteso dell'utilità (utilità sistematica) e un residuo aleatorio che rappresenta l'incertezza intrinseca alla modellizzazione del processo di scelta. Si scrive dunque: $U_j^i = V_j^i + \varepsilon_j^i$.
Poiché l'utilità sistematica rappresenta un contributo noto, risulta che $E[V_j^i] = 0$. Il discostamento da tale valore è affidato al residuo aleatorio ε^i_j che presenta valore atteso nullo e varianza pari a σ^2_{ij}. In virtù della scomposizione fatta si ottiene:

$$p[j \mid I^i] = p[\varepsilon_k^i < V_j^i - V_k^i + \varepsilon_j^i \quad \forall k \neq j, k \in I^i]$$

Nel seguito, per semplicità di notazione, si ometterà il riferimento al generico decisore *i*.
Indicando con $f(\varepsilon_1, \varepsilon_2, ..., \varepsilon_n)$ la legge di densità di probabilità congiunta dei residui aleatori si ha che:

$$p[j \mid I] = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{V_j - V_1 + \varepsilon_j} \int_{-\infty}^{V_j - V_2 + \varepsilon_j} \cdots \int_{-\infty}^{V_j - Vn + \varepsilon_j} f(\varepsilon_1, \varepsilon_2, ..., \varepsilon_n) d\varepsilon_1 d\varepsilon_2 ... d\varepsilon_n$$

2.3 Logit Multinomiale

Il più semplice modello di scelta discreta è il *Logit Multinomiale*. L'assunzione di base di questo modello è che i residui aleatori ε_j siano indipendenti e identicamente distribuiti (i.i.d) secondo una Gumble a media nulla e di parametro di scala θ. La funzione di ripartizione di ciascun residuo è dunque data da:

$$F_{\varepsilon_j}(x) = p[\varepsilon_j \leq x] = \exp[-\exp(-x/\theta)]$$

La loro funzione di densità è:

$$f(\varepsilon_j) = \exp(-\varepsilon_j/\theta)\exp[-\exp(-\varepsilon_j/\theta)]$$

Media e varianza valgono rispettivamente: $E[\varepsilon_j] = 0$ e $Var(\varepsilon_j) = \pi^2\theta^2/6$ $\forall j$. L'indipendenza dei residui aleatori implica una covarianza nulla per qualsiasi coppia di residui aleatori: $Cov(\varepsilon_j, \varepsilon_h) = 0 \quad \forall j, h \in I^i$.
Seguendo la formulazione di Train (2009), un modello $U_j = V_j + \varepsilon_j \quad \forall j$ è equivalente al modello $U_j = \theta V_j + \theta\varepsilon_j \quad \forall j$. Moltiplicando l'utilità per θ, la varianza di ciascun ε_j cambia di θ^2: $Var(\theta\varepsilon_j) = \theta^2 Var(\varepsilon_j)$. Pertanto, normalizzare la varianza del residuo aleatorio è equivalente a normalizzare la scala dell'utilità.
Applicando tale assunzione e assumendo come dato ε_j, la probabilità che il decisore scelga l'alternativa j è dato dalla funzione di ripartizione calcolata per ogni ε_k: $\exp[\exp(-(\varepsilon_j + V_j - V_k))]$. Poiché gli ε sono indipendenti, tale funzione cumulativa calcolata per ogni $k \neq j$ è il prodotto di tutte le funzioni cumulative individuali:

$$p[j \mid \varepsilon_j] = \prod_{k \neq j} \exp[-\exp(-(\varepsilon_j + V_j - V_k))]$$

Poiché ε_j non è dato, la probabilità di scelta dell'alternativa j è l'integrale di $p[j \mid \varepsilon_j]$ su tutti i valori di ε_j pesati sulla loro stessa funzione di densità:

$$p[j] = \int_{\varepsilon_j = -\infty}^{+\infty} \prod_{k \neq j} \exp[-\exp(-(\varepsilon_j + V_j - V_k))]\exp(-\varepsilon_j)\exp[-\exp(-\varepsilon_j)]d\varepsilon_j$$

Osservando che $V_j - V_j = 0$, si estende la produttoria che compare nell'integrale ad ogni k:

$$p[j] = \int_{\varepsilon_j=-\infty}^{+\infty} \prod_k \exp[-\exp(-(\varepsilon_j + V_j - V_k))]\exp(-\varepsilon_j)d\varepsilon_j$$

Raggruppando i termini degli esponenziali si può scrivere:

$$\begin{aligned} p[j] &= \int_{\varepsilon_j=-\infty}^{+\infty} \exp[-\sum_k \exp(-(\varepsilon_j + V_j - V_k))]\exp(-\varepsilon_j)d\varepsilon_j \\ &= \int_{\varepsilon_j=-\infty}^{+\infty} \exp[-\exp(-\varepsilon_j)\sum_k \exp(-(V_j - V_k))]\exp(-\varepsilon_j)d\varepsilon_j \end{aligned}$$

Introducendo la variabile $t = \exp(-\varepsilon_j)$ tale che $dt = -\exp(-\varepsilon_j)d\varepsilon_j$, si osserva che al tendere di ε_j all'infinito *t* tende a zero, e al tendere di ε_j a meno infinito *t* cresce infinitamente. Sostituendo si ha:

$$\begin{aligned} p[j] &= \int_{\infty}^{0} -\exp[-t\sum_k \exp(-(V_j - V_k))]dt \\ &= \int_{0}^{\infty} \exp[-t\sum_k \exp(-(V_j - V_k))]dt \\ &= \left.\frac{\exp[-t\sum_k \exp(-(V_j - V_k))]}{-\sum_k \exp(-(V_j - V_k))}\right|_0^{\infty} \\ &= \frac{1}{\sum_k \exp(-(V_j - V_k))} = \frac{\exp(V_j)}{\sum_k \exp(V_k)} \end{aligned}$$

che fornisce la nota espressione in forma chiusa.

2.3.1 Nested Logit

Domencich e McFadden (1975) introducono il modello *Nested Logit* (Logit Gerarchizzato). Tale evoluzione consente di superare parzialmente l'ipotesi di indipendenza delle utilità delle alternative che caratterizza il Logit Multinomiale.

L'idea di base è che alcune scelte possono appartenere ad uno stesso gruppo che le accumuni per delle caratteristiche, altre appartenere ad altri gruppi oppure essere isolate. Si può dunque suppore che l'insieme di scelta I venga disgiunto in n gruppi: $I = I_1 \cup I_2 ... I_n$ tali che $I_k \cap I_h = \varnothing \quad \forall h, k$.
L'utilità dell'alternativa j viene decomposta in due contributi ottenendo dunque: $U_j = V_j + \eta_k + \tau_{j|k}$. Il contributo η_k si riferisce al gruppo k ed assume il medesimo valore per tutte le alternative presenti in quel gruppo; $\tau_{j|k}$ si riferisce alla specifica alternativa j all'interno nel gruppo k. Si suppone inoltre che le variabili aleatorie $\tau_{j|k}$, $\tau_{i|k}$ e η_k siano a media nulla e indipendenti.
La probabilità di scegliere l'alternativa j è condizionata dall'avere scelto il gruppo k che la contiene: $p[j] = p[j \mid k] \cdot p[k]$. La probabilità di scegliere l'alternativa j è pari alla probabilità che tale alternativa abbia un'utilità percepita maggiore a tutte quelle appartenenti al medesimo gruppo k:

$$p[j \mid k] = p[\tau_{i|k} < V_j - V_i + \tau_{j|k} \ \forall i \neq j, i \in k]$$

Analogamente a quanto fatto nel caso del Logit Multinomiale, si assume che le $\tau_{j|k}$ siano variabili indipendenti e identicamente distribuite secondo una Gumble di parametro θ_k. Si ottiene dunque:

$$p[j \mid k] = \frac{\exp(V_j / \theta_k)}{\sum_{i \in k} \exp(V_i / \theta_k)}$$

A livello superiore, la scelta viene fatta tra gruppi di alternative. Questi si comportano dunque come alternative composte, per le quale si può esprimere la scelta attraverso un modello Logit Multinomiale:

$$p[k] = \frac{\left(\sum_{i \in k} \alpha_{i \in k}^{\theta_o / \theta_k} \exp(V_i / \theta_k)\right)^{(\theta_k / \theta_0)}}{\sum_h \left(\sum_{i \in h} \alpha_{ik}^{\theta_o / \theta_k} \exp(V_i / \theta_k)\right)^{\theta_h / \theta_0}}$$

dove θ_0 è il parametro di varianza globale al nodo radice.
Complessivamente, la probabilità di scelta della singola alternativa j si può esprimere come:

$$p[j] = p[j \mid k] \cdot p[k] = \frac{\exp(V_j / \theta_k)(\sum_{i \in k} \alpha_{i \in k}^{\theta_o / \theta_k} \exp(V_i / \theta_k)^{(\theta_k / \theta_0)-1}}{\sum_h \left(\sum_{i \in k} \alpha_{ik}^{\theta_o / \theta_k} \exp(V_i / \theta_k) \right)^{\theta_h / \theta_0}}$$

La matrice di covarianza risultante presenta una struttura a blocchi in cui si hanno valori non nulli solo per alternative appratenti allo stesso gruppo:

$$Cov(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = Var(\eta_k) = \frac{\pi^2}{6}(\theta_k - \theta_j) \qquad \forall i, j \in I_k$$

2.3.2 Cross Nested Logit

Ulteriori sviluppi del modello Logit Gerarchizzato a un livello sono stati forniti da Vovsha (1997) che ha proposto il modello *Cross-Nested Logit*. Con questo contributo è stato rilassato il vincolo di appartenenza esclusiva ad un gruppo delle alternative. Si basa dunque sull'ipotesi che ciascuna alternativa possa appartenere ad uno più gruppi contemporaneamente. Formalmente l'insieme di *n* gruppi disgiunti di alternative è regolato dalla condizione: $I_h \cap I_k \neq \emptyset$ per qualche *h,k*.
Sotto quest'ipotesi, la probabilità di scelta di un'alternativa è derivabile dalla formulazione generale del Nested Logit ed è condizionata a tutti i gruppi *k* che contengono l'alternativa *j*.
Il grado di appartenenza di un'alternativa a ciascun gruppo è indicato attraverso il parametro α_{jk} che è definito non negativo e assume valore nullo quando l'alternativa *j* non è presente nell'insieme *k*. Il grado di appartenenza indica la "porzione" di alternativa presente in ogni gruppo e, per semplicità interpretativa, si impone il vincolo di normalizzazione all'unità: $\sum_k \alpha_{jk} = 1$.
La probabilità di scelta di un'alternativa j è data da: $p[j] = p[j \mid k] \cdot p[k]$
Le espressioni di $p[j \mid k]$ e $p[k]$ sono rispettivamente:

$$p[j \mid k] = \frac{\alpha_{jk} \exp(V_j / \theta_k)}{\sum_{i \in k} \alpha_{ik}^{\theta_o / \theta_k} \exp(V_i / \theta_k)} \; ; \quad p[k] = \frac{(\sum_{i \in k} \alpha_{i \in k}^{\theta_o / \theta_k} \exp(V_i / \theta_k))^{\theta_k / \theta_0}}{\sum_h \left(\sum_{i \in k} \alpha_{ik}^{\theta_o / \theta_k} \exp(V_i / \theta_k) \right)^{\theta_h / \theta_0}}$$

In conclusione, la probabilità di scelta dell'alternativa *j* è data da:

$$p[j] = \sum_k \left[\frac{\alpha_{jk} \exp(V_j / \theta_k)(\sum_{i \in k} \alpha_{i \in k}^{\theta_o / \theta_k} \exp(V_i / \theta_k)^{(\theta_k / \theta_0)-1}}{\sum_h \left(\sum_{i \in k} \alpha_{ik}^{\theta_o / \theta_k} \exp(V_i / \theta_k) \right)^{\theta_h / \theta_0}} \right]$$

2.4 Modello di ripartizione modale

Secondo la definizione di Cascetta (2006), "il modello di scelta modale fornisce l'aliquota $p^i[m/oshd]$ di spostamento di utenti di categoria *i* che, recandosi dalla zona *o* alla zona *d* per il motivo *s* nell'intervallo temporale *h*, usa il modo *m*". I modelli più diffusi per simulare la scelta del modo di trasporto si rifanno al paradigma dell'utilità aleatoria.
Ciò è facilmente spiegabile in quanto la scelta del modo ha un'evidente interpretazione comportamentale. Le ragioni che spingono il decisore verso l'una o l'altra scelta modale sono molteplici e complesse e dipendono oltre che dal decisore dal contesto di mobilità. Infatti, in ambito urbano sono spesso considerate modalità quali la bicicletta o l'andare a piedi che evidentemente non sono alternative significative in ambito interurbano.
Nei casi più semplici le alternative coinvolgono singoli modi di trasporto; in casi più complessi alternative diverse vengono combinate in sequenza (viaggi intermodali). L'intermodalità verrà trattata ampiamente nel capitolo quarto.
La generica alternativa di cui si è parlato nei paragrafi precedenti prende ora la caratterizzazione di scelta modale. Conseguentemente, in sede di modellazione della domanda di trasporto occorre definire il modello comportamentale opportuno e le funzioni di utilità.
Il contributo sistematico dell'utilità, ovvero il suo valor medio è definito come una funzione di attributi. Sebbene la forma funzionale dell'utilità potrebbe essere di qualsiasi tipo, solitamente si adotta una relazione lineare degli attributi e dei relativi coefficienti. L'utilità sistematica può essere scritta come:

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

Ogni alternativa è definita da un certo numero di attributi X^i_j il cui valore varia per ogni utente *i*. A ciascun di questi è associabile una stringa decomponibile in tre gruppi di attributi:

1. Attributi socio economici
2. Disponibilità modali
3. Attributi legati al viaggio

Nel primo gruppo di attributi compaiono informazioni come: età, genere, reddito, numero di elementi del nucleo familiare e numero di patentati all'interno di esso, condizione lavorativa, titolo di studio, ecc. Queste informazioni vengono 'tradotte' matematicamente attraverso variabili di diverso genere (binarie, intere o continue) a seconda dell'attributo.
Il secondo gruppo fornisce indicazioni circa l'effettiva accessibilità del generico decisore a ognuna delle alternative presenti nell'insieme di scelta *I*. È immediato constatare che non tutti hanno a disposizione per i propri spostamenti un'auto, una bicicletta, un abbonamento al trasporto pubblico, una sottoscrizione ad un servizio di car sharing o altro. Gli attributi del primo e secondo gruppo vengono ottenuti tramite indagine, tipicamente attraverso la somministrazione di un questionario.
Il terzo gruppo si riferisce alle caratteristiche del viaggio per il quale è stata fatta una specifica scelta modale. Gli attributi solitamente si riferiscono ai tempi e costi di viaggio per tutte le alternative. Il tempo può essere decomposto nelle diverse aliquote che lo compongono, ad esempio nel caso di trasporto con la vettura privata si può distinguere tra il tempo per raggiungere la destinazione e il tempo successivamente impiegato per parcheggiare; nel caso di trasporto pubblico sarà opportuno distinguere tra il tempo di marcia e quello di attesa del mezzo. Nel caso di scelte intermodali assumerà rilevanza il numero di trasbordi da effettuare. Se nel modello è prevista anche la scelta della bicicletta, potranno essere significativi attributi come la pendenza media del tragitto o la presenza o meno di piste ciclabile. Gli attributi di viaggio possono essere ottenuti per via diretta, cioè sulla base di quanto dichiarato dagli utenti stessi in sede di indagine, oppure attraverso l'osservazione o ancora tramite simulazione.
L'ultimo elemento dell'indagine è quello che permette all'analista di conoscere la scelta che il generico decisore *i* ha fatto per lo specifico viaggio di cui si conoscono le caratteristiche. Questo dato è fondamentale in quanto tutto il processo di calibrazione dei RUM si basa sull'ipotesi che venga scelta l'alternativa per la quale l'utente percepisce la massima utilità.

Per quanto riguarda la forma funzionale del modello, quelli della famiglia Logit sono senz'altro i più utilizzati. Tra questi la scelta dipende dalla ramificazione dell'albero di scelta. Se infatti ci si riferisce alla scelta tra auto privata, bus e bicicletta sarà sufficiente un modello Logit Multinomiale. Casi più articolati, che necessitano dei gruppi di alternative, sono ad esempio riscontrabili quando all'interno del trasporto pubblico si vuole distinguere tra le sue varie declinazioni: bus, metro, tram, ecc.

2.4.1 Portfolio di mobilità

Le scelte modali, a prescindere dal fatto che coinvolgano uno o più mezzi, rappresentano una scelta che ciascun individuo fa sulla base delle risorse di mobilità di cui egli dispone in un determinato momento e luogo della sua vita per compire uno spostamento.
L'insieme di risorse che ciascun individuo possiede definisce un portfolio personale (Le Vine et al., 2013). Le risorse di mobilità non sono dunque esclusive; il portfolio può includerne una, diverse, tutte o nessuna.
Ciascun individuo sceglie un portfolio di mobilità all'interno di tutti i portfolio disponibili. Le risorse tradizionali di mobilità sono tre: auto, abbonamento al Trasporto Pubblico (TP) e bicicletta. In generale se si hanno R risorse esistono 2^R possibili portfolio. Ognuno di questi abilita all'utilizzo di un insieme di modi di trasporto. Si noti che il modo di trasporto non è un concetto equivalente alla risorsa; la scelta di muoversi a piedi, così come prendere il taxi, sono scelte modali ma non risorse. La Tabella 2.1 esplicita per ogni portfolio i modi abilitati.
Il concetto di portfolio apparentemente può sembrare analogo a quanto già implementato nei modelli di scelta modale sotto forma di disponibilità delle risorse di mobilità; l'insieme di alternative infatti non è uguale per tutti gli utenti ma vincolato alle risorse a disposizione entro le quali si ripartisce la probabilità di scelta. In realtà il portfolio di mobilità rappresenta un livello di scelta superiore. Le scelte che ciascun individuo fa circa il possesso di una risorsa, ad esempio un'automobile o un abbonamento al trasporto pubblico, sono dettate dall'accessibilità verso quelle attività che egli ritiene indispensabili. La scelta modale vera e propria, cioè riferita al singolo viaggio, avviene su un secondo livello e, in questi termini, il portfolio fornisce dei vincoli di disponibilità.

	Modo di trasporto						
	Auto (conducente)	**TP (abbonamento)**	**Bicicletta**	**Camminare**	**Taxi**	**TP (ticket singolo)**	**Auto (passeggero)**
Portfolio di risorse							
Automobile	**Sì**	**No**	**No**	**Sì**	**Sì**	**Sì**	**Sì**
Abb.TP	**No**	**Sì**	**No**	**Sì**	**Sì**	**No**	**Sì**
Bicicletta	**No**	**No**	**Sì**	**Sì**	**Sì**	**Sì**	**Sì**
Auto + abb. TP	**Sì**	**Sì**	**No**	**Sì**	**Sì**	**No**	**Sì**
Auto + bicicletta	**Sì**	**No**	**Sì**	**Sì**	**Sì**	**Sì**	**Sì**
Abb. TP + bicicletta	**No**	**Sì**	**Sì**	**Sì**	**Sì**	**No**	**Sì**
Auto + abb. TP + biciletta	**Sì**	**Sì**	**Sì**	**Sì**	**Sì**	**No**	**Sì**
Vuoto	**No**	**No**	**No**	**Sì**	**Sì**	**Sì**	**Sì**

Tabella 2.1: Modi di trasporto abilitato dai portfolio di risorse

Il portfolio completo comprende: auto, bicicletta, e abbonamento al trasporto pubblico. Esso abilita alle seguenti scelte monomodali in ambito urbano: guidare la propria auto, utilizzare il trasporto pubblico senza pagare per il singolo viaggio, usare la bicicletta, camminare, prendere un taxi, utilizzare il trasporto pubblico pagando per il singolo viaggio, essere trasportato in auto come passeggero. Si hanno dunque sette modi trasporto. Se si lascia cadere l'ipotesi di monomodalità, nel caso più generale di n modi (portfolio completo) si hanno $\sum_{i=1}^{k} n!/(n-k)!$ possibili scelte modali dove k è il numero massimo di mezzi che si assume si possano prendere in un solo viaggio. Porre $k=1$ significa ricondursi all'ipotesi di monomodalità, il caso estremo opposto $k=n$ implica $n-1$ transizioni modali. La formula tiene anche conto dell'ordine con cui vengono presi i mezzi. Molte di queste combinazioni sono di fatto irrealistiche. Sarebbe infatti difficile immaginare che un individuo all'interno dello stesso viaggio utilizzi il trasporto pubblico una volta come abbonato e l'altra usufruendo di un biglietto. Si noti però che tale situazione potrebbe accadere quando si utilizzano sistemi di trasporto pubblico appartenenti a diversi gestori.

Il concetto espresso in questo paragrafo verrà poi ripreso nel quarto capitolo per la definizione di un IJP comportamentale e dinamico.

Le Vine et al. (2013) introducono inoltre un nuovo concetto di accessibilità denominato *Perceived Activity Set* (PAS). Il PAS è definito come l'insieme di attività *out of home* che la persona vede come centrali nel fare delle scelte che influiscono significativamente sull'accessibilità a tali attività. Come precedentemente accennato, le scelte legate alla mobilità che un decisore fa, come ad esempio dove vivere o se possedere o meno un'auto, sono legate all'accessibilità delle sue principali attività *out of home*.
L'ipotesi di base è che le risorse di mobilità che una persona possiede e che dunque costituiscono portfolio, sono funzione del PAS. Se la canonica analisi di scelta modale tende a studiare e predire la scelta modale attraverso l'osservazione del singolo viaggio, l'approccio proposto Le Vine et al. (2013) suggerisce in primo luogo un'osservazione per ogni intervistato circa il portfolio; in secondo luogo l'osservazione di tutti i viaggi fatti da ciascun intervistato circa la scelta modale. Gioca dunque un ruolo fondamentale la tipologia di campagna di acquisizione di dati che viene scelta. Nell'analizzare il PAS individuale occorre infatti un'osservazione prolungata nel tempo per ogni soggetto; un intervallo di tempo che consente con buona approssimazione l'esplicazione del PAS è una settimana.

2.4.1.1 Formalizzazione del modello

Di seguito viene riportata la formalizzazione del modello comportamentale proposta da Le Vine et al. (2013) nell'ambito dello sviluppo del concetto del PAS.
L'utilità del portfolio *d* per la generica persona *i* include una prima componente sistematica associata all'acquisto o al mantenimento del portfolio ($V_d^{i,non-travel}$), una seconda componente di utilità che si riferisce all'utilizzo dei modi di trasporto abilitati dal portfolio *d* per accedere al proprio PAS ($V_d^{i,travel}$) e un residuo aleatorio ε_d^i.

$$U_d^i = V_d^{i,non-travel} + V_d^{i,travel} + \varepsilon_d^i$$

La componente relativa al possesso del portfolio $V_d^{i,\ non\text{-}travel}$ è additiva rispetto alle risorse *r* all'interno del portfolio stesso:

$$V_d^{i,non-travel} = \sum_{r \in d} V_r^{i,non-travel}$$

Il termine $V_d^{i,travel}$ si riferisce alla fase di trasporto vera e propria. Per essere inserita in un modello di utilità, la performance dei modi di trasporto abilitati da un portfolio di risorse deve essere aggregata in un unico valore di utilità. Ciò implica due livelli di aggregazione: il primo sui modi di trasporto, il secondo sulle attività (viaggi).
L'utilità del portfolio *d* per la persona *i* che effettua il viaggio j_i è uguale all'utilità del modo di trasporto 'ottimo' *m* abilitato dal portfolio *d*:

$$U_{dj_i}^{i,travel} = \max_{m \in \mu_d} (U_{mj_i}^{i,travel})$$

$$U_{dj_i}^{i,travel} = \max_{m \in \mu_d} (V_{mj_i}^{i,travel} + \varepsilon_{mj_i}^{i,travel})$$

La notazione μ_d rappresenta l'insieme dei modi abilitati dal portfolio *d*. Assumendo che i residui $\varepsilon_{mj_i}^{i,travel}$ siano i.i.d. secondo una Gumble di parametro $1/\lambda^{travel}$, si può dire che $U_{dj_i}^{i,travel}$ è ancora distribuito secondo una Gumble di parametro $1/\lambda^{travel}$ e media pari a:

$$E\left[U_{dj_i}^{i,travel}\right] = V_{dj_i}^{i,travel} = \frac{1}{\lambda^{travel}} \ln \sum_{m \in \mu_d} \exp(V_{mj_i}^{i,travel \cdot \lambda^{travel}})$$

Sostituendo alla v.a. $U_{dj_i}^{i,travel}$ il suo valor medio più uno scostamento da tale valore si ottiene:

$$U_{dj_i}^{i,travel} = \frac{1}{\lambda^{travel}} \ln \sum_{m \in \mu_d} \exp(V_{mj_i}^{i,travel \cdot \lambda^{travel}}) + \varepsilon_{dj_i}^{i,travel}$$

La seconda dimensione di aggregazione, sui viaggi, è basata sulla considerazione secondo la quale ciascun individuo vuole essere in grado di accedere a tutte le attività del proprio PAS. Dunque, l'aggregazione è ottenuta come somma sui viaggi del PAS:

$$U^i_{d\theta_i} = \sum_{j_i \in \theta_i} (V^i_{dj_i} + \varepsilon^i_{dj_i})$$

I residui aleatori sui singoli viaggi possono essere sommati in un unico termine ottenendo:

$$U^i_{d\theta_i} = \left(\sum_{j_i \in \theta_i} V^i_{dj_i} \right) + \varepsilon^i_{d\theta_i}$$

Con θ_i si è indicato l'insieme di attività che costituiscono il PAS dell'i-esimo intervistato.
Il concetto di PAS include la possibilità che una persona dia maggiore importanza all'accedere ad alcune attività piuttosto che ad altre. L'importanza del viaggio può essere rappresentata introducendo il temine γ_{j_i} nella precedente relazione.

$$U^i_{d\theta_i} = \left(\sum_{j_i \in \theta_i} \gamma_{j_i} V^i_{dj_i} \right) + \varepsilon^i_{d\theta_i}$$

In conclusione, l'utilità associata a ciascun portfolio nell'effettuare il PAS è data da:

$$U^i_d = V^{i,non\text{-}travel}_d + \frac{1}{\lambda^{travel}} \sum_{j \in \theta_i} \left(\gamma_{j_i} \cdot \ln \sum_{m \in \mu_d} \exp(V^{i,travel \cdot \lambda^{travel}}_{mj_i}) \right) + \varepsilon^i_d .$$

2.5 Indagini RP e SP

Nel caso più generale di modelli di scelta discreta tra beni economici di diversa natura, occorre distinguere caso per caso per la valutazione di un corretto set di attributi.

Il valore degli attributi deve essere noto all'analista per poter procedere con la calibrazione dei parametri di regressione ma può non essere noto al soggetto decisore. Egli infatti potrebbe avere solo una vaga se non erronea percezione del valore di quello specifico attributo. Ad esempio nel caso della ripartizione modale, capita spesso nella pratica che il soggetto non abbia idea della distanza dello spostamento in questione e perciò fornirà informazioni fuorvianti per l'analista.
Uno strumento fondamentale per conoscere il valore degli attributi del singolo utente è l'indagine. Queste consistono in un questionario somministrato ad un campione di utenza dell'area di studio e possono appartenere a due diverse classi: indagini relative ai comportamenti effettivamente rivelati dagli utenti in un contesto reale (preferenze rivelate) oppure indagini relative ai comportamenti dichiarati dagli utenti in contesti ipotetici (preferenze dichiarate).
Il metodo delle preferenze rivelate, spesso indicato con l'abbreviazione RP (dall'inglese *Revealed Preference*), prevede l'acquisizione di informazioni su contesti realmente esistenti e dunque per i quali l'utente ha già maturato l'esperienza necessaria ad effettuare la scelta che massimizza la sua utilità. Con questo genere di indagini viene dunque registrato il comportamento dell'utente difronte ad una situazione di scelta che egli ha effettivamente vissuto.
Le indagini sulle preferenze dichiarate, di solito abbreviate come SP (dall'inglese *Stated Preference*), si sviluppano in un contesto di scelta parzialmente o totalmente ipotetico. Al soggetto decisore viene proposta un'alternativa o un intero set di alternative per lui sconosciute tra le quali effettuare una scelta ipotetica. Questo genere di indagini viene utilizzato nei modelli con cui si vuole prevedere la scelta degli utenti in scenari futuri, non ancora disponibili nella realtà osservata.
Le indagini SP sono per loro natura affette da un inevitabile dispersione di fondo (*bias*) che dipende sia dal fatto che il contesto ipotetico proposto potrebbe non essere completo di tutte le caratteristiche che ne determinano la corretta valutazione da parte dell'utente, sia che egli potrebbe farsi un'idea dello scenario ipotetico difforme da quello che realisticamente sarà.

3 Studi e applicazioni della teoria dell'utilità aleatoria

3.1 Introduzione

La prima applicazione descritta riguarda la definizione e il relativo modello di domanda per un sistema telematico per l'invio e il pagamento delle sanzioni al codice della strada. Tale contributo mostra come i modelli comportamentali trovino applicazione nei metodi di previsione della domanda per beni di diversa natura. Nell'ambito delle scienze economiche rivolte agli studi di marketing, i modelli di scelta discreta rappresentano un valido strumento laddove l'analista deve prevedere la domanda di un bene per future vendite (Chintagunta e Nair, 2011). Il caso applicativo mostra infatti l'adattabilità dei modelli di scelta discreta a tutte le situazioni in cui si vuole quantificare e definire il bacino di potenziali utenti e gli attributi che più li caratterizzano nei riguardi di un servizio innovativo.
Successivamente vengono descritti due modelli di scelta applicati alla sharing mobility. Il primo di questi studia il fenomeno del *car pooling*; sebbene il modello di scelta si riferisca ad un'alternativa modale, non si può parlare propriamente di un modello di ripartizione. Ciò che viene evidenziato è più che altro la propensione a considerare il car pooling come una valida alternativa per i propri spostamenti sistematici. In altre parole, l'analisi comportamentale vuole sottolineare in che misura tale soluzione modale possa entrare a far parte del portfolio individuale dei soggetti decisori.
Il secondo modello è stato sviluppato in merito all'iniziativa *e-go car sharing*. Il progetto, nato da un accordo tra ENEL ENERGIA Spa e l'università Roma Tre, promuove lo sviluppo un sistema di car sharing elettrico per gli studenti e il personale dell'ateneo. In questo caso l'alternativa modale proposta si inserisce nell'ambito di un modello di ripartizione.

3.2 Modello di scelta per un servizio telematico

Il contributo, apprezzabile in Carrese et al. (2015a) e Carrese et. al (2015b), nasce da un'attenta riflessione sui possibili introiti per la Pubblica Amministrazione derivanti dal trasporto privato. Più specificatamente la riflessione va verso il tema dalle contravvenzioni e verso gli utenti della strada che hanno di per sé una propensione al pagamento delle contravvenzioni, cioè gli utenti non generalmente inclini all'evasione delle stesse.
Le usuali politiche adottate dalle amministrazioni per recuperare i debiti da violazione del Codice della Strada seguono la logica di perseguire gli evasori: seppur formalmente e socialmente corretta, è ben noto come tale logica si tramuti spesso in operazioni di sanatoria che comportano costi gestionali aggiuntivi e che difficilmente raggiungono i risultati attesi.
Con lo sviluppo sempre più forte delle moderne tecnologie di rilevazione e comunicazione e la loro sempre più diffusa applicazione al campo dei trasporti (Intelligent Transportation System - ITS), si può pensare di rovesciare il problema configurando un sistema che abbia come primo obiettivo la facilitazione/snellimento delle procedure per il pagamento delle contravvenzioni.
Tale sistema si configura come un avviso telematico di violazione (ad esempio tramite e-mail o avviso su cellulare) che informa l'utente della strada della violazione commessa e che permette il pagamento diretto della contravvenzione, senza dover aspettare la notifica cartacea presso l'indirizzo di residenza ed evitando quindi le spese di procedimento e notifica.
Attualmente la possibilità di avere una riduzione pecuniaria della sanzione è prevista solo in alcuni casi. La ricezione del preavviso di accertamento, ovvero di quel "foglietto" che l'agente accertatore lascia sul parabrezza dell'autovettura, costituisce un valido strumento per l'esenzione dalle spese di notifica e per usufruire delle riduzioni previste dalla normativa. Tale avviso consente al trasgressore di pagare (entro 5 giorni) la multa senza l'aggiunta delle succitate spese, ma presenta differenti criticità: (i) non c'è alcuna garanzia che l'avviso pervenga al proprietario del mezzo o a chi lo guida; (ii) comporta spreco di materiali, eccessivi tempi per la compilazione e rischio di commettere errori; (iii) non è applicabile ad un veicolo in moto.

Con un avviso telematico di violazione, ricevuto in tempi pressoché istantanei alla constatazione dell'infrazione, tali criticità verrebbero superate e si inizierebbe ad entrare in una logica di snellimento delle procedure e di facilitazione al pagamento che possa garantire incassi sicuri dal trasporto privato.

3.2.1 Stato dell'arte

Un recente articolo pubblicato online [11] da *Il sole 24 ore* (2014) riporta quanto emerso da un'analisi condotta dall'agenzia di stampa *Adnkronos* circa l'evasione del pagamento delle contravvenzioni al Codice della Strada ed i conseguenti mancati incassi da parte dei Comuni italiani. I risultati mostrano un enorme deficit nelle casse dei comuni dovuto proprio alla mancata riscossione delle multe. Questi i numeri:

- partendo dalla Capitale, nel bilancio 2013 gli incassi dalle multe sono arrivati a 408 milioni, ma il totale delle multe da riscuotere a ben 732 milioni;
- a Napoli, le multe per infrazioni al codice della strada registrano un tasso nei mancati pagamenti superiore al 50%, con percentuali di cancellazioni prossime al 30% e con un andamento sempre più consistente negli ultimi 5 anni; tale quota di cancellazioni sembra essere per lo più imputata ad una difficoltà di riscossione delle contravvenzioni;
- a Genova nel 2013 è stato messo a bilancio un introito da contravvenzioni pari a circa 24 milioni di euro, ma gli incassi non sono stati più di 20 (17% di perdita sugli introiti stimati);
- a Brescia, sui 52 milioni di euro che i cittadini devono al comune per mancati pagamenti, sono pari a 43,5 milioni quelli per infrazioni al Codice della strada che il Comune deve ancora incassare;
- a Pescara, gli incassi da multe nel 2013 (1,7 milioni di euro) si sono praticamente dimezzati rispetto al 2012 (3,5 milioni);
- a Pistoia erano previste entrate da contravvenzioni al Codice della strada per 6,6 milioni di euro, mentre sono entrati 5 milioni e 400mila euro (18% di perdita sugli introiti stimati).

I mancati introiti da contravvenzioni al Codice della Strada risultano

dunque particolarmente rilevanti con quote che si aggirano tra il 20% ed il 50%. All'interno di tali quote possono essere ricondotti anche gli utenti potenzialmente "non evasori", ma che hanno difficoltà nel pagamento della contravvenzione per motivi di carattere economico. Tali utenti potrebbero essere invogliati al pagamento tramite l'introduzione di un opportuno sconto. Attualmente esistono differenti possibilità di pagamento delle sanzioni con la riduzione del 30%:

1. Preavvisi di accertamento di violazione: avvisi lasciati sul parabrezza del veicolo in assenza del trasgressore/proprietario. In questo caso si dovrà versare solamente l'importo della sanzione ridotto del 30%, già indicato sul preavviso, senza ulteriori aggiunte di spese. Il versamento con questa modalità non può essere effettuato nei casi di violazioni che comportano la decurtazione di punti dalla patente di guida.
2. Verbali meccanizzati notificati presso il domicilio del trasgressore: l'utente riceve un plico con gli importi senza riduzione. Per avvalersi dello sconto del 30%, il pagamento può essere effettuato entro 5 giorni, riportando tutte le indicazioni e l'importo della sanzione per la violazione commessa decurtato del 30%, più le spese di procedura e notifica. Nella causale l'utente deve indicare il numero del verbale e la data dell'infrazione, rilevabili dal verbale stampato.

Nel primo caso, la mancata ricezione dell'accertamento di violazione lasciato sul parabrezza del veicolo comporta le spese di notifica presso il domicilio (la decurtazione del 30% è dunque al netto delle spese di notifica). Questo sistema presenta ovviamente diverse criticità:

- Anche qualora l'agente accertatore lasci l'avviso sul parabrezza, non c'è alcuna garanzia che questo pervenga al proprietario del mezzo o a chi lo guida. Il foglietto è infatti esposto a una serie di eventi (scivolamento, deterioramento a causa della pioggia, ecc.) che ne pregiudicano la finalità di avviso.
- L'avviso è di tipo cartaceo e solitamente compilato a mano da parte dell'agente accertatore. È innegabile dunque la scomodità, lo spreco di carta, gli eccessivi tempi per la compilazione e il rischio di

commettere errori. Tutto ciò rappresenta un costo in termini di tempo e di materiale per gli operatori.

- Esistono tipologie di infrazioni che per loro natura possono essere solamente notificate presso la residenza del trasgressore. Questo solitamente accade quando viene accertata una violazione ad un veicolo in moto e non è possibile fermare il trasgressore. Il trasgressore è dunque ignaro dell'infrazione fino al momento in cui non gli viene direttamente notificata la contravvenzione (caso 2) presso la residenza. Lo stesso ragionamento è valido per le contravvenzioni accertate da apparecchiature elettroniche.

La mancata ricezione del preavviso e della seguente notifica presso il domicilio comporta oltre al pagamento delle spese postali (13,88 euro) la perdita della possibilità di usufruire del 30% di sconto.
Inoltre, il mancato pagamento entro 60gg (inevitabile se non giunge la notifica presso il domicilio), comporta l'innalzamento della sanzione al doppio del minimo, essendo il verbale di contestazione già considerato titolo esecutivo per la riscossione. Infatti al 61° giorno la sanzione raddoppia e cominciano a mature gli interessi e le more fino all'eventuale azione di recupero della somma a mezzo notifica di cartella esattoriale. Inutile aggiungere anche le spese di notifica della cartella.
Per la riduzione degli errori manuali da parte degli agenti accertatori, in diversi comuni italiani la stesura del verbale cartaceo è stata attualmente sostituita da un sistema di emissione delle contravvenzioni tramite l'impiego di palmari integrati con stampanti.
Per quanto riguarda la notifica presso il domicilio, è in corso di approvazione l'invio della contravvenzione sulla casella di posta elettronica certificata (Pec) dell'automobilista, per ulteriori dettagli si veda il sito internet [12]. La notifica elettronica potrà dunque essere utilizzata per i soggetti obbligati per legge a dotarsi di Pec (ad esempio aziende e imprenditori iscritti a Camera di Commercio).
Se da una parte la notifica tramite Pec è un decisivo passo in avanti verso la facilitazione burocratica della procedura di notifica dell'infrazione, tuttavia non è ancora percepibile un effettivo snellimento dell'intero processo di constatazione, accertamento e notifica, nonché della riscossione del corrispettivo.

3.2.2 L'innovazione tecnologica

L'architettura tecnologica proposta consiste in un sistema di avviso telematico di violazione che integra un processore, un sistema Wi-Fi ed un sistema GPS in un unico dispositivo.
Constatata la violazione, tramite rilevazione manuale o tramite sistemi automatici (varchi elettronici, autovelox), ad essa viene associato il codice della violazione e la targa del trasgressore. Il dispositivo mediante GPS acquisisce inoltre i dati circa la localizzazione.

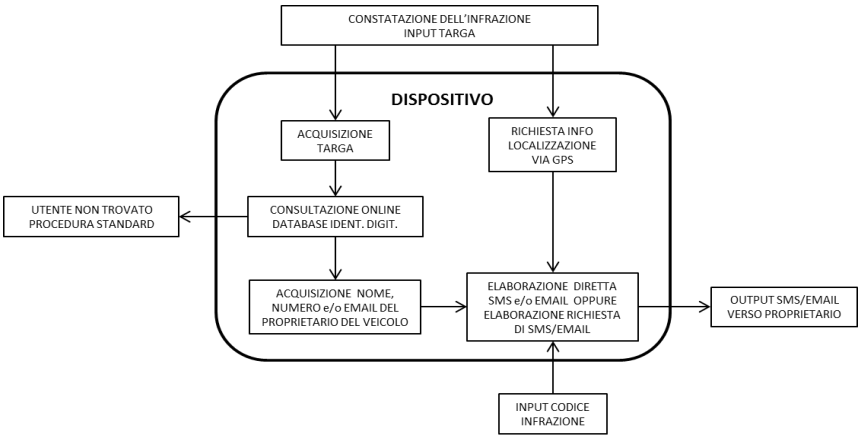

Figura 3.1: Schema logico del sistema di accertamento

A questo punto la targa viene automaticamente cercata in modalità *on-line* nel database che associa la targa ad un numero cellulare e/o ad un indirizzo di posta elettronica. Successivamente viene mandato, sempre automaticamente, un sms e/o una e-mail al numero e all'indirizzo e-mail associato alla targa del veicolo. In alternativa il dispositivo invia una richiesta di invio sms/e-mail ad un elaboratore centrale.
Il testo dell'SMS e/o dell'e-mail conterrà le seguenti informazioni:

- data e ora dell'illecito
- articolo del C.d.S. violato
- nominativo e targa del proprietario della vettura
- codice informatico dell'infrazione

Una volta ricevuto l'SMS e/o l'e-mail il proprietario del mezzo può accedere direttamente al pagamento on-line attraverso il codice informatico

che gli è stato comunicato. La Figura 3.1 mostra lo schema logico del sistema.
Chiaramente l'interessato potrà anche non avvalersi di tali procedure ed attendere l'invio del verbale di notifica presso il proprio domicilio (ad esempio se reputa opportuna la contestazione dell'infrazione). Il pagamento on-line entro un termine stabilito blocca la procedura di notifica.
Un aspetto rilevante è quello dell'effettiva possibilità di ottenere i dati dell'automobilista. Il proprietario di un veicolo che decide di usufruire del nuovo servizio, e dunque di registrare il proprio account in un sito progettato ad hoc, associa alla targa dell'auto un numero di cellulare e un indirizzo e-mail.
Attualmente l'Automobile Club d'Italia (ACI), gestisce il Pubblico Registro Automobilistico (PRA), nel quale sono effettuate le iscrizioni, le trascrizioni e le annotazioni relative agli autoveicoli, ai motoveicoli e ai rimorchi, in quanto "beni mobili registrati" secondo le norme previste dal codice civile. Essendo il PRA un Registro Pubblico, chiunque abbia interesse può richiedere ed ottenere i dati e le informazioni relative a qualsiasi veicolo iscritto sulla base della indicazione del numero di targa. Conseguentemente il database dell'ACI potrebbe essere già predisposto per tale utilizzo.

Qualora l'utente decida di non avvalersi della procedura, il dispositivo segnalerà di non aver trovato nel database i dati relativi a quella targa e quindi verrà segnalata all'operatore la necessità di procedere con la consueta stesura del verbale.
I vantaggi immediatamente percepibili del sistema proposto possono essere elencati sinteticamente come segue:

1. il trasgressore è messo nella condizione di pagare qualsiasi tipo di contravvenzione comodamente e senza l'aggiunta delle spese di notifica;
2. il trasgressore prende atto in tempi brevi, volendo quasi immediati, dell'infrazione compiuta;
3. in caso di infrazioni che prevedono rimozione del veicolo o blocco forzato tramite ganasce, il trasgressore può tempestivamente prendere provvedimenti;
4. la procedura burocratica ne risulta considerevolmente accelerata;
5. si azzera il rischio di errori nella rilevazione dell'infrazione.

3.2.3 Metodologia

Introdotta l'architettura del sistema, lo studio si focalizza su:

1. un'analisi comportamentale di quelle che sono le variabili che maggiormente incidono nel definire l'utente "propenso" al pagamento della contravvenzione: ciò risulta necessario al fine di comprendere il potenziale mercato del sistema di avviso telematico di violazione e definirne i possibili introiti;
2. un'analisi dell'attuale stato di conoscenza da parte dell'utente stradale delle forme di risparmio associate alle contravvenzioni e il comportamento abituale a riguardo del pagamento;
3. il possibile consenso che otterrebbe un sistema di avviso telematico di violazione e le possibili caratteristiche informatiche/tecnologiche più appetibili da parte dell'utente;
4. la propensione dell'utente ad usufruire del sistema di avviso telematico a seguito di incentivi (sconti) sul pagamento della contravvenzione.

La metodologia seguita verte sull'uso di indagini sia di tipo RP che SP (rispettivamente Revealed Preference and Stated Preferences, Cascetta, 2006) per l'acquisizione dei dati necessari a rispondere ai succitati punti. In particolare, i dati ricavati dall'indagine RP permettono l'acquisizione delle variabili che definiscono l'utente propenso al pagamento (Carrese et al., 2014) e l'analisi dello stato attuale di conoscenza del sistema delle contravvenzioni. I dati acquisiti dall'indagine SP consentono invece di valutare l'efficacia del sistema e l'elasticità in funzione di possibili incentivi.
Partendo dalle indagini RP, il questionario verte sull'acquisizione delle seguenti informazioni:

- definizione delle caratteristiche socio-economiche dell'utente: età, sesso, condizione economica (occupato/non occupato; tipologia di attività lavorativa; tempo pieno/parziale);
- definizione delle caratteristiche di mobilità: possesso di un mezzo di trasporto privato (auto/motociclo), tipologia di mezzo utilizzato per le differenti tipologie di spostamenti, frequenza e lunghezza degli spostamenti usuali e non con mezzo privato, utilizzo di

percorsi abituali o meno, ambito degli spostamenti (urbano, extraurbano, autostradale);

- definizione del rapporto utente-infrazione: infrazioni stradali usuali e loro frequenza, livello di conoscenza dell'attuale sistema di accertamento delle infrazioni e del sistema di avviso di accertamento, conoscenza delle possibili riduzioni sui pagamenti, comportamento nei confronti del pagamento (pagamento immediato o in ritardo, usuale contestazione, etc.).

L'indagine SP si focalizza sulla risposta dell'utenza alla nuova procedura proposta. In primo luogo viene quantificata la predisposizione ad un avviso telematico dell'infrazione. Poi, viene richiesto di indicare i vantaggi più significativi per il singolo e per la comunità derivanti dall'adozione del sistema di notifica telematica. Infine viene richiesta l'effettiva disponibilità a rendere disponibile agli organi accertatori il numero di telefono e/o l'email (associati alla targa) per l'invio immediato dell'avviso. In questa sede è possibile definitivamente classificare l'utenza secondo tre diverse categorie: interessato, non interessato, interessato con sconto. Quest' ultima categoria raccoglie tutti colori che usufruirebbero del sistema solamente a patto di uno sconto sulla contravvenzione.
La fase di *experimental design* risulta cruciale nella stesura del questionario di indagine, soprattutto nel caso delle indagini SP. Per questo sono adottate le usuali tecniche di definizione degli attributi e dei livelli che vanno poi a definire le alternative di scelta e quindi i "profili" (Rotaris, 2003).
Le interviste sono condotte sia via personale che tramite internet attraverso canali di posta elettronica e social network. Queste differenti modalità risultano necessarie al fine di avere un campione quanto più eterogeneo in termini di caratteristiche socio-economiche. Ci si aspetta infatti una maggiore propensione all'uso del sistema per certe categorie di età e fascia economica, cosa che solo l'eterogeneità del campione permette di verificare.

3.2.4 Risultati delle indagini

La campagna di rilevamento dati si è svolta a Roma per un periodo di tre mesi a partire da ottobre 2014. Sono state acquisite complessivamente circa 400 interviste. Di seguito i principali risultati ottenuti:

a) Caratteristiche socio-economiche

Nei riguardi del genere si è osservata una sostanziale equi distribuzione. Mentre, per quanto riguarda l'età del campione, si è osservata la seguente ripartizione: 18-25 anni (38%), 45-55 (21%), 25-35 (13%), 35-45 (12%), 55-65 (12%), più di 65 (4%). Un ulteriore informazione necessaria per l'analisi comportamentale è quella circa l'occupazione. Il campione è stato suddiviso in quattro categorie di cui si riportano le rispettive aliquote: occupati e professionisti (54%), studenti (35%), disoccupati e casalinghe (7%), pensionati (4%).

b) Caratteristiche di mobilità

Le abitudini circa la scelta del mezzo sono state rilevate sia per quanto riguarda gli spostamenti abituali, casa-lavoro o casa-università, sia per gli spostamenti saltuari tipici dei giorni festivi. I risultati hanno mostrato una spiccata tendenza, caratteristica del contesto romano, all'utilizzo dell'automobile in entrambi i casi, rispettivamente il 68% e 78%. L'incremento di 10 punti percentuali per i viaggi 'fuori porta' è evidentemente imputabile alla difficoltà nell'utilizzo di mezzi di T.P. così come di moto o motorini per tali spostamenti. Questa ampia percentuale di campione, congiuntamente a quelli che hanno dichiarato di utilizzare moto o morino (10% per spostamenti abituali) è stata poi interrogata circa l'intestatario del mezzo in questione. Nel 55% dei casi il conducente coincide con l'intestatario, nel 42% è un familiare e la rimanente parte utilizza mezzi privati a noleggio o in condivisione. Si è ritenuto quest'ultimo aspetto di notevole importanza nei riguardi del comportamento verso il pagamento delle contravvenzioni. Infatti, coloro che utilizzano vetture a noleggio o in condivisione sono verosimilmente più predisposti a ritardare il pagamento.

L'ultima informazione richiesta nell'ambito delle caratteristiche di mobilità è quella circa il chilometraggio medio quotidiano. Per quanto un considerevole numero di intervistati non è stato in grado di rispondere (20%), le percentuali maggiori si riferiscono a valori compresi tra i 5-15 km (34%) e tra i 15-30 km (32%).

c) Comportamento nei confronti delle contravvenzioni

Considerando la molteplicità di contravvenzioni a cui l'utenza può incorrere si è scelto di raggruppare le relative infrazioni in tre campi: veicolo in moto (29%), veicolo fermo (37%), mix moto/fermo (12%). A questi tre campi se ne aggiunge un altro che raccoglie coloro che dichiarano di non prendere multe e che dunque non possono indicarne la tipologia più frequente (22%). Per quanto riguarda il numero medio di multe negli ultimi tre anni si è rilevato che il 35% non ne ha prese, il 46% ne ha prese meno

di 3, il 17% tra 3 e 10 e il 2% più di 10. Ulteriori due domande riguardano la conoscenza della normativa: la possibilità di usufruire dell'esenzione dal pagamento delle spese di notifica attraverso il foglietto è nota al 47% degli intervistati; il 73% del campione è a conoscenza dello sconto del 30% derivante dal pagamento della contravvenzione entro 5 giorni. Il preavviso di accertamento, scelto dal 71%, rappresenta la via preferita per il pagamento. Il rimanente 29% utilizza la notifica presso il domicilio e per il 76% dei casi lo fa perché confida nel ritardo del recapito della raccomandata che, se giunge oltre i 90gg dall'accertamento dell'infrazione, rende illegittima la violazione. La domanda conclusiva di questa sezione del questionario accerta la propensione a pagare dell'utente e rappresenta la variabile di uscita del modello comportamentale utilizzato per la definizione dell'utente propenso: l'80% del campione dichiara di pagare subito, il 12% tende a ritardare il pagamento, l'8% manifesta la tendenza a non pagare la contravvenzione.

d) Indagine SP

La proposta di un avviso telematico dell'infrazione viene accolta positivamente dall' 81% del campione. Quando interrogati sui benefici, gli intervistati indicano al 34% lo snellimento della procedura burocratica come vantaggio principale per la comunità. La domanda conclusiva del questionario chiede la disponibilità dell'utenza a fornire i propri contatti telematici per l'invio immediato dell'avviso di violazione e definisce, come già detto nel precedente paragrafo, le tre categorie finali in cui l'utenza è ripartita. Si ha dunque che il 39% aderirebbe alla procedura, il 36% solo a patto di uno sconto e il 25% non accetterebbe in qualsiasi caso.

La Figura 3.2 riassume la suddivisione del campione all'interno delle categorie di comportamento nei confronti delle contravvenzioni nonché le risposte all'indagine SP.

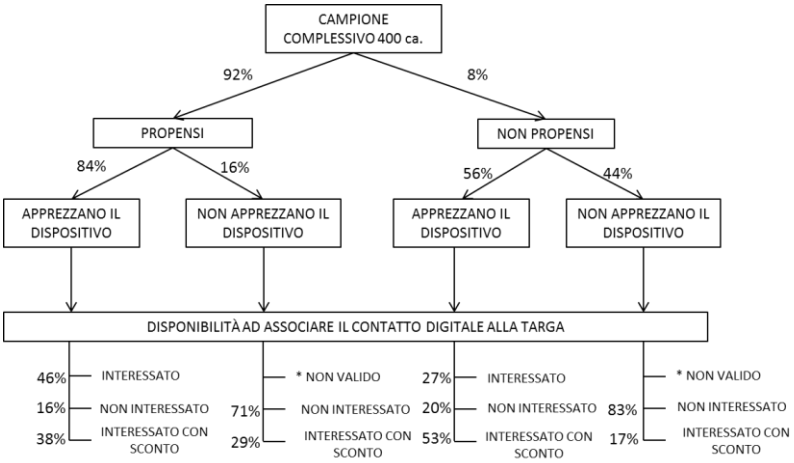

Figura 3.2: Classificazione dell'utenza

3.2.5 Formalizzazione e risultati del modello comportamentale

L'utente propenso al pagamento della contravvenzione e l'utente interessato al sistema di avviso telematico sono modellizzati attraverso due differenti modelli comportamentali basati sulla teoria dell'utilità aleatoria. Il primo modello (MNL1) identifica, attraverso un modello logit binomiale, l'essere o meno propenso al pagamento. Le due opzioni sono state denominate rispettivamente WP road-user e NoWP road-user. Il secondo modello (MNL2) invece individua tre categorie di utente rispetto all'interesse al dispositivo proposto: Interessato (I), Interessato con sconto (IwD), Non Interessato (NoI).
Un modello di tipo cross nested logit sembrerebbe intuitivamente più adatto in quanto l'essere interessato al dispositivo può essere gerarchizzato all'essere propenso al pagamento; i dati hanno però mostrato che le tre uscite dell'indagine SP possono interessare entrambi gli output del primo livello (si veda Figura 3.2) e quindi tutte le alternative del secondo livello appartengono ai "nidi" superiori. Per questo motivo, è preferibile introdurre nel secondo modello (MNL2) una variabile binaria che sintetizzi la propensione al pagamento.
Nella Tabella 3.1 è possibile osservare tutta la lista di attributi che si ha a disposizione.

Indagine RP		
Attributo	Tipologia di variabile	descrizione
Genere	binaria	Femmina (0); Maschio (1)
Occupazione	dummy	Studente (1); Occupato/Professionista (2); Pensionato (3); Disoccupato o Casalinga (4)
Età	dummy	18-24 (1); 25-34 (2); 35-44 (3); 45-54 (4); 55-64 (5); >65 (6)
Scelta modale (viaggi sistematici)	dummy	Moto/Motorino (1); Bicicletta o A piedi (2); Automobile (3); Trasporto Pubblico (4)
Proprietario dell'automobile/moto (viaggi sistematici)	dummy	Familiare (1); ND_TP* (2); Io (3); ND_Car Sharing (4); Leasing (5); ND_Bicicletta (6)
		*[ND: automobile non disponibile]
Chilometraggio quotidiano	dummy	<5 (1); 5÷15 (2) ; 15÷30 (3); 30÷60 (4); >60 (5)
Scelta modale (viaggi saltuari)	dummy	Moto/Motorino (1); Bicicletta o A piedi (2); Automobile (3); Trasporto Pubblico (4)
Proprietario dell'automobile/moto (viaggi saltuari)	dummy	Familiare (1); ND_TP* (2); Io (3); ND_Car Sharing (4); Leasing (5); ND_Bicicletta (6)
Tipologia usale di contravvenzione	dummy	Veicolo parcheggiato (1); Veicolo in movimento (2); Misto parch./mov. (3); No contravvenzioni(4)
Numero di contravvenzioni negli ultimi tre anni	dummy	0 (1); <3(2); 3÷10 (3); >10 (4)
Informato dei benefici relativi all'avviso di accertamento	binaria	No (0); Sì (1)
Informato dei benefici relativi alla notificazione del verbale di accertamento	binaria	No (0); Sì (1)
Scelta avviso o notifica	binaria	Avviso (0); Notifica (1)
Perché notifica	dummy	ND_ Scelto avviso (1); Non pago (2); Spero decada al termine dei 90 gg e non mi arrivi la notifica(3); La contesto in ogni caso (4);
Utente propenso (scelta)	binaria	No (0); Sì (1)
Indagine SP		
Apprezzamento del dispositivo	binaria	No (0); Sì (1)
Benefici per l'utente	dummy	Prendo atto immediatamente della contravvenzione (1); Non ci sono più rischi legati all'avviso (2); Posso contestare immediatamente (3); Posso intervenire per evitare la rimozione del veicolo (4); Altro (5);
Benefici per la comunità	dummy	Risparmio cartaceo (1); Velocizzazione della procedura (2);Riduzione degli errori (3); Altro (4);

Tabella 3.1: Attributi forniti dall'indagine RP/SP

Le funzioni di utilità utilizzate sono state quelle in grado di fornire i risultati statistici più significativi. Per quanto riguarda MNL1, la funzione di utilità è principalmente descritta dall'atteggiamento del soggetto decisore rispetto al pagare la multa attraverso il foglietto oppure tramite notifica (attributo

"Choice Warning or Notice" in Tabella 3.2). Ciò non è affatto sorprendente in quanto l'utente che preferisce pagare tramite il foglietto è colui che vuole apprendere immediatamente della contravvenzione e dunque più incline al pagamento. Invece, la funzione di utilità che descrive il NoWP road-user dipende dalle condizioni socio-economiche.
Per quanto riguarda MNL2, l'uscita binaria di MNL1 diventa chiaramente un significativo attributo. In altre parole essere propenso al pagamento della contravvenzione è cruciale per definire l'utente potenziale del nuovo servizio.
La definizione della funzione di utilità e i valori dei coefficienti calibrati sono osservabili nelle Tabella 3.2 e Tabella 3.3.

Funzioni di Utilità Sistematica					
Attributo	V_WP	V_No WP	V_I	V_IwD	V_No I
ASC_WP	√	-	-	-	-
ASC_No WP	-	-	-	-	-
ASC_I	-	-	-	-	-
ASC_IwD	-	-	-	√	-
ASC_No I	-	-	-	-	√
Occupazione	-	√	-	-	√
Scelta avviso o notifica	√	-	-	-	-
WP Driver (Scelta)	Non è un attributo	Non è un attributo	√	-	-
Apprezzamento dispositivo	Indagine SP	Indagine SP	√	-	-

Tabella 3.2: Funzione di utilità sistematica

Estimation results		
ASC_NoWP	-	-
ASC_WP	4.75 (6.38)	-
ASC_I	-	-
ASC_IwD	-	0 (fixed)
ASC_No I	-	2.92 (3.66)
β_ Scelta avviso o notifica	-2.61 (-5.00)	-
β_ Occupazione	0.488 (1.80)	1.08 (4.42)
β_ Apprezzamento dispositivo	-	-0.712 (-2.90)
β_ WP Driver	-	5.03 (6.53)
LogL(0)	-218341	-332880
LogL(β)	-71555	-98243
ρ^2	0.672	0.705
ρ^2 corretto	0.659	0.693
Ricostruzione del campione	0,92	0,36
*Tra parentesi i valori del T-Test		

Tabella 3.3: Risultati della calibrazione

3.3 Modelli di scelta applicati alla *sharing mobility*

Come indicato nel precedente capitolo le tradizionali risorse di mobilità sono tre: auto, abbonamento al Trasporto Pubblico e bicicletta. Nell'ultimo decennio si stanno consolidando diverse realtà che vengono indicate come *sharing mobility*. Le forme più utilizzate sono: *bike sharing*, *car sharing* e *car pooling*, *scooter sharing*, *bike sharing*, *scooter pooling*.
Il problema della natura combinatoria delle scelte intermodali diviene più che mai consistente e complesso se si considera nel ventaglio di scelta modale anche tutte le risorse tipiche della mobilità condivisa. L'approccio proposto precedentemente assume ulteriormente validità se si considera la numerosità delle combinazioni modali che si ottengono inserendo nel portfolio anche le risorse succitate.
In questo capitolo verrà affrontato il tema dell'inserimento di queste nuove risorse di mobilità all'interno di un portfolio tradizionale. Nello specifico verranno discusse due indagini e il relativo modello comportamentale

sviluppati per uno studio sul car pooling (apprezzabile in Carrese et al., 2017) ed uno sul car sharing.
L'indagine e i modelli sviluppati permettono stima della potenziale domanda di tali servizi e una identificazione degli attributi che caratterizzano l'utente propenso ad ampliare il suo portfolio di mobilità con la sottoscrizione a servizi di mobilità condivisa.
È importante notare che non si sta sviluppando un modello di scelta modale ma l'obiettivo è quello di valutare, attraverso un approccio che trae spunto dalle indagini e dalle considerazioni tipiche della psicologia sociale e della psicometria, gli aspetti che muovono negli individui una crescente adesione alla mobilità sostenibile e condivisa.

3.3.1 Indagine e modello sul car pooling

I dati per quest'indagine, ottenuti tramite la divulgazione di un questionario, sono stati presi grazie al supporto fornitoci dalla piattaforma *Moovit*. Il servizio nato in Israele vanta oltre 50 milioni di utenti in tutto il mondo a supporto di 1200 città, 68 paesi e dispone 47 lingue differenti. Inizialmente nata come applicazione per il trasporto pubblico, si configura come pianificatore di viaggio in tempo reale. Ciò che l'ha distinta dalle precedenti e tradizionali applicazioni del trasporto pubblico è l'aver integrato ai dati provenienti dai GPS a bordo dei veicoli quanto rilevato dalla comunità di utenti connessi.
Ultimamente la compagnia sta lanciando un'estensione del servizio promuovendo il servizio di car pooling. L'applicazione mette in contatto gli utenti del trasporto pubblico e gli automobilisti che vanno nella stessa direzione. I passeggeri che usano il servizio contribuiscono a rimborsare le spese di parte dei costi sostenuti dal conducente. I termini di servizio non consentono un utilizzo commerciale o a scopo di lucro della piattaforma.
Vista la recente attivazione di *Moovit Carpool* nell'area della Regione Lazio, l'indagine è stata condotta con lo scopo di analizzare gli aspetti socio economici e comportamentali della domanda reale e potenziale del nuovo servizio di car pooling. Per somministrare l'indagine ad un campione di utenti *Moovit app* sono state inviati notifiche *push* e messaggi popup a circa 200.000 utenze nell'area della Regione Lazio (Italia). Il questionario è stato divulgato a Marzo 2017. Il campione intervistato consta di 2.294 elementi al netto di interviste inutilizzabili. Il campione è eterogeneo rispetto all'età,

il 52% è composto da donne. Per quanto riguarda l'età, la Figura 3.3 mostra l'esito dell'indagine.

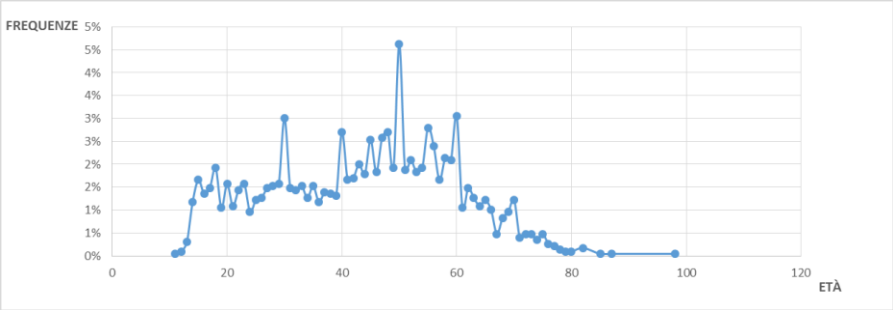

Figura 3.3: Frequenza-età

Per quanto riguarda la caratterizzazione lavorativa degli intervistati, sì riporta la composizione del campione in Tabella 3.4

Occupazione	%
Studenti	14.6
Lavoratori dipendenti	39.9
Liberi Professionisti	14.6
Imprenditori	1.8
Disoccupati	7.1
Pensionati	9.2
Non specificato	12.8

Tabella 3.4: Occupazione dichiarata dagli intervistati

La conoscenza del servizio, attributo che si rivelerà significativo nel modello comportamentale, si articola su tre livelli: (1) coloro che già hanno provato il servizio, (2) coloro che non l'hanno provato ma lo conoscono, (3) coloro che non ne hanno sentito parlare. Di seguito i risultati.

Si, come passeggero	13%
No, ma lo conosco	51%
No, non ne ho mai sentito parlare	36%

Un primo aspetto fondamentale che l'indagine intende evidenziare, è quello della percezione della funzionalità del servizio nei termini in cui si viene presi nei tempi e nei luoghi previsti. Quest'informazione prende la forma di una preferenza rilevata (Revealed Preference, si veda il paragrafo 2.5) per coloro che hanno già usufruito del servizio, altrimenti si configura come

preferenza dichiarata (Stated Preference). Il metro di risposta utilizzato è una scala *Likert* da 1 (giudizio decisamente negativo) a 7 (giudizio decisamente positivo). Nella Figura 3.4 sono sintetizzati i risultati.

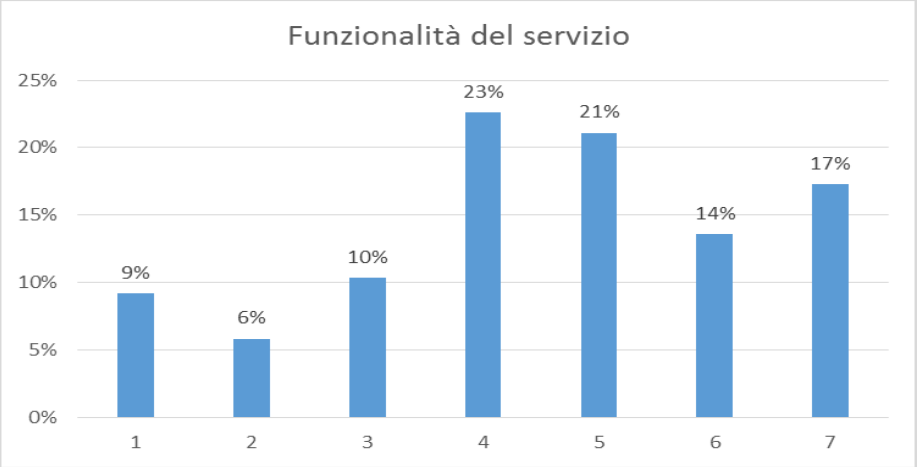

Figura 3.4: Funzionalità del servizio

Il giudizio sulla funzionalità del servizio è complessivamente positivo. Prevalgono valutazioni medio-alte (punteggi 4 e 5). Questo risultato è una conseguenza della diffusione delle app per smartphone e dei sistemi ATIS (vedi capitolo 3) che hanno reso estremamente affidabili i servizi di localizzazione e di stima dei tempi di viaggio. Un altro aspetto fondamentale e caratterizzante del car pooling e quello inerenti al comfort relazionale, cioè di interazione, nel condividere un viaggio con un conducente sconosciuto. Il metro valutativo è lo stesso descritto precedentemente per la funzionalità. La Figura 3.5 riassume i risultati.

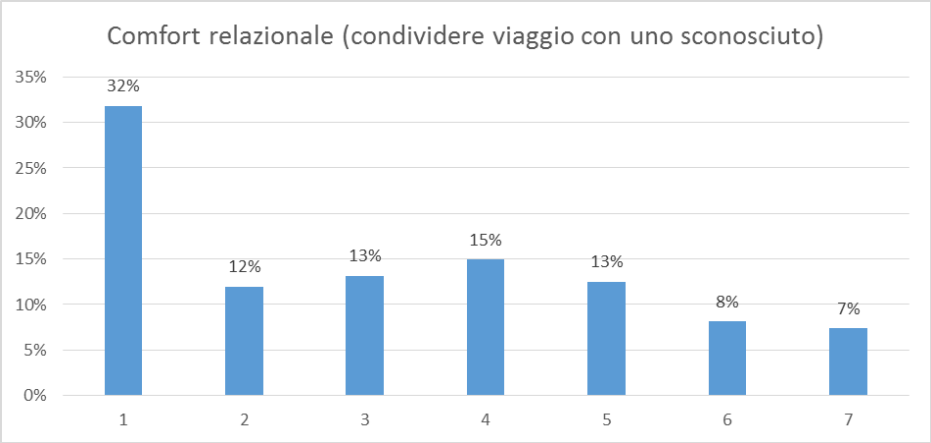

Figura 3.5: Comfort relazionale

Per quanto queste due variabili (funzionalità e comfort) siano correlate positivamente (r = 0,36), è evidente un diffuso giudizio negativo circa la propensione alla condivisione di un viaggio.
Come detto precedentemente il car pooling coinvolge l'utenza sia in termini di domanda che in termini di offerta. L'applicazione *Moovit car pooling* è uno strumento rivolto agli utenti del servizio di trasporto pubblico per i quali la piattaforma è inizialmente nata da supporto. Conseguentemente, il campione di quest'analisi è stato osservato per delineare le caratteristiche e il comportamento dell'utenza dal lato passeggero (domanda). Non è da escludere che utenti del trasporto pubblico possano rivestire anche il ruolo del conducente (offerta), ma il campione non è attendibile per definire il profilo del conducente. Tale figura andrebbe ricercata in modo più efficace tra gli utenti del trasporto privato.
Il modello di scelta discreto utilizzato è un logit binomiale il cui obiettivo è quello di individuare gli attributi più rilevanti per un potenziale utente del servizio. Per utente potenziale si intende un individuo che ritiene il car pooling un'alternativa valida per i suoi spostamenti sistematici; in altre parole una risorsa di viaggio che a buon titolo può inserirsi nel suo portfolio personale. La scelta di un output dicotomico ha lo scopo di dividere il campione intervistato in due gruppi: coloro che inserirebbero questa risorsa nel loro portfolio (CP nel modello) e coloro che tendono a escluderla (NCP nel modello). Le funzioni di utilità sono date da:

$$U_{CP} = ASC_{CP} + \beta_{HIC} * HIC + \beta_{HU} * HU$$
$$U_{NCP} = ASC_{NCP} + \beta_{LIC} * LIC + \beta_{LU} * LU + \beta_{G} * G + \beta_{K} * K$$

dove HIC sta per alto livello di comfort nell'interazione (dall'inglese *High Interaction Comfort*), HU sta per alto livello di funzionalità del servizio (dall'inglese *High Usefulness*), LIC sta per basso livello di comfort nell'interazione (dall'inglese *Low Interaction Comfort*) e LU sta per basso livello di funzionalità (*Low Usesfulness*), G rappresenta il genere e K la conoscenza del servizio (dall'inglese *Knowledge*). La calibrazione del modello ha rivelato che attributi come età e condizione lavorativa non sono statisticamente significativi. I risultati della calibrazione sono esposti nella Tabella 3.5 ove tra parentesi sono indicati i valori del T-test

Model: Binomial Logit	
Number of observation	2100
Null log-likelihood	-1455.609
Final log-likelihood	-1085.151
ρ^2	0.26
Smallest singular value of the Hessian matrix	19.57
ASC_CP	0.306 (2.15)
ASC_NCP	0.00 (fixed)
Gender	-0.34 (-3.07)
knowledge	-0.525 (-4.70)
high usefulness	0.416 (3.71)
high interaction comfort	0.916 (5.94)
low usefulness	1.87 (9.23)
low interaction comfort	1.40 (11.41)

Tabella 3.5: Risultati della calibrazione

I coefficienti calibrati esibiscono modulo e segno coerenti con le funzioni di utilità. Il segno negativo del genere fornisce un primo aspetto interessante. Il genere è una variabile binaria a cui è stato assegnato il valore 1 se la persona è una donna. Poiché il genere compare nell'espressione dell'utilità del NCP, si può affermare che essere una donna è un vantaggio (un'utilità) per la propensione al fare car pooling come passeggero. Ciò è in accordo con precedenti studi di letteratura (vedi Caulfield, 2009 e Delhomme, 2016). La familiarità con il servizio, ovvero aver provato o essere entrato in contatto con il car pooling, anche solo a livello informativo, esibisce un valore significativo con segno positivo. Ciò può essere spiegato dal fatto che il servizio e la piattaforma hanno ottenuto un feedback positivo dagli utenti. Questo risultato riflette "la paura dell'ignoto" come indicato da Shaheen et al. (2016), e suggerisce l'importanza di azioni di promozione del servizio. L'efficacia di misura di

promozioni è un argomento ancora in fase di studio (vedi Vanoutrive et al., 2012).
Per quanto riguarda la funzionalità, di cui si già parlato nel precedente paragrafo, per motivi di trattabilità matematica è stata divisa su tre livelli: bassa funzionalità; media funzionalità; alta funzionalità. Il livello medio è stato assunto come punto di riferimento e gli altri due sono stati inclusi nel modello come indicatori binari. Come ci si appettava, il coefficiente relativo all'alto livello di funzionalità appare con segno positivo in quanto incluso nella specificazione dell'utilità del CP.
Gli stessi criteri di clusterizzazione e di inclusione nel modello fatti per la funzionalità sono stati usati per il comfort di interazione (relazionale). Dunque si hanno tre gradi di giudizio di cui uno, il medio, è stato assunto come riferimento e gli altri inclusi come indicatori binari. Il coefficiente relativo all'alto livello di comfort relazionale è maggiore di quello relativo all'alto livello di funzionalità. Ciò indica che un elevato comfort nel condividere un viaggio (rivelato o dichiarato) è un predittore più forte dell'alta funzionalità. Al contrario, il coefficiente relativo al basso livello di funzionalità fornisce un valore più alto di quello relativo a bassi livelli di comfort nell'interazione (entrambi sono inclusi nella definizione dell'utilità di NCP). Dunque, una bassa percezione delle performance tecniche, precisione nei tempi e nei luoghi di prelievo, è un fattore più scoraggiante.
La Tabella 3.6 mostra l'effetto positivo della conoscenza del servizio a livello di dati aggregati. Gli utenti ignari, cui è stata dunque rivolta un'indagine SP, tendono a dichiarare opinioni negative in misura maggiore di quelli che conoscono il servizio, cui è stata rivolta un'indagine RP. Allo stesso modo, alte valutazioni (positive) sono molto frequenti per utenti familiari al carpooling.

	RP evaluation	SP evaluation	Awarness effect
Low interaction comfort	40%	44%	-4%
Med interaction comfort	28%	30%	-2%
High interaction comfort	31%	26%	6%
Low usefulness	12%	14%	-3%
Med usefulness	33%	36%	-3%
High usefulness	55%	50%	5%

Tabella 3.6: Effetto della familiarità

In entrambi i casi, valutazioni RP o SP, bassi livelli di comfort mostrano alti percentuali di share, rispettivamente 40% e 44%. Ciò è dovuto a una forte inerzia nel viaggiare come passeggero con un conducente sconosciuto. Tale inerzia è dovuta sia a questioni di sicurezza personale che a difficoltà sociali nell'interazione (vedi Van Lange et al. 1998).
Un modello comportamentale più specifico, i cui risultati sono mostrati in Tabella 3.7, compara i risultati rispetto a uomini e donne. Il database completo è stato dunque diviso in due parti rispetto al genere. Si noti che l'attributo specifico dell'alternativa CP e l'attributo Knowledge usati precedentemente sono stati entrambi soppressi ai fini di una valutazione esclusiva del peso della funzionalità e del comfort relazionale.

	Woman	Man
Observed	1096	1004
Low interaction comfort	0.670 (5.83)	0.972 (6.41)
High interaction comfort	1.27 (6.02)	1.48 (8.31)
Low usefulness	1.73 (6.57)	1.02 (3.54)
High usefulness	0.963 (7.68)	0.758 (5.91)

Tabella 3.7: Confronto uomo/donna

Le donne, rispetto agli uomini, sono più sensibili alla funzionalità piuttosto che all'interazione. Infatti, sia il coefficiente della bassa che dell'alta funzionalità sono più alti. Al contrario gli uomini si mostrano più sensibili al comfort relazionale.
In conclusione, il modello di scelta discreta binomiale ha fornito diversi spunti nei confronti del fenomeno del car pooling. In particolare l'effetto dell'informazione (conoscenza del servizio), il genere, la funzionalità e il comfort relazionale giocano un ruolo fondamentale nella definizione di un potenziale soggetto che all'interno del suo portfolio inserirebbe una sottoscrizione al servizio di car pooling in qualità di passeggero.

3.3.2 Indagine e modello sul car sharing

Il presente studio viene da un progetto di ricerca sviluppato da un accordo tra ENEL ENERGIA Spa e L'università Roma Tre. Il progetto promuove lo sviluppo un sistema di car sharing elettrico per gli studenti e il personale dell'ateneo. A tale scopo sono state predisposte 56 stazioni di ricarica (1 colonnina di ricarica per due posteggi) nei diversi dipartimenti e un totale di 30 automobili a trazione elettrica. Il servizio è concepito per essere *free*

floating, ovvero sussiste vincolo di lasciare l'automobile presso una colonna di ricarica. Come per qualsiasi servizio di car sharing esistono però delle limitazioni spaziali entro le quali l'automobile non può essere lasciata.
I dati sono stati raccolti attraverso la somministrazione di un'indagine di tipo RP e SP precedente all'attivazione del servizio. Il questionario ha dunque l'obiettivo di cogliere la potenziale domanda del servizio, focalizzandosi sugli aspetti socio-economici, su quelli legati alla mobilità e sugli aspetti comportamentali fondamentali per la caratterizzazione del rapporto tra utente e veicolo elettrico in condivisione.
Al netto di interviste incomplete o inutilizzabili è stato osservato un campione di 950 elementi.
Il campione è costituito perlopiù da studenti (82%); altre posizioni sono impiegati (7%), professori (7%) e una categoria mista di dottorandi e ricercatori, denominata DAB (4%). Il campione selezionato rappresenta dunque maggiormente la fascia di età compresa tra i 18 e i 35 anni.
Per quanto riguarda il reddito familiare medio, il 59% del campione dichiara di essere al di sotto dei 2000 euro mensili, il 28% si colloca nella fascia compresa tra i 2000 euro e 4000 euro, il rimanente 13% dichiara un guadagno medio familiare mensile superiore ai 4000 euro.
L'analisi delle caratteristiche di mobilità ha dunque evidenziato che il 34% del campione effettua spostamenti di corto raggio, ovvero inferiori a 5 km; il 28% effettua spostamenti compresi tra i 5 km e i 15 km; il 16% effettua spostamenti di lungo raggio compresi tra i 15 km e i 25 km; il rimanente 22% effettua spostamenti maggiori di 25 km. Il campione appare dunque sensibilmente diversificato in termini di distanza percorsa nello spostamento sistematico per recarsi all'università.
Dal momento in cui si sta studiando una forma di mobilità di nuova generazione e di cui ci si può avvalere solamente attraverso l'utilizzo di apposite applicazioni per smartphone, agli intervistati è stato richiesto di specificare le loro abitudini in merito: è emerso che la quasi totalità del campione ha effettivamente a disposizione uno smartphone e il 55% utilizza applicazioni di mobilità.
Il concetto di car sharing elettrico per sua natura stimola la sensibilità dell'utenza su due fronti distinti. In primo luogo il concetto di car sharing, cioè condivisione dell'auto, suggerisce un'assenza di proprietà diretta sul mezzo.
L'automobile ha assunto nel corso del tempo un significato simbolico che prescinde dalla sua funzione di mezzo di trasporto. Al possesso

dell'automobile è infatti associabile un sentimento di positiva autorappresentazione dell'individuo (Z. Zhao e J. Zhao, 2015). Inoltre, diversi studi, come quelli di Stokes and Hallett (1992) e Gatersleben (2007), hanno evidenziato gli aspetti simbolici e affettivi legati all'utilizzo dell'automobile. Sorgono dunque spontanee le domande: come viene accolta dagli individui una forma di mobilità che prevede l'utilizzo di una macchina condivisa tra più persone e che non si configura come ride sharing? Può essere solo un'alternativa da usare in modo saltuario o nel corso degli anni sancirà la definitiva sostituzione dell'automobile di proprietà? Il presente studio non ha l'ambizione di dare una risposta, seppure in forma di "stima", a questi quesiti, ma verrà valutato attraverso un modello comportamentale in che misura gli studenti ed il personale dell'ateneo sono disponibili e suscettibili alla condivisione di un'automobile per recarsi all' università. Uno studio condotto da Martin e Shaheen (2011) ha però mostrato la sostanziale riduzione nel numero di automobili possedute in famiglia all'interno di una comunità di utenti di diversi fornitori di car sharing del Nord America prima e dopo la sottoscrizione al servizio.

Nel presente lavoro la propensione alla condivisione di una vettura è stata valutata attraverso l'attributo definito *Sharing Attitude* (SA).

Per determinare la SA, sono state proposte quattro domande agli intervistati circa le loro esperienze in merito alla condivisione di beni legati alla mobilità (car sharing e car pooling) o di spazi (cohousing). I dati hanno mostrato che la SA diminuisce all'aumentare dell'età. Inoltre, il 15% degli studenti e DAB hanno dichiarato alti valori di SA, mentre solo l'8% dei professori si è collocato nella fascia di alta di SA. Per quanto riguarda il genere, gli uomini hanno dimostrato una maggiore inclinazione alla condivisione di beni e servizi rispetto alle donne (rispettivamente il 60% e il 40% negli alti valori di SA). Questo risultato è in contrasto con quanto osservato per il car pooling in cui c'è una maggiore predisposizione ad utilizzare il servizio come passeggero da parte delle donne. Ciò è probabilmente spiegabile dal fatto che nel car sharing l'utente si configura come guidatore del veicolo, e quindi come una figura eventualmente confrontabile con chi utilizza il car pooling come conducente.

L'altro aspetto studiato è quello della natura elettrica del veicolo e la conseguente drastica riduzione di impatto ambientale in termini di emissioni. Cosa motiva la gente ad adottare atteggiamenti pro-ambientali è diventato un problema centrale della ricerca socio ambientale (Sauders 2003 e Stern 2005). L'influenza normativa è emersa come un fattore

importante per l'adozione di comportamenti favorevoli all'ambiente; il concetto di norma sociale è infatti fondamentale per la comprensione del comportamento umano. Higgins (1987) definisce tre domini del sé: il sé reale (la rappresentazione degli elementi che l'individuo possiede realmente); il sé ideale (la rappresentazione degli elementi che l'individuo vorrebbe idealmente possedere); il sé normativo (la rappresentazione degli elementi che l'individuo ritiene dovrebbe avere). Tronu et al. (2012) forniscono una rassegna sulle diverse tipologie di normativa e i modelli attraverso i quali queste influiscono sul comportamento. Schwartz (1977) distingue chiaramente tra norma sociale e norma personale. Egli vede la norma sociale come se essa riflettesse l'aspettativa di persone che l'individuo percepisce come significative. L'impatto di una norma sociale è dunque visto come una pressione sociale ovvero come la paura di una sanzione sociale, mentre le norme personali si riferiscono alla convinzione dell'individuo che agire in un certo modo sia giusto o sbagliato. Sostengono inoltre che la volontà individuale di rispettare la propria norma personale non è legata alla paura di una sanzione ma all'anticipazione di un sentimento negativo, come colpa o pentimento, per l'aver infranto la propria norma personale.

Diversi studi hanno mostrato che la quotidiana scelta del mezzo di trasporto è un valido contesto per osservare il ruolo delle norme personali in relazione alle scelte pro-ambientali. Hunecke et al (2001) hanno evidenziato una significativa associazione tra le norme personali e la scelta modale; Bamberg et al. (2007) hanno evidenziato il ruolo delle norme personali nella scelta di utilizzare il trasporto pubblico.

L'ipotesi di base di questo lavoro è che ai diversi livelli di attenzione alle tematiche ambientali dichiarati dagli utenti sia associato un certo un certo livello di norma personale e che esso sia un predittore dell'intenzione di utilizzare un mezzo elettrico in condivisione. L'attributo utilizzato per misurare la sensibilità ambientale è stato denominato *Green Attitude* (GA). I dati hanno mostrato che la GA non dipende dal genere ma c'è una correlazione positiva con l'età. Circa il 70% dei rispondenti oltre i 45 anni ha dichiarato di essere sensibile alle tematiche ambientali; tale valori si abbassa al 55% per gli studenti tra i 18 e 25. È infatti intuibile che gli effetti comportamentali dell'interiorizzazione delle norme sociali nei riguardi dell'ambiente, ovvero della loro assimilazione a norme personali, sono più evidenti tra gli adulti. La GA è strettamente legata anche alle abitudini di mobilità; all'aumentare dell'utilizzo della vettura privata la GA diminuisce mentre tende ad aumentare per gli utenti del trasporto pubblico. Il 73% di

coloro che non usano la macchina per i viaggi sistematici ma che invece prediligono l'utilizzo del trasporto pubblico manifesta alti valori di GA. Questo risultato è in linea con quanto osservato da Bamberg et al (2007).
A partire dai risultati dell'indagine, è stato sviluppato un modello comportamentale di scelta discreta tra le alternative modali già utilizzate e la nuova proposta di un car sharing elettrico. Il modello di scelta discreto utilizzato è un logit multinomiale e le alternative considerate nell'insieme di scelta sono: vettura privata, trasporto pubblico (bus e metro), car sharing elettrico.
Le funzioni di utilità sono date da:

$V_{CAR} = ASC_{CAR} + \beta_{GA} * GA + \beta_{Tcar} * T_{CAR}$
$V_{BUS} = ASC_{BUS} + \beta_{PT} * T_{PT}$
$V_{EVCS} = ASC_{EVCS} + \beta_{SA} * SA + \beta_{DA} * DA$

La Tabella 3.8 mostra il significato la tipologia di variabili incluse.

Attribute	Unit	Description
GA	dummy	Likert scale from 1 (very low) to 5 (very high)
SA	dummy	Likert scale from 1 (very low) to 5 (very high)
DA	binary	Car sharing device attitude: No (0); Yes (1)
T^{CAR}	min	Travel time home to University in the morning driving car
T^{PT}	min	Travel time home to University in the morning riding PT

Tabella 3.8: Specificazione degli attributi

La calibrazione del modello ha rivelato che l'attributo relativo al reddito non è statisticamente significativo. I risultati della calibrazione sono esposti nella Tabella 3.9 ove tra parentesi sono indicati i valori del T-test.
I coefficienti calibrati esibiscono modulo e segno coerenti con le funzioni di utilità. Il coefficiente relativo alla GA appare con segno negativo ed è incluso nell'utilità dell'automobile. Questo risultato sottolinea che all'aumentare della sensibilità nei confronti della tutela ambientale e all'adozione di comportamenti pro ambientali corrisponde una crescente disutilità ei confronti del veicolo privato.
Come ci si aspettava la SA, inclusa nell'utilità del servizio di car sharing elettrico, appare con segno positivo.

Estimated coefficients	
ASC Car	3.19 (7.53)
ASC PT	-
ASC EVCS	-
GA	-0.448 (-4.71)
SA	0.430 (3.81)
CS_DA	1.55 (10.93)
T^{CAR}	-0.0182 (-3.45)
T^{PT}	0.00799 (4.10)
LogL(β)	-671191
LogL(0)	-810374
ρ^2	0.172

Tabella 3.9: Risultati della calibrazione

È facilmente intuibile che la propensione alla condivisione di beni è un fattore al cui aumento è associabile una crescente propensione al servizio proposto.
Analogamente, l'abitudine all'utilizzo di applicazioni per la mobilità su dispositivi mobili assume un peso positivo e rilevante nell'utilità del servizio in fieri.
Il modello comportamentale ha validato quanto espresso dalle teorie comportamentali nei riguardi di atteggiamenti pro-ambientali ed ha sottolineato in che misura una vettura elettrica in condivisione possa essere considerata un'alternativa modale il cui utilizzo è influenzato dal ruolo delle norme personali.

4 Sistemi di supporto dinamici e comportamentali

4.1 Introduzione

In questo capitolo sono descritti e analizzati diversi aspetti relativi alla scelta modale in un contesto di scelta multimodale con particolare riferimento agli ATIS. Inquadrare i sistemi informativi nell'ambito degli ABM fornisce un valido approccio per definire l'architettura logica di un pianificatore di viaggio intermodale (IJP) che accompagni l'individuo durante la sua catena degli spostamenti quotidiani e che sia profilato sulle effettive esigenze e disponibilità modali individuali.
Un dispositivo così definito assume le caratteristiche di tutor del viaggiatore. Rehrl et al. (2008) introducono il concetto di *personal travel companion* sviluppando un prototipo di dispositivo personalizzato e in grado di supportare l'utente nella fase di cambio modale.
L'idea di base è quella di tenere presente nella definizione di un IJP che la scelta modale che l'utente compie è dipendente da tutte le attività che costituiscono la sua catena degli spostamenti quotidiana. Analogamente la disponibilità di risorse di mobilità non è trattata staticamente ma dinamicamente in quanto anch'essa dipende dall'evoluzione delle attività svolte durante la giornata.
Un'ampia letteratura scientifica si è concentrata sulla scelta modale con un approccio *activity-based*. Secondo Bath e Singh (2000) la catena di spostamenti quotidiana è suddivisa in sottomodelli (*subpatterns*) che contengono dei *tours* ossia circuiti che iniziano e si chiudono a casa (*home-based tour*) oppure che iniziano e finiscono a lavoro (*work-based tour*). Cirillo e Axhausen (2002) hanno mostrato che nella maggior parte dei casi questi tours sono effettuati secondo una scelta monomodale. Ramadurai e Srinivasan (2006) studiano le dinamiche e la variabilità nelle scelte modali all'interno di tutta la catena degli spostamenti quotidiana. Hensher e Reyes (2000) hanno investigato la relazione tra la complessità dei tour e l'utilizzo del trasporto pubblico. Il loro studio ha rilevato che catene di spostamenti più complesse implicano una riduzione dell'utilità ottenuta dall'utilizzo del trasporto pubblico. Ho e Mulley (2013) hanno proposto un nuovo approccio per la scelta modale a livello di tour che tiene conto non solo del numero di attività costituenti la catena, ma anche dalla loro distribuzione spaziale. I risultati hanno indicato che all'aumentare della dispersione delle attività i tour tendono ad orientare l'utenza verso l'uso dell'automobile.

Un tema diffusamente affrontato dalla comunità scientifica riguarda l'integrazione degli Activity Based Models (ABM) con i modelli di assegnazione dinamica (DTA). Per gli scopi di questo lavoro non è possibile offrire una bibliografia esaustiva dei contributi più rilevanti, tuttavia tra questi si citano: Lin et al. (2008), Balmer et al. (2009), Pendyala et al. (2012), Auld et al. (2015). Parallelamente si è sviluppata un'ampia letteratura che integra i modelli DTA con le informazioni ottenute dagli ATIS. Kucharski e Gentile (2016) hanno sviluppato un modello probabilistico di diffusione dell'informazione per simulare la scelta di diversione in sede di assegnazione dinamica. Kondury et al. (2013) definiscono un framework in cui un ABM e un modello DTA sono accoppiati tramite un continuo flusso di informazioni nel tempo. Il loro studio ha mostrato che gli effetti di disturbi inattesi sulla rete vengono mitigati dalla diffusione di informazioni attraverso gli ATIS. Risulta quindi chiaro il duplice interfacciarsi di ATIS e ABM con i modelli DTA; rimane però inesplorato il legame tra la scelta modale nel contesto degli ABM e gli emergenti dispositivi IJP.

Proprio in virtù della natura combinatoria delle scelte intermodali, i dispositivi ATIS attualmente in uso forniscono soluzioni intermodali fisse e che non considerano tutte le risorse di mobilità di cui eventualmente l'utente dispone. Da un punto di vista dinamico, si osserva che il ventaglio di soluzioni modali (modo singolo o combinazioni) dipende strettamente dalle risorse effettivamente possedute dall'utente e dall'evoluzione della sua catena di spostamenti. Se normalmente il passaggio concettuale tra la statica e la dinamica rende i problemi relativi alla modellazione dei trasporti più complessi, stavolta paradossalmente il caso dinamico semplifica il problema statico che è intrattabile a livello computazionale. Inoltre, attraverso un'analisi aggregata dei dati è possibile definire un insieme di alternative di trasporto entro il quale l'utente fa la scelta che massimizza la sua utilità. Come può infatti una piattaforma di supporto enumerare e stimare, cioè processare, i tempi di tutte le combinazioni monomodali e intermodali possibili per una qualsiasi coppia O/D richiesta? Per affrontare la complessità derivante dall'enumerazione di tutte le alternative monomodali e delle loro combinazioni intermodali viene sviluppato un metodo dinamico, comportamentale e basato sulle attività. L'insieme delle possibili alternative è infatti vincolato dalle disponibilità modali del singolo le quali al loro volta dipendono dall'evoluzione del suo trip chaining.

La principale novità introdotta sta nella definizione di un sistema informativo dinamico. I sistemi ATIS attualmente in uso supportano l'utente sulla singola attività (viaggio) che deve essere svolta; ogni spostamento è visto come un evento indipendente per il quale l'utente fa una nuova e separata decisione nei riguardi della scelta modale.
Si vuole dunque sottolineare il concetto per cui l'IJP è costantemente aggiornato durante il giorno sull'evoluzione della catena degli spostamenti in termini di attività e disponibilità modali e fornisce soluzioni di viaggio attraverso un processo di simulazione comportamentale.
I risultati ottenuti sono promettenti per lo sviluppo di applicazioni *online*.
In ultimo, come naturale conseguenza del tema affrontato, si pone la questione relativa alla previsione delle variabili che nell'applicazione online vengono assunte come dati di input. Estrapolando il concetto di "attività" dalla catena di spostamenti quotidiani e portandolo a un livello superiore, si osserva l'esistenza di un insieme di attività, Le Vine et al. (2014) lo chiamano PAS, la cui accessibilità è determinante circa la scelta di dotarsi di determinate risorse di mobilità. Su questa base teorica è possibile costruire un modello comportamentale di scelta per la previsione *offline* del portfolio di mobilità.

4.2 Architettura logica di un IJP dinamico

Come detto nel paragrafo 2.4.1, se si lascia cadere l'ipotesi di monomodalità, nel caso più generale di *n* modi (portfolio completo) si hanno $\sum_{i=1}^{k} n!/(n-k)!$ possibili scelte modali.
La complessità derivante dalla natura combinatoria delle scelte intermodali, può essere affrontata con un approccio comportamentale e basato sulle specifiche necessità dell'utente. Il valore di *n* è infatti variabile per ogni soggetto decisore e dipende dallo spazio e dal tempo. Dichiarando il suo specifico portfolio, l'utente permette al sistema di tagliare tutte le soluzioni modali che coinvolgono risorse non disponibili.
È dunque chiaro che l'utente *i* possiede uno specifico portfolio che varia nel tempo e nello spazio e delle abitudini di viaggio che definiscono un insieme di alternative di viaggio monomodali. Rimangono da chiarire due aspetti: quanti e quali mezzi diversi (soluzione intermodale) possono essere combinati per un determinato viaggio? Sotto quali condizioni possono essere prese in considerazione queste alternative intermodali?

Alla prima domanda si può rispondere attraverso l'analisi dei dati di mobilità specifici del contesto urbano in cui si sta lavorando. Intuitivamente in ambito urbano è raro utilizzare più di due mezzi $(k = 2)$, corrispondenti ad una transizione modale. È solo attraverso l'analisi dei dati che si può confermare questa tesi, e valutare quali alternative vengono combinate insieme e con che sequenza. Il caso studio di Copenaghen, descritto nel successivo paragrafo, mostrerà come per quello specifico contesto ha senso considerare solo la sequenza intermodale costituita dalla transizione tra bicicletta e trasporto pubblico. Ciò che resta alla sensibilità e al buon senso del progettista sono i valori percentuali con cui determinate scelte vengono effettuate dall'utenza e la loro conseguente inclusione o esclusione nell'insieme delle alternative modali presenti nel modello. Quest'osservazione non deve sorprendere il lettore, qualsiasi ATIS di uso comune non tiene conto di rare soluzioni modali.

La seconda questione è affrontabile mediante un approccio disaggregato comportamentale basato sui modelli di scelta discreta. Definito il set di alternative utilizzate, sia monomodali che intermodali, queste vengono inserite in un modello di ripartizione modale che le contempli tutte. La calibrazione dei coefficienti porta alla definizione della probabilità di scelta di ciascuna alternativa in funzione degli attributi selezionati che riguardano le caratteristiche del singolo decisore e del viaggio. Il portfolio svolge chiaramente il ruolo della disponibilità di risorse modali. Dunque, dato un generico utente i e un viaggio s_j, può essere calcolata la probabilità con cui egli sceglie le alternative di viaggio che il suo portfolio gli consente attraverso una procedura di simulazione comportamentale.

Si pone ora una nuova questione, nel caso di scelte modali che coinvolgono mezzi di proprietà dell'individuo (tipicamente automobile e bicicletta) il portfolio varia dinamicamente durante lo svolgimento della catena di attività quotidiane. La scelta effettuata dall'utente, sia questa quella suggerita dall'IJP o meno, può produrre un effetto sul portfolio; se la bicicletta o la macchina è utilizzata per raggiungere una stazione del trasporto pubblico, queste risorse non sono più disponibili nel portfolio. Vengono dunque eliminate da esso e i viaggi successivi della catena verranno effettuati con altri mezzi disponibili. Analogamente, l'avere scelto il trasporto pubblico come primo mezzo di trasporto della catena "svuota" il portfolio delle risorse di proprietà del soggetto decisore qualora queste siano presenti.

Il sistema IJP attraverso la localizzazione GPS e attraverso l'effettiva scelta modale fatta dall'utente memorizza l'evoluzione della catena di attività e del portfolio. Ciò rappresenta un'ulteriore semplificazione del processo di enumerazione delle alternative modali disponibili per l'utente in un preciso istante del suo trip chaining quotidiano. In altre parole, l'evoluzione dinamica delle risorse di mobilità fornisce la possibilità di tagliare il set di modi disponibili per l'utilizzatore; è proprio in questo senso che la prospettiva dinamica semplifica il problema statico.
La catena di attività è composta da una sequenza ordinata di viaggi che hanno luogo quando si deve raggiungere un'attività successivamente all'aver terminato la precedente. Ognuno di questi spostamenti non può essere fatto con soluzioni che coinvolgono modi non più disponibili. Analogamente, un viaggio la cui soluzione ottimale prevede la scelta di una risorsa di proprietà del soggetto, comporta un vincolo su tutti i viaggi precedenti a partire dal primo della catena. La seguente formulazione, fornisce un approccio basato sulla decomposizione della catena di attività nelle singole attività che la compongono e considera tutti i singoli spostamenti che costituiscono il trip chaining.
Si indica con $A^i = \{1, 2, j, ..J\}^i$ il set completo di attività quotidiane dell'individuo *i*. All'inizio della giornata queste sono ancora tutte da compiersi. Ad un generico momento della giornata, indicato come $t + \Delta t^h$, a seguito di uno spostamento per effettuare la generica attività *h* e del suo compimento, si ottiene una riduzione dell'insieme delle attività:
$A^i(t + \Delta t^h) = A^i(t) \setminus \{h\}$.
Ogni coppia di attività successive è connessa da uno spostamento denominato s_j^m, cioè uno spostamento che collega l'attività *h* (conclusa) con l'incipiente attività *j* attraverso il modo *m*. L'ultimo spostamento del trip chaining indicato come $s_\varnothing^m$, ha luogo quando l'insieme delle attività è vuoto, $A^i\{\varnothing\}$, e di fatto riporta il portfolio al suo stato di partenza.
Ad ogni spostamento si associa s_j un tempo medio di percorrenza t_j. Quest' ultimo è calcolato come il tempo di viaggio minimo tra tutti i mezzi abilitati dal portfolio per effettuare lo spostamento s_j, cioè $t_j = \min_m(t_j^m)$.
Si Definisce con $s_{j*} = s_j : \max_j(t_j)$ lo spostamento critico per il quale si riscontrano i massimi costi di percorrenza all'interno del A^i. In questo senso

l'attività j^* è la più dispendiosa in termini di costi trasportistici e dunque vincolante nella scelta del primo viaggio costituente il trip chaining. Dunque il A^i inserito dall'utente *i* viene scomposto nelle singole attività che lo compongono. Una volta identificata l'attività j^* e il suo relativo spostamento s_{j^*} questa viene trattata come fosse una qualsiasi singola coppia O/D: viene valutato il valore di *k* e la scelta modale opportuna. Il motivo di ciò può essere facilmente spiegato da un esempio. Immaginando che il primo spostamento del trip chaining sia molto breve e che convenga farlo a piedi e che questo sia il suggerimento dell'IJP, questa scelta ha implicitamente privato il portfolio dell'automobile (nel caso in cui questa sia disponibile), salvo un dispendioso rientro a casa. Questo esempio dimostra come sia necessario tenere conto di tutto l'insieme di attività quotidiane nella definizione nell'IJP dinamico. Il mezzo privato è senza dubbio quello più vincolante. Infatti l'aver preso l'automobile per il primo spostamento implica l'uguaglianza in termini di scelta modale con l'ultimo spostamento.
La scelta di eseguire il viaggio critico con un mezzo di proprietà vincola la scelta modale di tutta la catena di spostamenti a partire dal primo viaggio s_1. Si precisa però che possono esistere dei tour all'interno della catena, ad esempio un work-based tour, per i quali il mezzo di proprietà può essere anche lasciato sul posto di lavoro ed effettuare il tour con altre soluzioni modali disponibili.
L'architettura logica dell'IJP è riportata in Figura 4.1. Essa si articola nei seguenti passaggi:

1. **ANALISI DEI DATI** (in alto a destra del framework)
   1a. l'analisi aggregata dei dati fornisce l'insieme di modi statisticamente considerabili (soluzioni monomodali e intermodali) definendo dunque anche il parametro *k* (riquadro AGGREGATE nel framework)
   1b. i modelli disaggregati comportamentali forniscono la calibrazione dei coefficienti regressivi β^* per le scelte modali (le cui alternative sono state precedentemente definite nello step 1a). Riquadro DICRETE CHOICE MODEL nel framework.

2. **CARATTERISTICHE DELL'UTENTE** (in alto a sinistra del framework)

2a. L'utente definisce il suo portfolio personale di risorse. Riquadro PORTFOLIO nel framework.

2b. L'utente definisce i suoi attributi e le abitudini di viaggio (riquadro ATTRIBUTE AND HABITS)

In questa fase viene definito il parametro *n*;

3. INPUT DELLA PROCEDURA (in basso a destra del framework) la richiesta dell'utente *i* (riquadro QUERY nel framework) dà luogo a due diverse procedure:

3a. Nel caso più semplice di singola coppia O/D, i parametri del viaggio e dell'utente vengono utilizzati per definire, attraverso un modello di simulazione di scelta discreta (riquadro DISCRETE CHOICE nel framework) i cui parametri sono stati già calibrati (step 1b), la soluzione più vantaggiosa (ovvero quella che massimizza l'utilità). A questo punto viene semplicemente aggiornato il portfolio sulla base della scelta effettivamente fatta dall' utilizzatore (freccia spessa tratteggiata da choice a portfolio).

3b. Nel caso più complesso di insieme di attività, queste vengono scomposte come indicato precedentemente e viene individuata l'attività critica. Attraverso il processo di simulazione (come nel caso di singola coppia O/D) viene valutata la scelta migliore che può vincolare la scelta del primo mezzo. A questo punto viene aggiornato il portfolio (come nel caso di singola coppia) sulla base della scelta fatta, ed anche l'insieme di attività (freccia spessa tratteggiata da CHOICE a A^i)

4. AGGIORNAMENTO (frecce spesse e tratteggiate nel framework) Sulla base della scelta fatta, riquadro CHOICE nel framework, si procede con l'aggiornamento: solo del portfolio per il caso 3a; portfolio e set di attività A^i per il caso 3b.

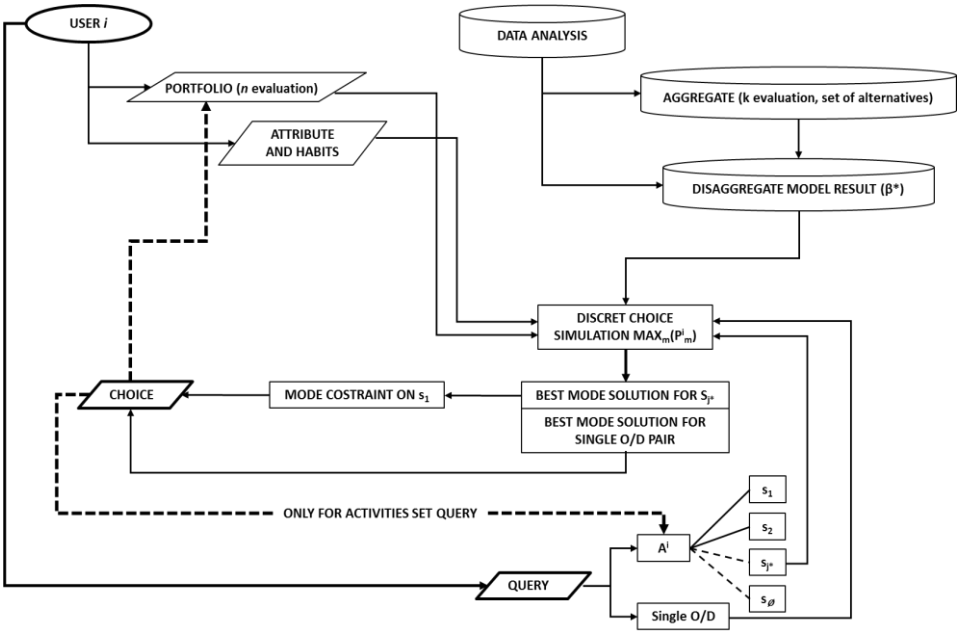

Figura 4.1: Architettura logica dell'IJP

I vincoli (o abitudini) giocano un ruolo fondamentale nell'algoritmo di taglio di tutte le soluzioni possibili. Essi infatti hanno un duplice effetto, da una parte influenzano direttamente il numero di risorse disponibili cioè del parametro *n*, dall'altra bloccano alcune combinazioni che sarebbero ammesse dalla sola analisi del portfolio. In linea generale i vincoli possono riguardare i modi disponibili nel portfolio ma in particolare quelli comunque disponibili aldilà di esso. Potrebbe infatti essere frequente una reticenza all'utilizzo del taxi percepito come troppo dispendioso, oppure non avere nessuno a disposizione che possa dare un passaggio. Un altro vincolo che coinvolge il trasporto intermodale di bicicletta e trasporto pubblico è quello relativo all'utilizzo della bicicletta; questa può essere usata come vettore casa - stazione T.P., come vettore stazione T.P. - lavoro, in entrambi i modi se il trasporto della bicicletta è consentito nel mezzo di trasporto pubblico. Il lettore basandosi sulle proprie necessità e su contesti trasportistici a sé familiari probabilmente riuscirà ad immaginare ulteriori restrizioni imponibili. È stato dunque mostrato come i vincoli, inseriti nella parte dell'applicazione dedicata alle impostazioni dall'utente, regolino la dimensione del portfolio e il set di possibili soluzioni modali.

4.2.1 Insieme di scelta, valutazione del parametro *k* e modello comportamentale. Caso studio di Copenaghen

Lo step 1a consiste nell'analisi aggregata dei dati di mobilità di uno specifico contesto e fornisce l'insieme di alternative (monomodali e intermodali) che costituiscono la dimensione di scelta degli utenti. Lo step 1b, attraverso un modello di scelta discreta, fornisce i coefficienti regressivi per l'individuazione della probabilità di scelta di ciascuna delle alternative, definite nello step 1a, per ogni utente.
I dati sulla domanda di mobilità sono stati tratti dal *Transportvaneundersøgelsen*, ovvero il sondaggio nazionale di viaggio, abbreviato TU.
La banca dati è molto estesa. Per la sola città di Copenaghen, nella quale si è concentrato lo studio, si è utilizzato totale di 27.987 interviste al netto di dati incompleti o non utilizzabili.
I dati, trattati inizialmente in forma aggregata, hanno fornito risultati attendibili e conformi alle abitudini locali. Infatti Copenaghen, definita dal sito [13] "la città più amica delle biciclette" vanta complessivamente circa 400 km di piste ciclabili e da quanto riporta *City of Copenaghen, The Technical and Environmental Administration* (2012), mediamente vengono percorsi ogni giorno 1.2 milioni di km.
Il primo aspetto evidenziato dall'analisi dei dati del TU è quello relativo al portfolio (vedi paragrafo 2.4.1). La Figura 4.2 mostra i valori percentuali dei diversi portfolio. Come detto precedentemente vengono considerati tutti i possibili portfolio formati dalle risorse: auto, bicicletta e abbonamento al trasporto pubblico. Si fa presente al lettore che i portfolio sono tra loro escludentesi e quindi non c'è sovrapposizione tra di loro.
Quest'analisi prende in considerazione solamente gli individui che sono in possesso della patente di guida in modo da non sovrastimare le risorse bicicletta e abbonamento al trasporto pubblico. Per ragioni di compatibilità con i dati disponibili le risorse di mobilità condivisa (car sharing, car pooling, etc.) non sono oggetto di quest'analisi.

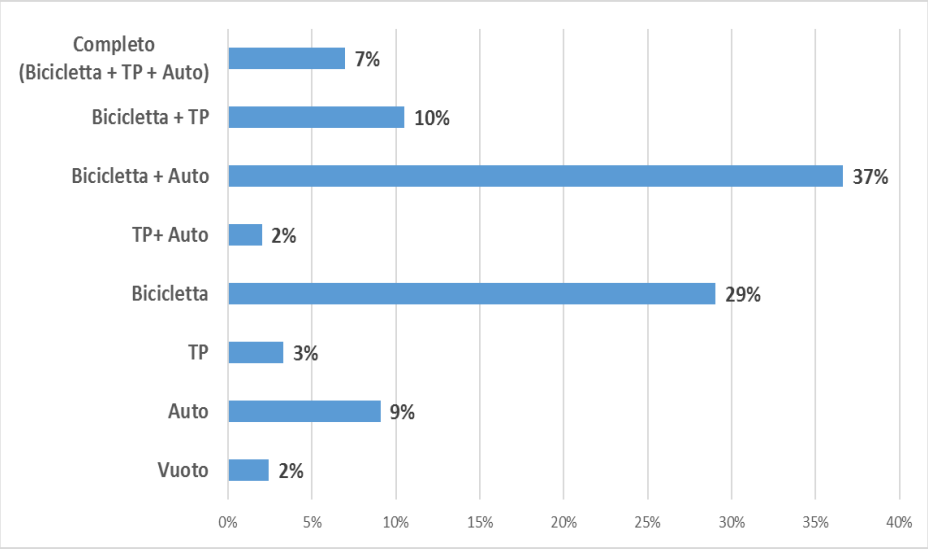

Figura 4.2: Portfolio delle risorse

Il portfolio più frequente è quello costituito dal possesso della bicicletta e dell'auto (37%). Se si considera che la bicicletta è presente anche in altri tre portfolio (completo, bicicletta più abbonamento al trasporto pubblico, bicicletta) risulta che la bicicletta è posseduta dall'83% del campione. L'abbonamento al trasporto pubblico è posseduto come risorsa esclusiva dal 3% del campione ma, in combinazione con altre risorse, è una risorsa posseduta dal 23% del campione. L'automobile è una risorsa disponibile (non deve essere necessariamente di proprietà dell'intervistato ma è sufficiente che sia disponibile in famiglia) per il 55% del campione. La convivenza delle risorse abbonamento al trasporto pubblico e automobile, riscontrabile nello specifico portfolio e in quello completo, è poco frequente (9%). Ciò è imputabile al fatto che il possesso di queste due risorse necessita un maggior impegno economico rispetto alla bicicletta e, pertanto, tendono ad escludersi mutuamente. Le situazioni estreme ovvero portfolio vuoto e portfolio completo si attestano rispettivamente al 2% e al 7%.

La Figura 4.3 mostra i valori percentuali di ripartizione modale. La bicicletta è assolutamente il mezzo più utilizzato (35%), ed è immediatamente seguito dalla scelta di muoversi a piedi (32%).

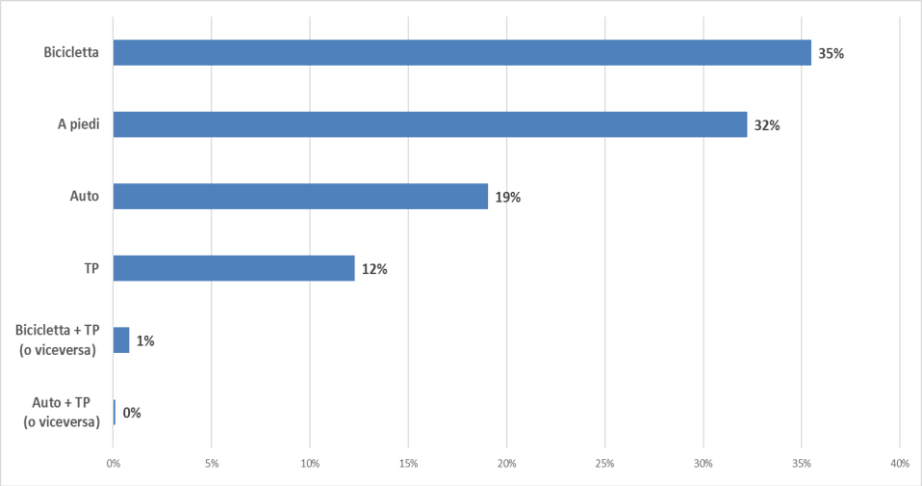

Figura 4.3: Ripartizione modale aggregata

Un' analisi più raffinata mostra la scelta modale in funzione della distanza di viaggio percorsa. I risultati di tale osservazione (si veda Figura 4.4) mettono in rilievo alcuni aspetti fondamentali della mobilità cittadina:

1. La scelta dello spostarsi a piedi decade secondo un andamento approssimabile ad una legge esponenziale negativa all'aumentare della distanza;
2. È evidente la 'parabola del ciclista'. La bicicletta comincia ad essere conveniente per distanze superiori a 0,5 km, trova il suo massimo utilizzo intorno tra 1,5 km e 3 km per poi perdere di praticità oltre i 6,5 km.
3. L'automobile è un'alternativa sempre preferita al trasporto pubblico.
4. Non appena la bicicletta perde di utilizzo, si verifica un'impennata dell'automobile ma non del trasporto pubblico anche in combinazione con la bicicletta.
5. Non rilevante utilizzo della combinazione di auto e trasporto pubblico

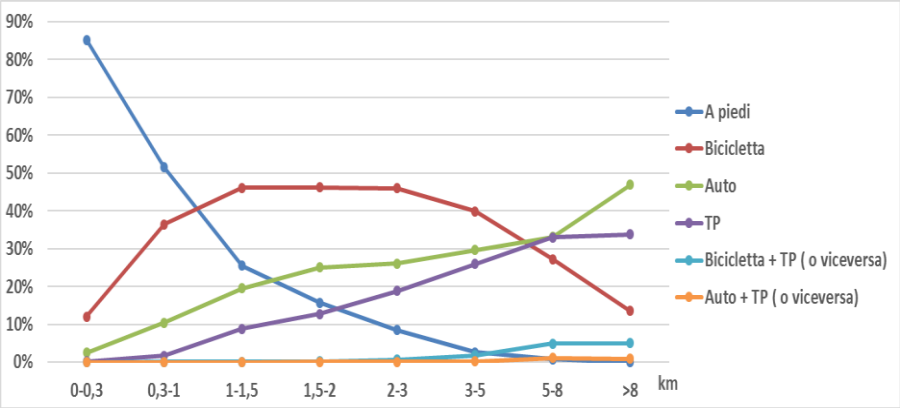

Figura 4.4: Ripartizione modale/distanza

I punti 1 e 2 possono essere facilmente spiegati dagli elevati livelli di eco-sostenibilità della città e dalla vasta rete ciclabile.
I punti 3 e 4 devono la loro causa a diversi fattori che derivano da alcune considerazioni per le quali sarebbe opportuno uno studio specifico. L'elevato costo del trasporto pubblico, il divieto di salire con la bicicletta sull'autobus e una disutilità derivante dal trasbordo sono senz'altro cause di quest'evidenza sperimentale. Analogamente il punto 5 può essere in primo luogo giustificato dalla dimensione della città per la quale non è indicato un trasporto intermodale di questo genere ma anche dalla mancanza di nodi di scambio (parcheggi) nei principali *hub* del trasporto pubblico. Quest'ultimo risultato è fondamentale per la decisione di non includere la scelta del trasporto combinato di auto più trasporto pubblico (o viceversa) nel modello comportamentale utilizzato. I risultati ottenuti e le considerazioni fatte mostrano come il parametro k e l'insieme di scelta delle alternative modali vada definito sulla base dell'analisi aggregata dei dati.
In conclusione l'analisi aggregata dei dati (step 1a) permette di fissare $k = 2$ e includere nel modello comportamentale le seguenti alternative: camminare, bicicletta, auto, trasporto pubblico e bicicletta più trasporto pubblico. L'alternativa di trasporto intermodale costituita da trasporto pubblico seguito dalla bicicletta non è stata inclusa poiché solamente il 4% degli utenti che combinano questi due mezzi fanno tale scelta. Si noti che l'alternativa costituita dalla bicicletta seguita dal trasporto pubblico a ritroso, cioè al ritorno, è invertita. Questo però è un concetto differente; si sta includendo nel modello solo il caso in cui la bicicletta è usata come

vettore casa-stazione ed escludendo per ragioni statistiche il caso in cui la bicicletta è usata come vettore stazione-destinazione.
Il modello si scelta discreta utilizzato (step 1b) è un Logit multinomiale le cui funzioni di utilità sistematica sono date da:

$V_{walk} = \beta_{time} * time_{walk} + \beta_{ONS_DNS} * ONS_DNS + ASC\ walk$
$V_{bike} = \beta_{time} * time_{bike} + \beta_{handicap} * handicap + ASC\ bike$
$V_{car} = \beta_{time} * time_{car} + \beta_{lenght} * lenght + ASC\ car$
$V_{PT} = \beta_{time} * time_{pt} + \beta_{gender} * gender + ASC\ pt$
$V_{bike\text{-}PT} = \beta_{ln(GISdist)} * \ln(GISdist) + \beta_{rail} * rail + ASC\ bike\text{-}pt$

La calibrazione è stata fatta su 9863 osservazioni con totale di 7619 individui poiché esistono osservazioni multiple per alcuni individui. I coefficienti, mostrati nella Tabella 4.1, hanno esibito modulo e segno coerente con le funzioni di utilità. Tra parentesi i sono riportati i valori del T-test.

Model: Multinomial Logit	
Null log-likelihood	-11668.280
Final log-likelihood	-6894.452
ρ^2	0.409
Smallest singular value of the Hessian matrix	1.63378
ASC bike	-1.67 (-17.57)
ASC car	-1.47 (-15.37)
ASC pt	0 (fixed)
ASC bike-pt	-11.1 (-16.14)
ASC walk	-1.20 (-14.64)
Length (km)	0.0619 (3.30)
Hand	-0.419 (-1.97)
ONS_DNS	0.574 (7.16)
Gender	0.264 (3.07)
Time (min)	-0.0663 (-26.19)
Ln (GISdist)	2.18 (6.09)
Rail	3.82 (9.97)

Tabella 4.1: Risultati della calibrazione del modello generale

I valori sono statisticamente attendibili, ciò è confermato sia dal ρ^2 pari 0,409 sia dal fatto che il campione viene correttamente predetto nel 41% dei casi. La tabella seguente mostra nel dettaglio la ricostruzione del campione per le diverse scelte modali.

	Predicted	*Total*	*%*
Walk	1763	2834	62
Bike	1135	3978	29
Car	388	1623	24
PT	710	1379	51
Bike-PT	7	49	14
	4003	9863	41

Tabella 4.2: Ricostruzione del campione

È interessante notare che l'attributo che definisce il genere, e che assume il valore pari a uno se donna e zero se uomo, fornisce il corrispondente coefficiente con segno positivo. Poiché il genere compare nell'espressione dell'utilità del trasporto pubblico, si può affermare che il trasporto pubblico è preferito dalle donne

La lunghezza del viaggio percorribile in automobile (attributo denominato Lenght) compare nella funzione di utilità dell'auto con valore positivo; è infatti facilmente intuibile che in una città con una tale tessitura di piste ciclabili la scelta dell'auto abbia senso per distanze rilevanti.

L'attributo "ONS_DNS" (Origin Nearest Station, Destination Nearest Station) rappresenta una variabile binaria che vale uno se la somma della distanza di accesso e egresso al trasporto pubblico è maggiore della distanza totale di viaggio calcolata in linea d'aria, zero altrimenti. Come ci si aspettava il relativo coefficiente espone valore positivo nell'utilità della scelta di camminare.

Per quanto riguarda la scelta intermodale bicicletta seguita da trasporto pubblico, assume un valore significativo il coefficiente "Ln(GISdist)". Tale attributo misura la disutilità che si percepisce nell'effettuare un trasbordo ed è definito come il logaritmo della distanza del viaggio calcolata in linea d'aria (GIS distance). Per distanze inferiori a 1 km l'attributo assume valori negativi, essendo però il valore corrispondente di beta positivo si ha effettivamente una disutilità. Al contrario per distanze maggiori di 1 km il prodotto dell'attributo e del relativo coefficiente è positivo e dunque rappresenta un'utilità. Il risultato è sia verificato dall'analisi dei dati aggregati che compatibile con la natura di questa scelta. Infatti, effettuare un trasbordo ha senso per spostamenti non di corto raggio. Si aggiunge nella definizione dell'utilità sistematica di questa scelta l'attributo "Rail"; esso è rappresentato da una variabile binaria che vale uno se la stazione del trasporto pubblico in origine, necessaria allo specifico spostamento, è anche stazione di metro sotterranea o di superficie, zero altrimenti. Il segno positivo del relativo coefficiente mostra come le stazioni di maggiori

dimensioni (*hub*) facilitino la transizione intermodale. Ciò è imputabile al fatto che in tali stazioni è previsto uno stallo per le biciclette. Inoltre, la città di Copenaghen è soggetta in maniera non trascurabile al fenomeno del furto delle biciclette; secondo quanto riporta la BBC alla pagina web [14] nel 2013 ne sono state rubate circa 18000. Ciò potrebbe rappresentare un incentivo a lasciare la propria bicicletta solo in posti attrezzati e con gli opportuni controlli, ovvero nei maggiori nodi di scambio. L'elevato valore negativo (-11.1) del coefficiente specifico dell'alternativa così come la sua significatività statistica (-16.64) giustifica la disutilità, non meglio specificabile, da attribuire ad un trasbordo.
In ultimo il segno negativo dell'coefficiente associato al tempo di viaggio, garantisce maggiori probabilità di scelta ad alternative più rapide.
Una volta ottenuti i coefficienti calibrati, è possibile calcolare la probabilità di scelta di ciascuna alternativa considerata per un qualsiasi utente esterno al campione utilizzato per il modello, e che richiede un singolo viaggio o di un insieme di attività (step 3). Nel caso di singolo viaggio il dispositivo può lavorare con i tempi ottenuti in sede real-time. Attraverso un processo di simulazione, si ottiene per ciascun utente *i* che utilizza l'applicazione la probabilità di scelta di ciascun'alternativa tra le *h* disponibili (presenti nel suo portfolio):

$$p^i[j] = \exp\left(V(x_j, \beta_j^*)\right) / \sum_h \exp\left(V(x_h, \beta_h^*)\right)$$

dove β^* rappresenta il vettore dei coefficienti calibrati attraverso massima verosimiglianza:

$$\beta^* = \arg\max\left(\prod_i p_i[j(i)]\right)$$

L'alternativa ottima è definita come $\max_j p^i[j]$. La scelta di quest'alternativa, cioè quella consigliata dall'IJP, così come quella di un'altra alternativa, può produrre un effetto sul portfolio che dunque viene aggiornato (step 4). Nel caso di caso di richiesta dell'intero set di attività, il progressivo svolgimento di queste produce anche un aggiornamento, cioè una riduzione, dell'insieme A^i. Il modello di scelta utilizzato nello step 1b non tiene conto del fatto che la scelta modale può essere influenzata dalla tipologia di attività da svolgere. Nel paragrafo successivo, in cui viene definito un metodo per la previsione del portfolio che, come abbiamo visto

è un dato di input (step 3) del sistema dinamico, vengono sviluppati diversi modelli comportamentali diversificati per la tipologia dell'attività e del relativo viaggio da svolgere. Gli stessi modelli possono essere utilizzati nel sistema dinamico a seconda del tipo di attività richiesta come input in luogo del modello generale.

4.3 Calibrazione del portfolio *offline*

Nel precedente paragrafo viene mostrato come i sistemi informativi possano beneficiare di un'analisi aggregata e comportamentale, nonché delle informazioni individuali dichiarate dall'utente circa il suo portfolio, per affrontare la complessità relativa all'offerta e alla domanda su reti multimodali.
Lo stesso approccio può essere adottato per la previsione di scelte relative al possesso di determinate risorse modali, ovvero circa la predisposizione dell'utenza a disporre di un portfolio di mobilità piuttosto che un altro. Come già indicato nel paragrafo 2.4.1.1, Le Vine et al. (2013) propongono un metodo basato sull'utilità aleatoria per la stima del portfolio di risorse.
Il concetto di base è che ogni portfolio "permette" l'utilizzo di un determinato insieme di modi di trasporto e che l'utilità associata al possederlo è data dall'utilità percepita dall'utente nell'accedere a tutte le sue attività con i modi abilitati dal portfolio che egli sceglie.
Operativamente il primo livello è quello della scelta modale per ciascuna tipologia di attività. Sempre con riferimento alla banca dati del TU sono state considerate, a seguito di accurate valutazioni, tre tipologie di viaggi: *work*, *leisure*, *service & collect*. Per ognuna di queste categorie si ha rispettivamente un campione costituito da 2686, 5163, 1534 elementi. Vengono dunque calibrati tre distinti modelli di scelta modale nei quali si hanno le stesse quattro alternative: auto, trasporto pubblico, bicicletta e camminare. Si noti, diversamente da quanto fatto per l'applicazione *online*, che le alternative intermodali sono state escluse dal modello. Questa scelta è dettata dal fatto che la possibilità di usare combinazioni di modi abilitati dal portfolio è parzialmente implicita nel possederli singolarmente all'interno del portfolio. Se da una parte le ulteriori combinazioni intermodali rese disponibili dal portfolio ne arricchiscono l'utilità, d'altra parte l'esigua numerosità di individui che effettuano tali scelte, come

emerso dal database a disposizione, consente una semplificazione della trattazione a fronte di una marginale perdita di rigore.
Di seguito si riportano le funzioni di utilità utilizzate e i risultati del modello per l'attività work.

$V_{PT} = \beta_{time} * time_{pt} + \beta_{gender} * gender + ASC\ pt$
$V_{BIKE} = \beta_{time} * time_{bike} + ASC\ bike$
$V_{CAR} = \beta_{time} * time_{car} + \beta_{park} * park + ASC\ car$
$V_{WALK} = \beta_{GISdist} * GISdist + ASC\ walk$

Model: Multinomial Logit (**work**)	
Null log-likelihood	-2447.825
Final log-likelihood	1464.759
ρ^2	0.402
Smallest singular value of the Hessian matrix	12.2363
ASC bike	-0.619 (-4.68)
ASC car	-2.30 (-11.44)
ASC pt	-1.10 (-5.98)
ASC walk	0 (fixed)
Gender	0.444 (2.50)
Park possibility at work (park)	1.03 (6.78)
GIS Distance (km)	-2.10 (-13.86)
Time (min)	-0.217 (-4.35)

Tabella 4.3: Risultati della calibrazione attività 'work'

I coefficienti calibrati, mostrati nella Tabella 4.3, hanno esibito modulo e segno coerente con le funzioni di utilità. Come nel modello generale, in cui non viene fatta distinzione per lo scopo del viaggio, il genere (valore uno se donna) rappresenta un'utilità per il trasporto pubblico. La disponibilità di parcheggio libero al lavoro viene resa attraverso una variabile binaria "park" che assume valore uno se c'è tale possibilità; il segno positivo del corrispondente coefficiente ne riflette l'utilità rispetto alla scelta del mezzo privato. La distanza dello spostamento, calcolata in linea d'aria, assume valora negativo in quanto inserita nell'utilità della scelta di muoversi a piedi. Per quanto riguarda il tempo, si possono fare le stesse considerazioni del modello generale.
Analogamente a quanto fatto per la categoria *work*, di seguito sono riportati il modello e risultati della calibrazione (Tabella 4.4) per la categoria *leisure*. In questo caso l'attributo ONS_DNS viene usato direttamente come calcolato, ossia come somma delle distanze di accesso e egresso, e inserito nell'utilità del traporto pubblico. Come era auspicabile, il segno

negativo ne riflette la disutilità. Per gli altri due attributi (tempo e lunghezza) valgono le stesse considerazioni già fatte.

$V_{PT} = \beta_{time} * time_{pt} + \beta_{ONS_DNS} * ONS_DNS + ASC\ pt$
$V_{BIKE} = \beta_{time} * time_{bike} + ASC\ bike$
$V_{CAR} = \beta_{time} * time_{car} + \beta_{lenght} * lenght + ASC\ car$
$V_{WALK} = \beta_{time} * time_{walk} + ASC\ walk$

Model: Multinomial Logit (**leisure**)	
Null log-likelihood	-4519.432
Final log-likelihood	-3441.403
ρ^2	0.239
Smallest singular value of the Hessian matrix	19.698
ASC bike	0.417 (4.98)
ASC car	0 (fixed)
ASC pt	0.431 (2.57)
ASC walk	1.87 (21.09)
ONS_DNS	-0.620 (-4.62)
Lenght	0.151 (4.64)
Time	-0.0921 (-28.11)

Tabella 4.4: Risultati della calibrazione attività 'leisure'

L'ultimo dei tre modelli riguarda la categoria, cioè l'attività, *service & collect*. Di sotto vengono riportate le funzioni di utilità e, in Tabella 4.5, i risultati della calibrazione.

$V_{PT} = \beta_{time} * time_{pt} + \beta_{ONS_DNS} * ONS_DNS + \beta_{gender} * gender + ASC\ pt$
$V_{BIKE} = \beta_{time} * time_{bike} + ASC\ bike$
$V_{CAR} = \beta_{time} * time_{car} + \beta_{collect} * collect + ASC\ car$
$V_{WALK} = \beta_{GISdist} * GISdist + ASC\ walk$

Questo modello, sebbene aggreghi due distinti scopi di viaggio, dimostra migliore stabilità e validità statistica inserendo la variabile binaria "collect"; questa assume valore pari ad uno se il viaggio ha lo scopo di raccogliere persone e zero altrimenti. Inserita nella funzione di utilità dell'automobile, il segno positivo ne dimostra l'effettivo beneficio percepito. Gli altri coefficienti sia come modulo che segno sono in linea con quanto emerso dai precedenti due altri modelli.

Model: Multinomial Logit (**service & collect**)	
Null log-likelihood	-1848.299
Final log-likelihood	-1262.396
ρ^2	0.317
Smallest singular value of the Hessian matrix	5.25397
ASC bike	0.730 (3.77)
ASC car	0 (fixed)
ASC pt	-0.860 (-2.51)
ASC walk	2.21 (10.09)
Collect	0.925 (4.90)
GIS Distance	-2.47 (13.28)
ONS_DNS	-0.747(-3.60)
Gender	0.910 (4.04)
Time	-0.146 (-2.77)

Tabella 4.5: Risultati della calibrazione attività 'service & collect'

Come già detto, l'utilità associata al portfolio *d* è data dall'utilità percepita nell'accedere a tutte le attività A^i con i modi abilitati dal portfolio più un costo generico legato al possesso delle *R* risorse che lo compongono. L'utilità di un generico portfolio è data da:

$$U_d^i = C_d^i + V_d^i + \varepsilon_d^i$$

La prima aggregazione, cioè quella sui modi abilitati dal portfolio, riflette l'utilità associata al generico portfolio nel fare una specifica attività. Ciò viene matematicamente reso attraverso la *logsum*, ossia l'utilità inclusiva del "gruppo di modi" abilitati dal portfolio o, in altre parole il valor medio dell'utilità massima di quel gruppo.
Omettendo l'indice *i* che si riferisce al soggetto decisore, possiamo scrivere:

$$V_d^k = \ln \sum_{m \in \mu_d} \exp(V_m^k)$$

La generica attività *k* si riferisce, in questa applicazione, ad una delle tre categorie (*work*, *leisure*, *service & collect*). Ad esempio il portfolio vuoto permette solo la scelta modale di camminare e, con riferimento all'attività *work* (w) otteniamo:

$$V_0^w = \ln \exp(V_{walk}^w) = V_{walk}^w$$

Per il portfolio completo otteniamo:

$$V_{full}^w = \ln \sum_{m \in \mu_{full}} \exp(V_m^w) = \ln(\exp(V_{car}^w) + \exp(V_{bike}^w) + \exp(V_{pt}^w) + \exp(V_{walk}^w))$$

L'utilità percepita dal portfolio completo per raggiungere il luogo di lavoro è data dall'utilità percepita da tutte le alternative che si hanno a disposizione. Infatti nella logsum compaiono tutte le scelte modali considerate nei modelli precedentemente calibrati.
Non includere una risorsa all'interno del portfolio equivale ad assumere l'utilità della corrispondente scelta modale pari a -∞, ossia ad annullare le relative componenti nella logsum.
Il secondo livello di aggregazione viene fatto sulle attività; a ciascuna di esse viene associato e calibrato un opportuno coefficiente che riflette la maggiore importanza di un'attività rispetto ad un'altra nei confronti della scelta del portfolio. Formalmente otteniamo:

$$V_d = \sum_{k \in A} \gamma_k \ln \sum_{m \in \mu_d} \exp(V_m^k)$$

Per il generico portfolio *d* otteniamo dunque la seguente funzione di utilità:

$$U_d = \beta_c \sum_{m \varepsilon \mu_d} C_m + \sum_{k \in A} \gamma_k \cdot V_d^k + ASC_d + \varepsilon_d$$

Supponendo quindi un set di attività *A* costituito da tutte quelle precedentemente considerate (*work, leisure, service & collect*), otteniamo per il portfolio caratterizzato dal solo possesso dell'automobile la funzione:

$$U_{car} = \beta_c \cdot C_{car} + \gamma_{work} \cdot V_{car}^{work} + \gamma_{leisure} \cdot V_{car}^{leisure} + \gamma_{s\&c} \cdot V_{car}^{s\&c} + ASC_{car} + \varepsilon_{car}$$

I valori dei vari termini V_d^k sono stati ottenuti dalla precedenti calibrazioni sulle diverse attività *k* e vengono ora assunti come input per un ulteriore modello di tipo Logit multinomiale che ha come uscita i diversi portfolio. Considerando ora le tre risorse modali automobile, abbonamento al

trasporto pubblico e bicicletta, si hanno otto distinti portfolio. Di seguito i risultati della calibrazione, tra paretesi il T-test.

Model: Multinomial Logit	
Null log-likelihood	-380.538
Final log-likelihood	-170.415
ρ^2	0.552
Smallest singular value of the Hessian matrix	0.0351083
ASC null	0 (fixed)
ASC bike	1.40 (1.55)*
ASC car	14.0 (6.41)
ASC pt	4.40 (3.88)
ASC pt-bike	4.68 (3.60)
ASC car-bike	15.3 (6.78)
ASC pt-car	17.0 (5.92)
ASC full	17.9 (6.18)
Cost (€/day)	-3.54 (-7.27)
Work	0.913 (1.99)
Leisure	-0.139 (-0.47)*
Service & Collect	-0.201 (-0.84)*

Tabella 4.6: Risultati della calibrazione del portfolio

I risultati mostrano poca affidabilità nella previsione del portfolio; infatti i coefficienti più significativi sono gli ASC e il costo generico di portfolio. Ciò è imputabile al database a disposizione. Per la corretta calibrazione del portfolio occorre la conoscenza di tutto l'insieme di attività che caratterizzano la routine giornaliera di spostamenti. Come menzionato nel paragrafo 2.4.1, Le Vine et al. (2013) introducono il concetto di PAS a monte della calibrazione del portfolio. Questo è definito come: "*the array of activities which a person views (at a particular point in their life) as encompassing their potential travel needs, when making decisions that structurally affect their accessibility*". Il PAS dunque non è semplicemente un insieme di spostamenti generici fatti da una persona ma indica tutte le attività che inducono l'individuo a fare scelte importanti (dove vivere, se possedere o meno un'automobile, ecc.) che influiscono sull'accessibilità alle attività stesse. L'acquisizione dei dati necessari alla conoscenza del PAS richiede l'osservazione degli spostamenti individuali per un periodo congruo con l'esplicazione del PAS. Le Vine et al. mostrano che valori del ρ^2 superiori a 0.15 si ottengono con osservazioni protratte per almeno cinque giorni. Se ne deduce che dei diari di viaggio di una settimana possono essere esaustivi per la conoscenza del PAS.

Per il caso studio di Copenaghen si hanno a disposizione solo spostamenti sparsi nel tempo, cioè intervallati da lunghi periodi (mesi o addirittura anni) senza alcuna informazione circa la sistematicità di quell'attività.
Ciononostante il metodo proposto ha il pregio di consentire la calibrazione di tutti i portfolio ottenibili con R risorse senza passare per l'enumerazione esplicita di 2^R funzioni di utilità bensì attraverso la calibrazione di modelli di scelta modale diversificati per le attività e le cui alternative di scelta sono i modi abilitati dal portfolio.

5 Conclusioni e sviluppi futuri

Il presente lavoro mette in luce il ruolo dei modelli comportamentali in diversi ambiti di scelta attraverso specifiche applicazioni. Gli studi sulla propensione ad un sistema telematico pongono le basi per valorizzare l'importanza dei RUM nella definizione di un'utenza disponibile all'utilizzo di sistemi informativi avanzati; le applicazioni sulla mobilità sostenibile sottolineano l'importanza di specifiche analisi sugli atteggiamenti sociali degli individui nei confronti di una scelta modale le cui molteplici declinazioni suggeriscono la necessità di un progresso scientifico e tecnologico negli ATIS.
Nell'introdurre questi dispositivi si è visto necessario fare chiarezza su due aspetti. In primo luogo, le esperienze di ATIS vengono descritte e raggruppate in tre generazioni successive. Poi, vengono chiariti i concetti di rete multimodale e trasporto intermodale spesso confusi in letteratura. Se il primo si riferisce all'offerta, che viene modellizzata come una rete multilivello, il secondo si riferisce alla scelta effettuata dall'utenza che può coinvolgere una sequenza ordinata di modi di trasporto.
Nonostante la ricerca scientifica sia già indirizzata verso la definizione di ATIS profilati sul singolo soggetto decisore e dunque su base comportamentale, immaginare di riprodurre questo approccio nella definizione di un sistema che possa lavorare su reti multimodali e suggerire anche combinazioni di viaggio intermodali, porta inevitabilmente ad una complessità tale da rendere il problema intrattabile dal punto di vista computazionale.
Per superare la complessità relativa a una crescente diversificazione modale nonché e alla natura combinatoria delle scelte intermodali, viene definita l'architettura logica di un sistema dinamico e comportamentale. La tecnologia proposta ha l'obiettivo di assistere i viaggiatori nel dispiegarsi della loro catena di spostamenti quotidiani e si basa tre caratteristiche fondamentali: (1) le risorse di mobilità possedute dall'utente variano dinamicamente, (2) il soggetto decisore ha specifiche abitudini di mobilità; (3) l'evoluzione della catena di attività quotidiana.
Per fare tagli razionali all'insieme delle alternative di scelta viene proposto un metodo basato sull'analisi dei dati dello specifico contesto urbano e sullo svolgimento dinamico delle attività. Inoltre, definire un'applicazione profilata sul singolo soggetto permette ulteriori delimitazioni al ventaglio

di alternative potenzialmente utilizzabili. Allo stesso modo, la variazione dinamica del portfolio viene sfruttata per ridurre l'insieme di alternative di cui l'utente può disporre durante lo sviluppo della catena di attività quotidiane.
A livello concettuale il presente lavoro sottolinea la necessità di un approccio integrato tra gli ABM e la tecnologia informativa. Infatti, la decomposizione dell'insieme di attività in singole parti permette di definire un dispositivo che accompagni l'utente nello svolgimento di tutto il suo trip chaining.
Il framework proposto sfrutta l'analisi dei dati per definire il set di alternative possibili e un modello comportamentale per calibrare i parametri relativi alla scelta modale. L'applicazione al caso reale di Copenaghen fornisce sia un esempio di come poter fare tagli razionali al set di alternative sia una stima dei coefficienti da utilizzarsi in quello contesto specifico. I risultati del modello comportamentale hanno fornito la stima dei coefficienti che servono al IJP dinamico per il calcolo dell'alternativa che massimizza l'utilità del decisore sulla base delle disponibilità modali che egli ha in un preciso momento e in un determinato luogo. I valori calibrati sono coerenti con le funzioni di utilità definite che si sono rivelate esaustive per tutti i modi di trasporto considerati.
Possibili sviluppi del sistema proposto riguardano il continuo aggiornamento del database e il processo di apprendimento del dispositivo sulla base delle scelte che l'utente fa di volta in volta.
Una precisazione sul modello utilizzato, cioè la differenziazione per tipologia di attività, ha portato alla calibrazione di tre distinti modelli e al loro potenziale inserimento nel framework nonché al loro utilizzo per la previsione del portfolio di mobilità.

Bibliografia

Adler, J. L., Blue, V. J., 1998. Toward the Design of Intelligent Traveler Information Systems. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol. 6, No. 3, pp. 157–172.

Auld, J., Hope, M., Ley, H., Sokolov, V., Xu, B., & Zhang, K. 2016. POLARIS: Agent-based modeling framework development and implementation for integrated travel demand and network and operations simulations. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 64, 101-116.

Balmer, M., Rieser, M., Meister, K., Charypar, D., Lefebvre, N., Nagel, K. (2009). MATSim-T: Architecture and simulation times. In Multi-agent systems for traffic and transportation engineering (pp. 57-78). IGI Global.

Bamberg, S., Hunecke, M., Blöbaum, A. 2007. Social context, personal norms and the use of public transportation: Two field studies. Journal of Environmental Psychology 27, 190–203.

Bhat, C.R., Singh, S.K., 2000. A comprehensive daily activity-travel generation model system for workers. Transportation Research Part A 34, pp. 1-22.

Ben Akiva M., Lerman S., 1985. Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand. MIT Press, Cambridge, Mass.

Bierlaire, M., 1997. Mathematical models for transportation demand analysis. Transportation research. Part A, Policy and practice 31 (1), 86-86.

Block, H. D., Marschak, J., 1960. Random orderings and stochastic theories of response. In I. Olkin, S. Ghurye, W. Hoeffding, W. Madow and H. Mann (Eds.), Contributions to probability and statistics, Stanford University Press, pp. 97-132.

Carrese, S., Nigro, M.L., Patella, S.M., 2015a. Analysis of the demand for an electronic advise of traffic code violations. MT-ITS, 402-407.

Carrese, S., Nigro, M.L., Patella, S.M., 2015. Innovazione tecnologica nella riscossione delle sanzioni da infrazioni stradali. Rivista di economia e politica dei trasporti n° 1, articolo 4.

Carrese, S., Giacchetti, T., Patella, S.M., Petrelli, M., 2017. Real time ridesharing: Understanding user behavior and policies impact: Car pooling service case study in Lazio Region, Italy. Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS), 5th IEEE International Conference on.

Cascetta, E., 2006. Modelli per i sistemi di trasporto: teoria e applicazioni. UTET università.

Caulfield, B. 2009. Estimating the environmental benefits of ride-sharing: A case study of Dublin. Transportation Research Part D: Transport and Environment. Volume 14, Issue 7, October 2009, Pages 527–531.

Chintagunta, P. K., Nair, H. S. 2011. Structural workshop paper—Discrete-choice models of consumer demand in marketing. Marketing Science, 30(6), 977-996.

Chorus, C.G., Molin, E.J.E., Van Wee, B. 2006. Use and Effects of Advanced Traveller Information Services (ATIS): A Review of the Literature. Transport Reviews, Vol. 26, No. 2, 127–149, March 2006.

Chen P.S.T., Mahmassani H.S., 1993. Dynamic interactive simulator for studying commuter behavior under real-time traffic information supply strategies. Transportation Research Record, 12-21.

Chen P.S., Srinivasan K., Mahmassani H.S., 1999. Effect of information quality on compliance behavior of commuters under real-time traffic information. Transportation Research Record.

Cirillo, C., Axhausen, K.W., 2002. Mode choice of complex tours: A panel analysis. Proceedings of the European Transport Conference (CD-ROM), Cambridge, UK.

Delhomme, P., Gheorghiu, A. 2016. Comparing French carpoolers and non-carpoolers: Which factors contribute the most to car pooling? Transportation Research Part D: Transport and Environment. Volume 42, January 2016, Pages 1–15.

Domencich, T.A. and McFadden, D. (1975). Urban Travel Demand: A Behavioural Analysis. North-Holland, Amsterdam.

Gatersleben, B., 2007. Affective and symbolic aspects of car use. Threats from car traffic to the quality of urban life: Problems, Causes and Solutions.

Hensher, D.A., Reyes, A.J., 2000. Trip chaining as a barrier to the propensity to use public transport. Transportation 27: 341–361.

Higgins, E.T., 1987. Self-discrepancy: a theory relating self and affect. Psychological Review, Vol 94(3), 319-340.

Ho, C.Q., Mulley, C., 2013. Multiple purposes at single destination: A key to a better understanding of the relationship between tour complexity and mode choice. Transportation Research Part A: Policy and Practice. Volume 49, March 2013, Pages 206–219.

Hunecke, M., Blöbaum, A., Matthies, E., Höger, R. 2001. Responsibility and Environment: Ecological Norm Orientation and External Factors in the Domain of Travel Mode Choice Behavior. Environment and Behavior, 33, 830-852.

Khattak, A., Polydoropoulou, A., Ben-Akiva, M., 1996. Modeling Revealed and Stated Pretrip Travel Response to Advanced Traveler Information Systems. Transportation Research Record 1537, pp. 46-54.

Konduri, K. C., Pendyala, R. M., You, D., Chiu, Y. C., Hickman, M. D., Noh, H., ..., Wang, L. 2013. Network-Sensitive Transport Modeling Framework for Evaluating Impacts of Network Disruptions on Traveler Choices Under Varying Levels of User Information Provision. In Transportation Research Board 92nd Annual Meeting (No. 13-3366).

Kucharski, R., Gentile, G. 2016. Modeling Information Spread Processes in Dynamic Traffic Networks. In Challenge of Transport Telematics: 16th

International Conference on Transport Systems Telematics, TST 2016, Katowice-Ustroń, Poland, March 16–19, 2016, Selected Papers 16 (pp. 317-328). Springer International Publishing.

Le Vine, S., Lee-Gosselin, M., Sivakumar, A., Polak, J. 2013. A new concept of accessibility to personal activities: development of theory and application to an empirical study of mobility resource holdings. Journal of Transport Geography 31, 1-10.

Lin, D. Y., Eluru, N., Waller, S., Bhat, C. 2008. Integration of activity-based modeling and dynamic traffic assignment. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, (2076), 52-61.

Mahmassani, H.S., Liu, Y,H., 1999. Dynamics of commuting decision behaviour under advanced traveller information systems. Transportation Research Part C: Emerging Technologies 7 (2), 91-107.

Marcucci, E. 2011. Scelte di trasporto e modelli a scelta discreta. Franco Angeli.

Marschak, J., 1960. 'Binary choice constraints and random utility indicators', in K. Arrow, S. Karlin e P. Suppes, eds, Mathematical Methods in the Social Sciences, 1959, Stanford University Press, Stanford, California, pp. 312–329.

Martin, E., Shaheen. S. 2011. The impact of car sharing on household vehicle ownership. ACCESS Magazine, number 38.

Nuzzolo, A., Comi, A., Crisalli, U., Rosati L., 2014. A new Advanced Traveler Advisory Tool based on personal user preferences. Intelligent Transportation Systems (ITSC), IEEE 17th International Conference on.

Paglione, G., Danieli, R., Marcucci, E., Gatta, V., 2007. Interazioni tra gli agenti e modelli a scelta discreta: Una analisi della letteratura con una applicazione preliminare. VII Congresso Nazionale CIRIAF, Perugia, Italy.

Pendyala, R., Konduri, K., Chiu, Y. C., Hickman, M., Noh, H., Waddell, P., Gardner, B. 2012. Integrated land use-transport model system with

dynamic time-dependent activity-travel microsimulation. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, (2303), 19-27.

Polak, J., Jones, P., 1993. The acquisition of pre-trip information: A stated preference approach. Transportation 20, 179-198.

Puckett, S., Hensher, D., Rose, J. e Collins, A., 2007. Design and development of a stated choice experiment for interdependent agents: Accounting for interactions between buyers and sellers of urban freight services. Transportation 34(4), 429–451. Springer.

Ramadurai, G., Srinivasan K.K., 2006. Dynamics and Variability in Within-Day Mode Choice Decisions: Role of State Dependence, Habit Persistence, and Unobserved Heterogeneity. Transportation Research Record.

Rehrl, K., Bruntsch, S., Mentz, H., 2007. Assisting Multimodal Travelers: Design and Prototypical Implementation of a Personal Travel Companion. IEEE transactions on intelligent transportation systems, vol. 8, no. 1, march 2007.

Rotaris, L., 2003. La valutazione degli effetti delle politiche dei trasporti. Problemi di progettazione delle indagini basate sulle preferenze dichiarate. http://www.sietitalia.org/convegni/siet-palermo.htm.

Saunders, C.D., 2003. The Emerging Field of Conservation Psychology. Human Ecology Review, 10(2), 137-149.

Shaheen, S.A., Chan, N.A., Gaynor, T., 2016. Casual car pooling in the San Francisco Bay Area: Understanding user characteristics, behaviors, and motivations. Transport Policy 51, 165-173.

Schwartz, S.H., 1977. Normative Influences on Altruism. Advances in Experimental Social Psychology. Volume 10, 1977, Pages 221-279.

Srinivasan K., Mahmassani H.S., 1999. Role of Congestion and Information inTrip-Makers' Dynamic Decision Processes. Experimental Investigation. Transportation research record.

Srinivasan K., Mahmassani H.S., 2000. Modeling inertia and compliance mechanisms in route choice behavior under real-time information. Transportation Research Record.

Stern, P.C., 2005. Understanding individuals' environmentally significant behavior. Environmental law reporter news and analysis.
Stokes, G., Hallett, S., 1992. The role of advertising and the car. Transport Reviews. Volume 12, Issue 2.

Train, K., 2009. Discrete choice methods with simulation. Cambridge university press.

Tronu, G., Fornara, F. Carrus, G., Bonnes, M. 2012. Influenza normativa e comportamenti pro-ambientali. Psicologia sociale Volume 3.

Van Lande, P.A.M., Van Vugt, M., Meertens, R.,M., Ruiter, R. A. C., 1998. A Social Dilemma Analysis of Commuting Preferences: The Roles of Social Value Orientation and Trust. Journal of Applied Social Psychology 28 (9), 796-820.

Van Nes, R., 2002. Design of multimodal transport networks: a hierarchical approach. Ph.D thesis of Delft University of Technology.

Vanoutrive, T., Van De Vijver, E., Van Malderen,L., Jourquin, B., Thomas, I., Verhetsel, A., Witlox, F. What determines car pooling to workplaces in Belgium: location, organisation, or promotion? (2012). Journal of Transport Geography. Volume 22, Pages 77–86.

Vovsha, P. and Bekhor, S., 1998. The link-nested logit model of route choice: overcoming the route-overlapping problem. Transportation Research Record, 1645, pp. 133-142.

Zhang, J., Feixiong L., Arentze, T., Timmermans, H., 2011. A multimodal transport network model for advanced traveler information systems. Procedia - Social and Behavioral Sciences. Volume 20, 2011, Pages 313–322.

Zhang, L. Li, J.Q., Zhou, K., Gupta, S.D., Li, M., Zhang, W.B., Miller, M.A., Misener, J.A., 2011. Traveler Information Tool with Integrated Real-Time Transit Information and Multimodal Trip Planning. Transportation Research board.

Zhao, Z., Zhao, J., 2015. Car Pride: Psychological Structure and Behavioral Implications. Transportation Research Board 94th Annual Meeting.

Sitografia

[1] https://www.onlymoov.com

[2] https://www.triplinx.ca

[3] https://tripgo.com

[4] https://tfl.gov.uk

[5] http://www.traveline.info

[6] https://www.liikennevirasto.fi

[7] https://9292.nl

[8] https://www.travelwits.com

[9] https://it.wikipedia.org/wiki/Comportamento

[10] http://www.treccani.it/vocabolario/scelta

[11] https://goo.gl/kVNAmd

[12] https://goo.gl/32pXvd

[13] https://goo.gl/139G8x

[14] http://www.bbc.com/news/magazine-29601069