

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA  
Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale

Corso di Laurea Magistrale in  
INGEGNERIA CIVILE



Tesi di Laurea Magistrale

SCELTA DEL PERCORSO NELLE RETI STRADALI: DEFINIZIONE DELLE ALTERNATIVE E  
ANALISI DI ALCUNI ASPETTI DEI COMPORTAMENTI DECISIONALI

ROUTE CHOICE IN ROAD NETWORKS: DEFINITION OF THE ALTERNATIVES AND ANALYSIS  
OF SOME ASPECTS OF DECISION BEHAVIOUR.

*Relatore:*

Prof. Meneguzzer Claudio

*Laureando: Corsini Nicolò*

*Matricola: 1013993*

Anno Accademico 2013-2014

# INDICE

|                                                                                                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Introduzione .....                                                                                                 | 3   |
| CAPITOLO 1: Analisi della generazione degli insiemi di scelta del percorso dal punto di vista computazionale.....  | 5   |
| 1.1 Generazione dell'insieme di scelta .....                                                                       | 6   |
| 1.1.1 Metodi deterministici basati sul percorso più breve.....                                                     | 10  |
| 1.1.2 Metodi stocastici.....                                                                                       | 13  |
| 1.2 Applicazione dei metodi di generazione dell'insieme di scelta. ....                                            | 14  |
| 1.2.1 Algoritmi di generazione del k-esimo percorso più breve.....                                                 | 20  |
| 1.2.2 Algoritmo di generazione del k-esimo percorso più breve vincolato (van der Zijpp e Catalano 2005).....       | 22  |
| 1.2.3 Applicazioni degli Algoritmi di generazione del percorso .....                                               | 24  |
| Capitolo 2: Analisi della generazione degli insiemi di scelta del percorso dal punto di vista comportamentale..... | 33  |
| 2.1 Modelli di scelta del percorso.....                                                                            | 49  |
| 2.1.1 Modelli RUM classici .....                                                                                   | 50  |
| 2.1.1.1 Modello Logit Multinomiale (MNL) e sue varianti .....                                                      | 50  |
| 2.1.1.2 Modello Probit Multinomiale.....                                                                           | 52  |
| 2.1.1.3 Modello Multivariate Extreme Value .....                                                                   | 52  |
| 2.1.1.4 Modello Error Component.....                                                                               | 53  |
| 2.2 Rappresentazione dei comportamenti nella modellazione della scelta del percorso. ....                          | 54  |
| 2.3 Modello IAP .....                                                                                              | 63  |
| 2.3.2 Percezione del percorso.....                                                                                 | 65  |
| 2.3.3 Dominanza.....                                                                                               | 67  |
| 2.4 Effetto delle informazioni sulla scelta del percorso.....                                                      | 72  |
| 2.5 Analisi sulla scelta del percorso con l'utilizzo del GPS .....                                                 | 82  |
| Capitolo 3: Indagine sulle scelte di percorso.....                                                                 | 95  |
| 3.1 Questionario.....                                                                                              | 96  |
| 3.2 Analisi dei risultati.....                                                                                     | 102 |
| 3.3 Conclusioni .....                                                                                              | 152 |
| Conclusioni .....                                                                                                  | 155 |
| <i>Bibliografia</i> .....                                                                                          | 157 |



# **Introduzione**

La scelta del percorso nelle reti stradali è una tematica che è stata affrontata in innumerevoli studi e ha avuto notevoli sviluppi nel corso degli anni.

In questo lavoro si vuole analizzare in particolare la questione della definizione delle alternative nella scelta del percorso e realizzare un'indagine dei comportamenti degli automobilisti in relazione a tale tipo di scelta.

L'identificazione delle alternative di percorso è l'oggetto principale dei metodi di generazione dell'insieme di scelta.

Per poter definire le alternative di scelta del percorso, è fondamentale riuscire a modellare il comportamento di scelta dei viaggiatori, che a sua volta dipende dalle caratteristiche socio-economiche dell'individuo stesso e del percorso e dalle condizioni del traffico.

La comprensione del comportamento di scelta del percorso è essenziale per prevedere il comportamento dei guidatori in ipotetici scenari alternativi, e quindi per predire le future condizioni del traffico nelle reti di trasporto e per capire la reazione dei viaggiatori e in particolare il loro adattamento alle fonti di informazione.

In questa tesi si vuole studiare la scelta del percorso attraverso un'indagine sperimentale su un piccolo campione di automobilisti. Con questo scopo è stato sviluppato un questionario che è stato proposto ai partecipanti all'indagine. L'obiettivo di questo lavoro è di determinare i fattori che maggiormente influenzano le scelte di percorso dei guidatori e verificare se tali fattori hanno una correlazione con alcune caratteristiche individuali della persona come l'età, il genere, il luogo di residenze o l'occupazione.

La tesi è suddivisa in tre capitoli. Il primo presenta un'analisi della generazione degli insiemi di scelta di percorso dal punto di vista computazionale riportando alcune tecniche presenti in letteratura.

Il secondo illustra come alcune variabili comportamentali possono essere inserite all'interno di modelli di scelta del percorso e come l'utilizzo delle nuove tecnologie (GPS) accoppiate a interviste o rilevazioni sul campo possano permettere di valutare meglio il comportamento degli automobilisti.

Infine, nel capitolo conclusivo, viene illustrato il questionario sviluppato e viene descritta l'analisi svolta sui risultati, sottolineando quali sono i fattori che vengono considerati maggiormente importanti e valutando se tali fattori si possono statisticamente correlare con le già menzionate caratteristiche individuali.

# **CAPITOLO 1: Analisi della generazione degli insiemi di scelta del percorso dal punto di vista computazionale**

Prendendo in considerazione una rete di trasporto composta da collegamenti e nodi, per una data coppia di origine-destinazione e una data modalità di trasporto, un problema di notevole interesse consiste nel determinare le scelte di percorso compiute dai viaggiatori.

Per modellare il comportamento della scelta di percorso diventa essenziale capire la percezione dei viaggiatori delle caratteristiche del percorso, prevedere il loro comportamento in ipotetici scenari e le future condizioni del traffico e conoscere la reazione e l'adattamento dei viaggiatori alle fonti di informazione. La scelta del percorso dipende dagli attributi dei possibili percorsi, come tempo di percorrenza, tipo di strada, numero di semafori ecc., e d'altra parte, dalle caratteristiche e preferenze del viaggiatore.

Il problema della scelta del percorso è particolarmente complesso a causa di diversi aspetti: la complessità della rappresentazione del comportamento umano (i viaggiatori hanno una conoscenza imperfetta della rete e potrebbero non essere a conoscenza del percorso più breve), la determinazione degli attributi di percorso (ad esempio tempo di viaggio percepito) che vengono inseriti nella funzione di costo generalizzato e infine l'indisponibilità, da parte del modellatore, di ottenere informazioni precise sulle preferenze dei viaggiatori per il modellatore. Il modello di utilità casuale è particolarmente appropriato per modellare il comportamento di scelta ed è anche l'approccio più utilizzato (Frejinger, 2008). In esso si assume che un viaggiatore  $n$  percepisca un'utilità  $U_{in}$  per ogni alternativa  $i$  nel suo insieme di scelta  $C_n$ . L'utilità è definita come  $U_{in} = V_{in} + \varepsilon_{in}$  e ha sia un termine deterministico  $V_{in}$  che un termine  $\varepsilon_{in}$  il quale rappresenta l'incertezza. Il termine deterministico può

includere attributi dell'alternativa così come caratteristiche socio-economiche del viaggiatore. Esso ha , in generale, una formulazione lineare  $V_{in} = \beta X_{in}$  dove  $\beta$  è un vettore di coefficienti e  $X_{in}$  un vettore di attributi. Viene assunta come ipotesi che i viaggiatori massimizzino l'utilità e la probabilità che un' alternativa  $i$  venga scelta dall'insieme  $C_n$  dal viaggiatore  $n$  è quindi:

$$P(i/C_n) = P(U_{in} \geq U_{jn} \forall j \in C_n) = P(U_{in} = \max_{j \in C_n} U_{jn}) \quad (1.1)$$

Il numero di alternative teoricamente possibili per una data origine-destinazione è assai elevato. Gli algoritmi di generazione del percorso sono quindi utilizzati per definire sottoinsiemi di tali alternative .

## 1.1 Generazione dell'insieme di scelta

Nella scelta del percorso , un vasto numero di percorsi alternativi sono difficili da enumerare e persino da visualizzare . Infatti, l'insieme dei possibili percorsi per un viaggio in reti urbane dense di solito è costituito da centinaia di itinerari . Inoltre , questi itinerari sono per lo più sconosciuti e "nascosti" nella rete da cui devono essere estratti espressamente , in quanto non sono facilmente identificabili a causa del gran numero di collegamenti comuni (Bovy , 2009) . Questa estrazione esplicita richiede un processo di generazione dei percorsi. La formulazione seguente è detta Paradigma di Manski:

$$P_i(r|U_{Si}) = \sum_{C_{Si} \in P_{Si}} P_i(r|C_{Si}) P_i(C_{Si}|U_{Si}) \quad (1.2)$$

dove  $C_{Si}$  è il set di considerazione dell'individuo  $i$ .

$P_i(r|C_{Si})$  è la probabilità condizionata che l'individuo  $i$  scelga l'alternativa  $r$  all'interno di  $C_{Si}$  .

$P_i (r / U_{Si})$  è la probabilità che l'individuo  $i$  scelga l'alternativa  $r$  all'interno del set universale  $U_{Si}$  che comprende tutte le alternative disponibili.

$P_i (C_{Si} / U_{Si})$  è la probabilità che  $C_{Si}$  sia l'insieme considerato dall'individuo  $i$  essendo il suo insieme universale  $U_{Si}$ .

La probabilità totale  $P_i (r)$  risulta come una sommatoria di tutti le possibili alternative  $C_{Si}$  essendo elemento dell'insieme chiamato Power Set  $P_{Si}$ , detto "power set", è l'insieme di tutti i possibili insiemi non vuoti di scelta.

Il concetto fondamentale del Paradigma di Manski è che l'insieme di scelta dell'individuo non può essere conosciuto con certezza e non può essere osservato. Questo perché lo stesso individuo non può conoscere perfettamente l'insieme universale a causa del numero dei potenziali percorsi e delle sue limitate capacità cognitive. La cognizione è un aspetto che è associato alle esperienze di viaggio dell'individuo. L'esperienza è influenzata dalle preferenze, infatti il viaggiatore non prenderà in considerazione tutte le alternative per diversi vincoli relativi a tempo, costo, comfort).

Quindi le forti differenze individuali sono dovute alle difformità nella cognizione, percezione e preferenze.

Il viaggiatore ha una visione deterministica della propria scelta, al contrario, l'analista non conosce i gruppi di scelta effettivamente considerati dall'individuo. Solo se l'analista avesse sufficienti informazioni sulle condizioni specifiche del viaggiatore, potrebbe fare pronostici probabilistici. Però le informazioni non sono individuali ma sono conosciute al livello di popolazione di viaggiatori per cui il modellatore deve tenta di stabilire una scelta collettiva.

Bovy (2009) prende in considerazione una versione semplificata di un modello di rete reale, il cosiddetto set master.

Per poterlo realizzare bisogna tenere conto di tre passaggi:

- l'analisi delle alternative di viaggio per determinare la loro disponibilità, il numero, le caratteristiche, la varietà e la composizione ;
- la stima dei modelli di domanda disaggregati per scoprire i parametri comportamentali delle funzioni di utilità a livello individuale, con osservazioni di scelte individuali di percorso;
- la previsione della probabilità di scelta per determinare i livelli di flusso, utilizzando modelli di scelta di percorso con parametri stimati .

Per poter fare tutto ciò Bovy (2009) fa delle osservazioni sull'attrattività delle zone. L'analista è interessato a raggiungere delle previsioni soddisfacenti dei percorsi e collegare i flussi alla scelta di percorso, soprattutto per quegli spostamenti che hanno una importanza rilevante.

Bisogna calcolare la probabilità di scelta dei vari spostamenti O-D, separando prima i gruppi di utenti in base ai vari scopi di viaggio e poi sommando il numero di viaggi.

Per ottenere requisiti di qualità pertinenti bisogna includere tutti gli spostamenti pertinenti. Se si includono percorsi poco attraenti, queste non dovrebbero falsare le previsioni della domanda né influenzare in maniera grave l'efficienza computazionale.

La seconda fase della generazione è quella di filtraggio, dove il set master viene ridotto applicando dei vincoli.

Vengono eliminati itinerari per diversi motivi:

- Sovrapposizione dei percorsi che non possono essere percepiti come distinti a causa dell'elevata sovrapposizione spaziale.
- Indisponibilità di un percorso alternativo per l'individuo a causa di motivi personali.
- Percorsi che non garantiscono un livello di utilità minimo.

E' impossibile adottare a pieno questo approccio probabilistico di generazione dell'insieme di scelta a causa della vastità dei sets master nelle reti reali.

Pertanto, la rappresentazione del comportamento di scelta di percorso consiste nella definizione di percorsi alternativi disponibili e della scelta di un determinato percorso dall'insieme di scelta generato.

Tuttavia, una definizione oggettiva di percorso rilevante nelle reti reali attualmente manca per cui la corretta creazione di insiemi di scelta di percorso ai fini della previsione della domanda è più legato alla sensibilità ed all'esperienza dell'analista, piuttosto che a misure oggettive di qualità dell'insieme di scelta.

Per concludere mostriamo una panoramica del processo di generazione dell'insieme di scelta nella figura 1.1 (Frejinger,2008). In una rete reale consideriamo l'insieme di tutti i percorsi che collegano un'origine  $O$  e una destinazione  $D$ .

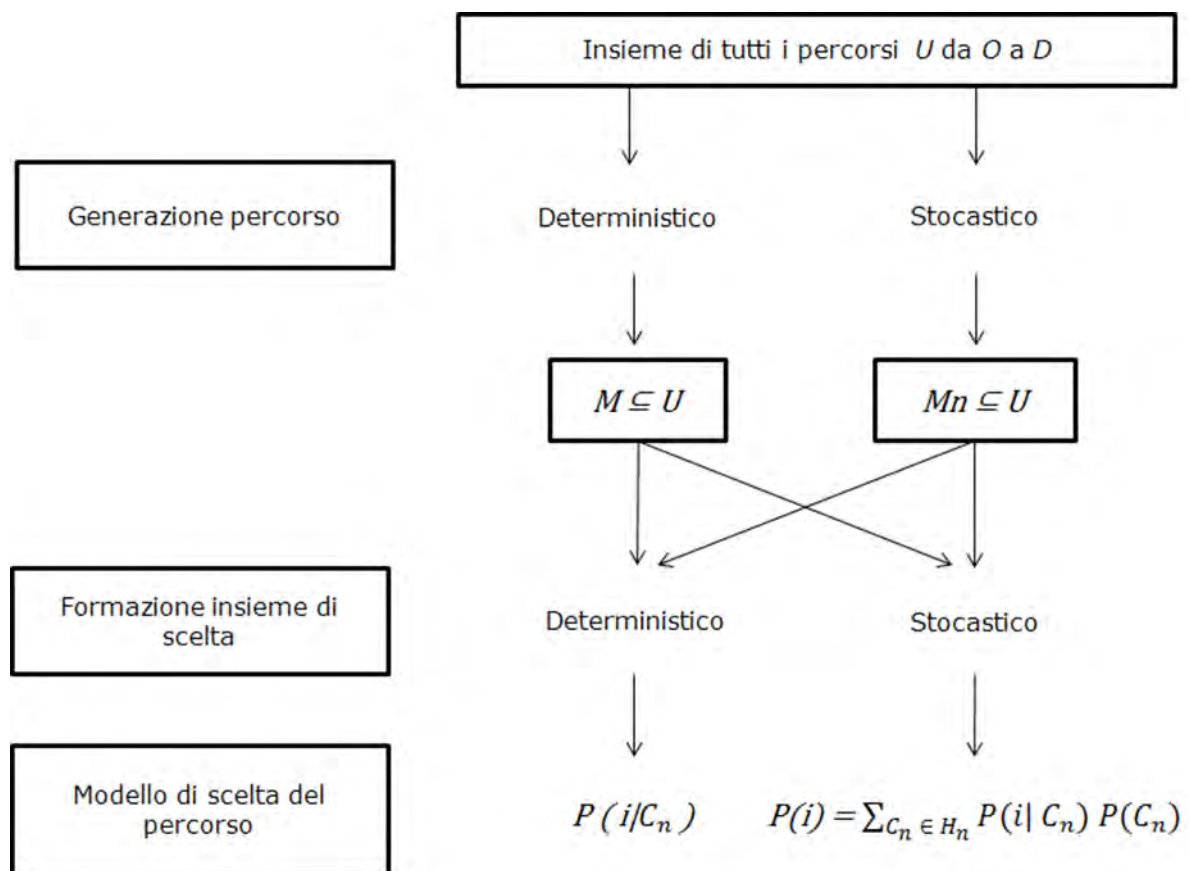


Figura 1.1: Rappresentazione schematica della generazione dell'insieme di scelta (Frejinger,2008)

Questo insieme, denominato Insieme Universale di scelta U, non può essere esplicitamente generato. Al fine di stimare un modello di scelta, un sottoinsieme di percorsi devono essere definiti e gli algoritmi di generazione sono utilizzati per questo scopo. Esistono approcci deterministici e stocastici per la generazione di percorsi.

La classificazione dei metodi di generazione dell'insieme di scelta si basa sulla distinzione tra metodi deterministici basati sul percorso più breve, tecniche stocastiche basate anch'esse sul percorso più breve, algoritmi di enumerazione vincolati e approcci probabilistici. La loro valutazione dipende dalla soddisfazione dei requisiti di scelta indicati e dai risultati di casi di studio presentati in letteratura.

#### **1.1.1 Metodi deterministici basati sul percorso più breve**

Il principale gruppo di metodi di generazione percorso si basa sulle ripetute ricerche del percorso più breve nella rete, in cui il calcolo di percorsi ottimali segue la modifica di una o più variabili di input come impedenze di collegamento, vincoli percorso e criteri di ricerca. Tutti questi metodi hanno una caratteristica comune che le soluzioni sono deterministiche, le coppie di origine-destinazione vengono elaborate in sequenza e la maggior parte delle procedure sono euristiche.

L'algoritmo dei percorsi più brevi è l'approccio più diretto al problema della generazione dell'insieme di scelta e consiste nel calcolo dei K migliori percorsi. L'ipotesi comportamentale dietro la ricerca dei K percorsi più brevi è che i viaggiatori limitano le loro scelte ad un certo numero di percorsi di costo minimo e cercano di evitare le alternative estremamente costose. Il numero dei percorsi generati definisce il campo di variazione di costi ammissibili tra il percorso più breve e il K-esimo percorso più breve e comprende anche alternative più lunghe rispetto al percorso minimo.

La limitazione della tecnica del K-esimo percorso più breve è la possibilità di generare percorsi tortuosi e estremamente simili che sono poco attraenti per i viaggiatori.

Inoltre la loro attuazione ha due limitazioni dal punto di vista della stima e della previsione rispettivamente. Dal punto di vista della stima, tutti i viaggiatori che si spostano tra la stessa coppia origine-destinazione condividono lo stesso insieme di scelta generato, ma tutto ciò appare irrealistico, visto che ciascun viaggiatore può avere vincoli personali, preferenze ed esperienze che portano a insiemi di scelta individuali. Dal punto di vista della previsione, non esistono misure oggettive dell'attrattività del percorso e perciò il fatto che tutti i percorsi interessanti siano generati viene lasciato solo alla sensibilità e all'esperienza del ricercatore.

L'approccio dell'etichettatura è un'altra tecnica molto usata in letteratura. L'assunzione del comportamento sotto l'approccio di etichettatura è che i viaggiatori hanno obiettivi diversi. Alcuni viaggiatori potrebbero voler minimizzare il tempo di viaggio, mentre altri possono sentirsi a disagio con strade o autostrade fortemente congestionate. Altri invece preferiscono guidare attraverso punti di riferimento familiari, mentre altri possono cercare percorsi panoramici in assenza di vincoli di tempo. Ogni criterio può corrispondere a un percorso preferito diverso e ogni percorso può essere etichettato secondo una funzione obiettivo diversa.

Bekhor (2006) considera quattro attributi e valuta i percorsi creati rispetto a quelli scelti che risultano da un'indagine effettuata tra i docenti ed il personale del Politecnico di Torino. Lo studio rivela che l'approccio di etichettatura riproduce solo parzialmente le scelte effettive dei viaggiatori reali e suggerisce che la copertura insoddisfacente dipende molto dalla definizione delle etichette. La discrezione dell'analista guida la definizione delle etichette e l'ipotesi corretta per la funzione obiettivo per ogni viaggiatore appare un compito complesso che richiede una conoscenza a priori circa le preferenze per un'implementazione efficiente.

Il Link Elimination si basa sulla ricerca ripetitiva del percorso più breve dopo la rimozione parziale o intera dei percorsi più brevi trovati nelle precedenti ricerche. Dal punto di vista comportamentale, questo approccio garantisce la dissomiglianza tra i percorsi alternativi che ovviamente non condividono collegamenti nella misura definita dalla regola del Link Elimination. Queste regole sono lasciate alla discrezione del ricercatore, che potrebbe eliminare per esempio tutti i collegamenti nei percorsi più brevi.

Azevedo e al (1993) presentano l'approccio originale del Link Elimination dove la regola di eliminazione rimuove tutti i collegamenti dal percorso più breve prima di cercare il percorso ottimale successivo. Il difetto di questo metodo è la possibile disconnessione dalla rete, ad esempio la rimozione di connettori non garantisce l'esistenza di percorsi aggiuntivi tra l'origine e la destinazione di un viaggio.

L'attuazione del Link Elimination appare problematico dal punto di vista comportamentale. Quando viene applicata la formulazione originale, il problema della disconnessione dalla rete non consente la generazione di tutti i percorsi attraenti. Quando viene eseguita l'eliminazione, il metodo produce percorsi estremamente simili.

Il metodo del Link Penalty si basa sulla ricerca ripetitiva del percorso più breve, ma a differenza del Link Elimination non viene rimosso un collegamento ma viene applicata ad esso una penalità.

de la Barra e al (1993) propongono di aumentare il costo generalizzato sui collegamenti nel percorso più breve e quindi calcolare un altro percorso più breve sulla base dei nuovi valori di costo. Da un lato, questo approccio, consente di utilizzare collegamenti essenziali (ad esempio ponti) e garantisce una rete connessa. D'altra parte, il percorso stesso può essere generato ripetutamente a seconda di come la funzione dei costi viene aggiornata e quindi il tempo di calcolo è eccessivamente lungo.

I limiti di questo approccio consistono nella generazione di percorsi ad alta impedenza che compromette la realistica dei percorsi.

### **1.1.2 Metodi stocastici**

La maggior parte degli approcci deterministici possono essere utilizzati come stocastici utilizzando un costo casuale generalizzato per i calcoli del cammino minimo. Questi metodi di generazione del percorso si basano anch'essi sulla ripetuta ricerca del percorso più breve, dove il calcolo dei percorsi ottimali si basa sull'estrazione casuale di impedenze di collegamento e delle preferenze individuali da distribuzioni probabilistiche. La caratteristica comune di questi metodi è che le soluzioni sono stocastiche, le coppie origine-destinazione vengono elaborate contemporaneamente e tutte le procedure sono euristiche. Inoltre, nella generazione del percorso stocastico la probabilità di selezione di un percorso dipende dalle proprietà del percorso stesso, come la lunghezza o il tempo di viaggio. Di conseguenza, i modelli di scelta percorso richiedono un termine di correzione del campionamento pari alla probabilità di selezione di percorsi alternativi al fine di non produrre stime distorte dei parametri (Frejinger, 2007; Bovy, 2009).

Un primo approccio appartenente al gruppo dei metodi stocastici è quello della simulazione.

L'approccio della simulazione presenta una ipotesi fondamentale dal punto di vista del comportamento. Infatti i viaggiatori all'interno dei costi di percorso hanno una componente di errore è che i viaggiatori considerano i costi del percorso con l'errore, che viene rappresentata estraendo funzioni di costo generalizzate da distribuzioni di probabilità.

L'idea dell'approccio di simulazione proviene dalla applicazione del modello Probit multinomiale (MNP) di assegnazione del traffico.

Fiorenzo-Catalano (2007) utilizza una versione della tecnica Monte Carlo aumentando gradualmente la varianza dei componenti casuali del modello al fine di mantenere costante la frequenza con cui vengono trovati nuovi percorsi. Recentemente, Bovy e Fiorenzo-

Catalano (2007) hanno proposto il cosiddetto approccio di generazione dell'insieme di scelta doppiamente stocastico. L'ipotesi comportamentale alla base di questo approccio è che non solo i viaggiatori percepiscono con errori i costi del percorso, ma che i vari viaggiatori hanno diverse percezioni. Di conseguenza, la funzione di generazione ha un termine casuale per la funzione di costo generalizzato e un termine casuale per l'eterogeneità del viaggiatore. I percorsi rilevanti sono creati fornendo diversi attributi alla rete per ottenere una ricerca ottimale del percorso. Bovy e Fiorenzo-Catalano (2007) hanno calibrato le varianze e applicato l'approccio al corridoio Rotterdam-Dordrecht in Olanda. I vantaggi di questo metodo sono l'eterogeneità delle alternative generate e l'efficienza computazionale in grandi reti. Il difetto di questa tecnica consiste nella calibrazione dei coefficienti della funzione di probabilità e l'uso di valori errati che possono produrre percorsi irrilevanti e non realistici. Inoltre, questa tecnica affronta gli stessi problemi dell'approccio di simulazione rispetto alla selezione delle distribuzioni di probabilità, con l'ulteriore problema della distribuzione del valore del tempo.

## **1.2 Applicazione dei metodi di generazione dell'insieme di scelta.**

Nella presente sezione vengono presentati i metodi di generazione dell'insieme di scelta sopracitati con esempi di applicazioni e di algoritmi presenti nella letteratura.

Dare un'interpretazione comportamentale al processo di formazione dell'insieme di scelta, è un approccio intuitivamente attraente e teoricamente plausibile. Infatti la formazione può essere vista come un processo di definizione dell'insieme fattibile delle alternative per un singolo decisore.

Nel corso degli anni vari analisti hanno sviluppato vie diverse nello sviluppo di questo argomento, chi ha scelto approcci probabilistici utilizzando vincoli casuali, chi ha sviluppato metodi di enumerazione

vincolata introducendo soglie comportamentali per esprimere i vincoli all'interno di un algoritmo del k-esimo percorso più breve tramite algoritmi e chi ha cercato di mettere insieme i due aspetti.

Il paradigma di Manski (1977) è molto simile al modello di comportamento razionale proposto da Simon (1955).

Il primo passo del paradigma di Manski, che è quello della generazione dell'insieme di scelta, è equivalente al processo di definizione di quello che Simon chiama "sottoinsieme considerato". Esso è il sottoinsieme delle alternative oggettivamente disponibili che il decisore considera per la propria scelta.

Il processo di identificazione non deve solo considerare vincoli come il reddito e le infrastrutture disponibili, ma anche considerare delle limitazioni informative, psicologiche, culturali e sociali.

Se si considera questo punto di vista nel processo di definizione dell'insieme di scelta, la tematica risulta essere in che modo possiamo incorporare i vincoli nell'insieme di scelta.

L'osservatore, che è esterno al processo di scelta sotto esame, ha limitate informazioni della sequenza degli eventi e degli attori coinvolti.

Un vincolo quindi può essere pensato sia in maniera deterministica che probabilistica. Ciò dipende dal grado di confidenza che l'osservatore ha sulle informazioni che ha in mano.

La segmentazione del mercato, insieme a specifici modelli, può essere un utile strumento per esprimere gli effetti dei vincoli come ad esempio la suddivisione dei decisori in gruppi che rispecchiano differenze familiari (famiglie con molti individui indipendenti, singolo lavoratore con un nucleo familiare con bambini etc).

Ben-Akiva (1984) fornisce una innovativa applicazione per la definizione dell'insieme di scelta e considera dei guidatori di una zona dell'Olanda.

Ben-Akiva propone di definire un insieme di "labelled paths" come insieme di scelta. Questo metodo, detto etichettatura, permette di trasformare un gran numero di percorsi fisici in un più piccolo numero

di vie che rappresentano una specifica "etichetta". Un percorso etichettato è definito come il percorso fisico ottimale rispetto a dei criteri. I criteri che vengono proposti nel lavoro di Ben-Akiva (1984) sono tempo di viaggio, distanza, congestione, numero di intersezioni, sicurezza, qualità della strada. Le funzioni d'etichetta sono stimate per massimizzare la quota di percorsi osservati inclusa negli insiemi di percorsi etichettati.

Questo approccio prevede due fasi del processo decisionale. Nella prima, un insieme di scelta delle alternative dei percorsi tra origine e destinazione viene generata (i percorsi etichettati). Nella seconda fase il guidatore seleziona una di queste vie sulla base delle caratteristiche personali e del percorso.

Per poter realizzare le etichette bisogna prima individuare i criteri (citati sopra) che sono limitati dalla disponibilità di avere un buon livello di informazione. Il secondo passo è quello di definire la funzione d'impedenza per le etichette.

L'obiettivo di Ben-Akiva è quello di generare un insieme di scelta che includa i percorsi scelti dei viaggiatori. L'obiettivo dell'intero "label set" è di massimizzare la copertura dell'insieme dei percorsi scelti e i valori ottimali dei parametri delle funzione d'impedenza sono i valori che massimizzano questa copertura.

L'obiettivo è quello di massimizzare il numero di percorsi osservati in un campione di dimensione  $N$  che sono compresi nell'insieme delle  $J$  etichette. Essendo  $C_{in}$  una variabile dummy che indica la copertura del percorso scelto essendo  $i$  il percorso etichettato e  $n$  l'osservazione e  $D_{ijn}$  una variabile dummy che indica la sovrapposizione tra il percorso etichettato  $i$  e quello  $j$  per la coppia O/D. Se  $P_{in}$  rappresenta il percorso per l'etichetta  $i$  e  $P_{cn}$  il percorso scelto per la coppia O/D con  $n=1,...,N$ , allora la funzione obiettivo si può scrivere come:

$$Max_{\beta} \quad \sum_{i=1}^J \sum_{n=1}^N (C_{in} - Q_{in}) \quad (1.3)$$

Dove

$$C_{in} = \begin{cases} 1 & \text{se } P_{in} = P_{cn} \\ 0 & \text{se } P_{in} \neq P_{cn} \end{cases}$$

$$Q_{in} = \begin{cases} 1 & \text{se } \sum_{j=1}^{i-1} D_{ijn} > 0 \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

E per  $i \neq j$

$$D_{ijn} = \begin{cases} 1 & \text{se } P_{in} = P_{jn} \\ 0 & \text{se } P_{in} \neq P_{jn} \end{cases}$$

I percorsi  $P_{in}$ ,  $i=1,...,J$  e  $n=1,...,N$ , sono condizionati dal valore del parametro  $\beta$  usato per generare le etichette nella rete.

Il problema di stima sta nel trovare il valore del parametro  $\beta$  che massimizza la funzione obiettivo.

Risulta chiaro che trovare una soluzione globale del problema risulta molto complicato in quanto la funzione è complessa e anche fornire dei limiti al parametro  $\beta$  risulta difficile. Per massimizzare la funzione obiettivo  $\beta$  sarà  $\geq 0$  ma il problema sta nel definire il limite superiore.

Swait e Ben-Akiva (1987) presentano un'interpretazione comportamentale nel processo di generazione dell'insieme di scelta, producendo una struttura matematica corrispondente.

In questo articolo, Swait et al. spiegano che in via teorica se si hanno informazioni che sono conosciute con certezza, la loro incorporazione nei processi di modellazione e di stima dei parametri produce risultati efficienti.

Secondo aspetto molto importante della trattazione di Swait et al è che considera la limitata conoscenza da parte dell'analista dell'insieme globale di scelta.

L'autore fornisce una struttura matematica per la generazione dell'insieme di scelta. Swait spiega come sia impossibile effettuare

un'osservazione pratica delle alternative e ciò costringe ad esprimere la probabilità dell'osservazione dell'insieme di scelta utilizzando la formulazione di Manski (1977) opportunamente modificata

$$P_r(j|B, D, X_n) = \sum_{C \in G_n} P_r(j|C, D, X_n) P_r(C|G_n, D, X_n) \quad (1.4)$$

dove  $j$  è un'alternativa discreta,  $n$  è un individuo nella popolazione,  $X_n$  è la matrice degli attributi socio-economici e delle alternative,  $B$  e  $D$  vettori dei parametri,  $C$  è l'insieme di scelta e  $G_n$  è l'insieme di tutti i sottoinsiemi non vuoti di  $M_n$ ,  $M_n$  è l'insieme di tutte le alternative deterministicamente fattibili per  $n$  ( $M_n \subseteq M$ ),  $M$  è il set master che comprende tutte le alternative possibili per il contesto di scelta e la popolazione in questione.

Questa espressione esprime tre parti del modello di generazione dell'insieme di scelta:

- Un modello di scelta,  $P_r(j|C, D, X_n)$ , che risulta nullo se  $j \notin C$
- Un modello deterministico di generazione dell'insieme di scelta che a priori definisce l'insieme  $M_n$
- Un modello stocastico di generazione dell'insieme di scelta  $P_r(C|G_n, D, X_n)$  che esprime la probabilità che l'insieme  $C \subseteq M_n$

Questa struttura ha un alto grado di complessità computazionale. Gli insiemi di scelta di forte interesse sono formati da molte alternative. Un possibile approccio per ridurre la dimensione del problema di generazione dell'insieme di scelta è quello di mettere delle restrizioni sui membri di  $G_n$ .. La metodologia che è proposta dagli autori per la formazione del modello dell'insieme di scelta è basato sulla descrizione di esistenti interconnessioni tra i decisori e il loro ambiente.

L'incapacità di descrivere correttamente tutte le restrizioni sulla popolazione di decisori porta Swait e al (1987) a formalizzare il concetto dei probabilistici vincoli nella formulazione seguente.

$$H_k(D, X_{in}) \geq 0, \forall i \in M_n, \forall k \in K \quad (1.5)$$

dove  $k$  è l'insieme dei vincoli,  $X_{in}$  è il vettore delle caratteristiche dell'individuo  $n$  e degli attributi dell'alternativa  $i$ .

La mancanza di conoscenza da parte dell'analista è introdotta dalla seguente variabile casuale scomponibile

$$H_k(D, X_{in}) = h_k(D, X_{in}) - v_{ikn}, \forall i \in M_n, \forall k \in K \quad (1.6)$$

dove  $h_k(D, X_{in})$  è la deterministica porzione del  $k$ -esimo vincolo e  $v_{ikn}$  è la componente sconosciuta quindi una variabile casuale.

Da questa struttura Swait e al (1987) sviluppano un modello per la generazione dell'insieme di scelta.

Un altro lavoro che riguarda l'argomento degli approcci con vincoli casuali, lo realizza sempre Ben-Akiva (1995). Come altri lavori visti precedentemente, Ben-Akiva fornisce una rappresentazione del comportamento di scelta individuale cercando di trattare la generazione dell'insieme di scelta come un processo probabilistico.

Bovy (2009) dimostra che gli approcci con vincoli casuali sono applicabili ai fini sia della stima che della previsione. Bovy (2009) sostiene inoltre che gli approcci con vincoli casuali sono limitati a semplici situazioni di scelta con poche alternative e che l'adozione di un approccio probabilistico completo è quasi impossibile nel contesto di scelta di percorso per l'alto numero di possibili alternative e il conseguente elevato numero di possibili insiemi di scelta.

### **1.2.1 Algoritmi di generazione del k-esimo percorso più breve**

Ora passeremo a presentare alcuni studi riguardanti l'utilizzo dell'algoritmo per la ricerca del percorso più breve.

Quindi, prima di affrontare le varie tecniche di generazione, faremo una digressione su questi algoritmi.

Le reti di trasporto sono rappresentate da grafi  $G(N,A)$  formati da nodi  $N$  e archi  $A$ . Il percorso è una serie di collegamenti connessi a una data origine e a una data destinazione. Questi collegamenti hanno un numero di attributi ( tempo di viaggio, distanza etc.) e il costo generalizzato di un collegamento è una funzione di questi attributi.

Il percorso più breve è quel percorso che minimizza il costo generalizzato. Nelle reti di trasporto il costo generalizzato più usato è sicuramente il tempo di viaggio.

Gli algoritmi possono essere classificati sulla base di due criteri. Il primo è se essi operano trovando il percorso più breve da una singola origine ad una singola destinazione o lo trovano partendo da una singola origine a tutte le destinazioni.

Il secondo criterio dipende se gli algoritmi possono garantire di trovare la soluzione migliore (ottimali o euristici). Sebbene gli algoritmi ottimali sarebbero da preferire spesso succede che alcune considerazioni della rete possono precluderne l'utilizzo.

Vi sono essenzialmente due classi di algoritmi per la determinazione del k-esimo percorso più breve. La prima categoria è formata da algoritmi che utilizzano l'impostazione e correzione dell'etichetta mentre la seconda è basata sul concetto di eliminazione di percorso.

Un algoritmo che appartiene alla seconda categoria è l'algoritmo di Azevedo e al (1993). Questo algoritmo è basato sul concetto di eliminazione del percorso. L'algoritmo di Azevedo e al. è basato su un semplice procedimento: un percorso più breve viene determinato, viene utilizzato un algoritmo di eliminazione per rimuovere il percorso

dalla rete, successivamente il percorso più breve per la nuova rete viene calcolato e il processo si ripete fino a quando non possono essere calcolati nuovi percorsi.

Come detto nei paragrafi precedenti questi algoritmi hanno subito in seguito una modifica da parte di diversi autori e invece di utilizzare il metodo del "link elimination" è stato introdotto quello del "link penalty".

Qui i collegamenti non vengono eliminati ma gli viene applicata una penalità. Generalmente la penalità viene assegnata al costo generalizzato dei collegamenti.

Un esempio di algoritmo del k-esimo percorso più breve in cui viene applicata una penalità di sovrapposizione è il seguente (Park e Rilett, 1997):

**1. Inizializzazione**

$K=1$

**2. Ricerca del k-esimo percorso più breve**

Si identifica il k-esimo percorso usando un algoritmo del percorso più breve.

**3. Regola dello stop**

Se  $k$  è uguale al numero dei percorsi richiesti, STOP.

Sennò GO TO passo 6.

**4. Aggiorno il costo generalizzato ( $gc$ ) su tutti i collegamenti**

$$gc_a^{k+1} = gc_a^k f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1.7)$$

dove  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  è la funzione di penalità di sovrapposizione.

**5. Si incrementa il contatore**

$k = k+1$ , e

GO TO passo 2.

**6. Si calcola il costo generalizzato di tutti i percorsi utilizzati usando il costo generalizzato iniziale, e si calcolano gli attributi dei  $k$  percorsi.**

Le variabili  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  sono il numero delle volte che il collegamento viene identificato su un percorso ragionevole all'iterazione k.

L'espressione funzionale delle penalità di sovrapposizione è:

$$gc_a^{k+1} = gc_a^k (1 + \alpha/D)^\beta = gc_a^0 (1 + \alpha/D)^n \quad (1.8)$$

dove

$gc_a^k$  è il costo generalizzato sul collegamento a all'iterazione k,

$\alpha$  è il fattore di dispersione ( parametro della penalità),

$D$  è il costo generalizzato del percorso più breve per la coppia O-D,

$\beta$  è uguale a 1 se il link a è sul percorso k altrimenti è nulla,

$n$  è numero di volte che il link a è stato usato.

### **1.2.2 Algoritmo di generazione del k-esimo percorso più breve vincolato (van der Zijpp e Catalano 2005)**

Un lavoro molto interessante riguardante l'uso degli algoritmi di generazione del k-esimo percorso più breve, lo propongono van der Zijpp e Catalano (2005).

Partendo dalla considerazione che la generazione del percorso può essere espressa da un numero di vincoli, per risolvere il problema basta trovare il k-esimo percorso più breve che soddisfa questi vincoli.

Il metodo che viene esposto da van der Zijpp e Catalano (2005) è quello del "constrained K-shortest paths" (CKSP).

Questo articolo presenta un metodo per trovare i k-esimi percorsi fattibili più brevi in modo da generare un gran numero di percorsi alternativi pur utilizzando vincoli restrittivi permettendo di trovare una classe ampia e rilevante di vincoli da incorporare nella ricerca.

Questo algoritmo, a differenza degli algoritmi visti in precedenza, ci permette di ricavare una scelta di percorso impostata sulla base di vincoli oggettivi. L'algoritmo di Lawler (1976) consente di trovare i percorsi più brevi tra una sola origine e una singola destinazione e si basa sul seguente sviluppo:

- 1.** definisce l'insieme di tutti i percorsi in una rete e determina il percorso più breve.
- 2.** Divide i percorsi rimanenti in sottoinsiemi.
- 3.** Determina il percorso più breve per ciascuno di questi sottoinsiemi.
- 4.** Infine trova il secondo percorso più breve che non è altro il percorso più breve dei sottoinsiemi.

I seguenti passaggi si ripetono fino a quando vengono trovati tutti i percorsi più brevi.

Ora mostreremo la forma dell'algoritmo:

- 1.** Definire  $S_{0,1}$  come l'insieme di tutti i percorsi da O a D.
- 2.** Trovare il percorso più breve all'interno di  $S_{0,1}$  e definirlo come  $P(S_{0,1})$
- 3.** Dividere  $S_{0,1} - P(S_{0,1})$  in  $q$  (1) sottoinsiemi, indicandoli con  $S_{1,1}, S_{1,2}, \dots, S_{1,q(1)}$ .
- 4.** Porre  $m = 1$

Passo: calcolare il percorso più breve  $m+1$  (e continuare fino a  $m = k$ )

- 5.** Calcolare i percorsi più brevi per i sottoinsiemi  $S_{m,1}, S_{m,2}, \dots, S_{m,q(m)}$  e definire questi percorsi con  $P(S_{m,1}), P(S_{m,2}), \dots, P(S_{m,q(m)})$ .

6. Trovare il percorso più breve  $m+1$  all'interno di tutti i sottogruppi che sono stati identificati fino ad ora.  
 $\{ P(S_{1,1}), \dots, P(S_{1,q(1)}), P(S_{2,1}), \dots, P(S_{2,q(2)}) \dots P(S_{m,1}), \dots, P(S_{m,q(m)}) \}$ .
7. Si chiami  $S_{a,j}$  l'insieme che contiene il percorso più breve  $m+1$ .  
 Dividere  $S_{a,j} - P(S_{a,j})$  in  $q(m+1)$  sottoinsiemi e definiamo questi con  $S_{m+1,1}, S_{m+1,2}, \dots, S_{m+1,q(m+1)}$
8. Porre  $m = m + 1$ .

Nel seguito vengono riassunti due lavori riguardanti le applicazioni di algoritmi di calcolo e viene presentato un confronto fra essi.

### 1.2.3 Applicazioni degli Algoritmi di generazione del percorso

Il primo articolo, che andiamo ad esaminare, è quello di Beckor e al (2006) dove gli autori effettuano la generazione del percorso sulla rete autostradale della regione di Boston. Quest'area, pari a 2800 Km<sup>2</sup> e dove risiedono circa 4 milioni di abitanti, è suddivisa in 800 zone, e la rete contiene circa 13000 nodi e circa 34000 collegamenti. Gli attributi dei collegamenti utilizzati sono: distanza, tempo free-flow, capacità, numero corsie, pedaggi. I dati di scelta del percorso sono ricavati da un sondaggio effettuato dall'Ufficio di Pianificazione del MIT. I viaggiatori hanno fornito una descrizione del loro percorso abituale. In totale gli intervistati sono stati 188.

Per valutare questi dati sono stati utilizzati i quattro algoritmi principali: il procedimento di etichettatura, l'eliminazione del percorso, la penalità del percorso e la simulazione.

L'aspetto che qui si vuole verificare è la copertura delle tecniche di generazione che rappresentano la coerenza comportamentale misurando la percentuale di osservazioni per cui un algoritmo riproduce i percorsi osservati secondo una certa soglia di sovrapposizione.

Il primo passo è stato quello di considerare ogni singola etichetta (tempo minore, minimizzare costo generalizzato, minimizzare le svolte a sinistra) cioè viene prodotto un percorso che minimizza una particolare etichetta. Producendo 16 diversi algoritmi, nessuno fornisce risultati soddisfacenti e non hanno una sovrapposizione sufficiente con nessuna dei percorsi osservati.

Per cui Beckor e al (2006) decidono di prendere in considerazione quegli algoritmi che producono percorsi multipli: l'eliminazione del percorso, la penalità del percorso e la simulazione.

Questo secondo passo mostra che la ricerca del k-esimo percorso più breve ha una copertura maggiore rispetto all'etichettatura singola.

L'algoritmo di simulazione presenta un rendimento che cala in proporzione al numero di estrazioni. La simulazione a 48 estrazioni fornisce una migliore copertura rispetto all'etichettatura con tre parametri: distanza, tempo free-flow.

Ma, come si può vedere dalla tabella sottostante tratta da Beckor e al (2006), la simulazione non fornisce risultati migliori rispetto agli approcci a percorso più breve o all'etichettatura con tutti i 16 algoritmi.

Altro aspetto molto importante esaminato da Beckor e al (2006) sono le prestazioni di calcolo. Gli algoritmi sono stati eseguiti con il software TransCad. Il peggiore dei metodi esaminati è indubbiamente quello delle penalità di collegamento che per il calcolo delle 188 coppie di origine e destinazione impiega dai 3 ai 13 giorni a seconda del numero dei singoli percorsi. Il metodo dell'eliminazione del percorso impiega decisamente meno. Ci vogliono 7 minuti per calcolare una coppia O-D e circa 22 ore per tutte 188 le coppie.

| Algorithm description and parameters                   | Overlap required for coverage |     |     |     |     |     |
|--------------------------------------------------------|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                                                        | 100%                          |     | 90% |     | 80% |     |
| Combination of all labeling algorithms (From Table 1)  | 136                           | 72% | 143 | 76% | 160 | 85% |
| Combination of min. distance, free-flow time and time  | 74                            | 39% | 82  | 44% | 97  | 52% |
| <i>K</i> -Shortest paths–link penalty 40 unique routes | 102                           | 57% | 120 | 67% | 143 | 80% |
| <i>K</i> -Shortest paths–link penalty 15 unique routes | 101                           | 56% | 118 | 66% | 139 | 78% |
| <i>K</i> -Shortest paths–link elimination              | 113                           | 60% | 119 | 63% | 134 | 71% |
| Combination of all above algorithms                    | 156                           | 83% | 164 | 87% | 175 | 93% |
| Minimize simulated time 48 draws                       | 94                            | 50% | 120 | 64% | 148 | 79% |
| Minimize simulated time 32 draws                       | 92                            | 49% | 115 | 61% | 143 | 76% |
| Minimize simulated time 16 draws                       | 82                            | 44% | 106 | 56% | 133 | 71% |
| Minimize simulated time 8 draws                        | 71                            | 38% | 95  | 51% | 121 | 64% |
| Combination of all above algorithms                    | 157                           | 84% | 165 | 88% | 177 | 94% |

*Notes:* 188 observations total. Algorithms are sorted by type, and then in descending order of coverage at the 100 percent overlap threshold.

Figura 1.2: Copertura degli algoritmi di generazione per Boston  
(fonte: Beckor e al (2006))

L'algoritmo che fornisce le prestazioni migliori è quello di simulazione. Applicando 48 estrazioni, esso fornisce soddisfacenti risultati computazionali sia dal punto di vista della copertura che per i tempi di calcolo che sono di 3 minuti e 22 secondi a coppia e 10 ore e 30 minuti per tutte e 188 le coppie O-D.

Sulla base di questi risultati Beckor e al (2006) hanno deciso di utilizzare per la generazione dell'insieme di scelta una simulazione con 48 estrazioni e l'etichettatura con i tre parametri distanza, tempo free-flow.

Beckor e al (2008) hanno poi affrontato un argomento poco trattato nella letteratura.

Si tratta di un test per analizzare la trasferibilità delle tecniche di generazione del percorso. Tale test si basa su una nuova definizione dell'indice che misura l'efficienza delle varie tecniche.

La generazione dei percorsi deve creare un insieme di scelta compatibile con il comportamento osservato, che comprenda il percorso reale scelto tra quelli generati, e che sia in grado di limitare l'impegno computazionale e quindi il numero di percorsi creati.

Quindi i test d'efficienza devono tenere conto di due aspetti fondamentali: la copertura e l'efficienza computazionale.

Per una generica osservazione  $n$ , la copertura  $C$  di una tecnica di generazione del percorso  $G$  è rappresentata come una funzione  $I$  pari a 1 se l'argomento è vero e pari a 0 altrimenti:

$$C_{G,n} = I(O_{G,n} \geq \delta) = I(L_{G,n} / L_n \geq \delta) \quad (1.9)$$

dove  $O_{G,n}$  è la misura della sovrapposizione,  $L_{G,n}$  è la lunghezza della sovrapposizione tra il percorso generato da  $G$  e il percorso osservato per il soggetto  $n$ ,  $L_n$  è la lunghezza del percorso osservato per il soggetto  $n$  e  $\delta$  è la soglia del valore di sovrapposizione.

L'efficienza computazionale invece è espressa da

$$CE_{G,n} = 1 - \frac{GR_{gen,n} - R_{rel,n}}{GR_{gen,n}} \quad (1.10)$$

dove rapporto del numero di percorsi  $GR_{gen,n} - R_{rel,n}$  è il rapporto del numero dei percorsi in eccesso dall'algoritmo ideale e il numero attuale degli unici percorsi generati  $GR_{gen,n}$  è il numero degli unici percorsi generati.

L'indice d'efficienza totale è espresso dalla media dei 2 indici essendo  $N_{obs}$  il numero delle osservazioni disponibili:

$$EI_G = \frac{1}{N_{obs}} \sum_{n=1}^{N_{obs}} \left\{ \left[ I\left(\frac{L_{G,n}}{L_n} \geq \delta\right) + \left(1 - \frac{GR_{gen,n} - R_{rel,n}}{GR_{gen,n}}\right) \right] / 2 \right\} \quad (1.11)$$

Beckor e al (2008) considerano una tecnica di generazione  $G$  applicata a due fonti di dati DS1 e DS2, la cui massima efficienza si ottiene implementando gli insiemi di parametri GP1 e GP2.

Affinché si possa effettuare il test di trasferibilità bisogna definire le seguenti regole:

1. L'efficienza  $E_{G1,n}$  per l'osservazione  $n$  appartenente a DS2 è ottenuta dall'implementazione di  $G$  con i parametri GP1 e DS2.
2. L'efficienza  $E_{G2,n}$  per l'osservazione  $n$  appartenente a DS2 è ottenuta dall'implementazione di  $G$  con i parametri GP2 e DS2.
3. Le categorie d'efficienza sono ottenute dalla partizione dell'indice d'efficienza nelle  $K$  categorie.
4. La frequenza  $F_{G,k}$  di ogni categoria efficiente di  $k$ , definita come il numero di osservazioni per cui l'efficienza  $E_{G2,n}$  si trova tra i limiti inferiore e superiore che identifica la categoria  $k$ .
5. La frequenza  $F_{G1,k}$  di ogni categoria efficiente di  $k$ , definita come il numero di osservazioni per cui l'efficienza  $E_{G1,n}$  si trova tra i limiti inferiore e superiore che identifica la categoria  $k$ .

Il test di trasferibilità ha la seguente forma:

$$TS_{G,DS1 \rightarrow DS2} = \sum_{k=1}^k \frac{(F_{G1,k} - F_{G2,k})^2}{F_{G2,k}} \quad (1.12)$$

ed è verificato se l'ipotesi nulla di ugual distribuzione di efficienza non viene rifiutata e contemporaneamente  $G$  è trasferibile da DS1 a DS2. Per implementare questo procedimento Beckor e al (2008) hanno considerato due fonti di dati.

La prima è quella già citata e relativa alla città di Boston mentre la seconda è relativa alla rete della città di Torino, costituita da 92 zone, 417 nodi e 1427 collegamenti. Le fonti di dati sono composte da 236 percorsi che collegano 182 coppie di origine e destinazione.

Quindi si lavora su due reti notevolmente diverse dal punto di vista dimensionale.

Gli approcci scelti per la generazione del percorso sono: etichettatura, eliminazione del link, penalità del link, simulazione e l'algoritmo "branch and bound".

Quest'ultimo metodo non utilizza la tecnica del percorso più breve ma definisce 5 soglie comportamentali:

- 1.** La soglia "direzionale" esclude i percorsi considerati più lontani dalla destinazione e quelli più vicini dall'origine.
- 2.** La soglia "temporale" elimina quei percorsi che hanno un tempo di viaggio troppo alto.
- 3.** La soglia relativa a quei percorsi che i viaggiatori non considerano perché compiendo una deviazione di aumentano il percorso notevolmente.
- 4.** La soglia di "somiglianza" che rimuove quei tracciati che hanno un alto grado di sovrapposizione.
- 5.** La soglia di "movimento" che esclude i percorsi non realistici che provocano ritardi in termini di tempo di viaggio e stress per i guidatori.

Beckor e al (2008) analizzano le statistiche relative alla trasferibilità per ognuna delle sopra citate tecniche.

Ovviamente nel corso dell'analisi sono state considerate anche le grandi differenze che esistono tra le due reti.

Per quanto riguarda la copertura, circa il 40% degli intervistati sia di Boston che di Torino scelgono il percorso più breve, che viene calcolato sulla base della distanza, tempo free-flow e tempo di viaggio in condizioni congestionate. Sia l'eliminazione che la penalità del collegamento mostrano risultati simili. La simulazione fornisce buoni risultati soprattutto relativi alla soglia dell'80% di sovrapposizione. Ma è l'algoritmo "branch and bound" che fornisce esiti migliori e nettamente superiori a tutte le altre tecniche indipendentemente dalla fonte dei dati. Infatti, come si può vedere dalla tabella sottostante, in tre casi su quattro arriva ad una copertura di oltre il 90%. Ciò ci fa capire quanto risulti importante l'aspetto comportamentale nella generazione dell'insieme di scelta.

| Path generation technique | Boston coverage (%) for an overlap threshold equal to |       | Turin coverage (%) for an overlap threshold equal to |       |
|---------------------------|-------------------------------------------------------|-------|------------------------------------------------------|-------|
|                           | 100%                                                  | 80%   | 100%                                                 | 80%   |
| Labeling approach         | 40.43                                                 | 52.66 | 36.44                                                | 40.25 |
| Link elimination          | 60.11                                                 | 71.28 | 58.47                                                | 69.92 |
| Link penalty              | 53.72                                                 | 73.94 | 53.81                                                | 62.29 |
| Simulation                | 48.94                                                 | 76.06 | 61.02                                                | 70.76 |
| Branch and bound          | 65.43                                                 | 96.28 | 91.10                                                | 96.61 |

Figura 1.3 : Copertura delle tecniche di generazione del percorso  
(Fonte: Beckor e al (2008) )

Gli autori sono pervenuti ad analoga conclusione per quanto riguarda gli indici di efficienza: in tutti i casi il metodo "branch and bound" risulta quello con la massima efficienza. Infine per quanto riguarda il calcolo delle statistiche di trasferibilità sono stati ottenuti risultati contrastanti.

Per l'algoritmo "branch and bound" vi è la trasferibilità da Boston a Torino ma non il contrario. Ciò si può spiegare se si considera che la rete di Torino è più ridotta e presenta vincoli più restrittivi.

L'approccio di etichettatura per entrambi i casi è trasferibile. Questo perché le stesse etichette producono la soluzione più efficace per entrambi le fonti di dati.

Per l'eliminazione del collegamento non vi è trasferibilità dei dati in entrambi i casi perché vi è una grande differenza tra i percorsi generati. Infatti si diminuisce l'efficienza computazionale quando si utilizzano un gran numero di percorsi a Torino e diminuisce la copertura quando vengono applicate un numero ridotto di ripetizioni a Boston.

La penalità di collegamento è trasferibile da Boston a Torino, ma non da Torino a Boston. Questo è dovuto al fatto che la penalità di impedenza applicata a Torino non vale per i percorsi più lunghi di Boston e così si generano percorsi irrilevanti.

L'approccio di simulazione è trasferibile da Boston a Torino, ma non da Torino a Boston, dove l'inferiore numero di estrazioni non consente la copertura di un numero sufficiente di percorsi osservati.

Come si può vedere dai risultati di questo studio, l'algoritmo "branch and bound" è quello che riesce a riprodurre il comportamento nella maniera migliore rispetto a tutte le altre tecniche e ha anche una maggiore efficienza per generare i percorsi.

Ciò significa che la ricerca del percorso più breve non è l'unico metodo per determinare l'insieme di scelta e soprattutto che l'aspetto comportamentale della scelta ha un ruolo fondamentale nello sviluppo di queste tecniche.

Nel capitolo successivo verrà approfondita proprio questa tematica.



## **Capitolo 2: Analisi della generazione degli insiemi di scelta del percorso dal punto di vista comportamentale**

Il viaggio è una parte importante della vita di tutti i giorni. Numerosi spostamenti sono effettuati per andare a lavoro, a scuola, per frequentare attività sociali e così via. Molti sono compiuti in automobile e ciò è causa di problemi come la congestione del traffico e l'inquinamento che hanno un impatto negativo sull'ambiente e sul benessere delle persone. Al fine di ridurre l'impatto negativo del viaggio è essenziale prima capirne il comportamento.

Molti aspetti dello spostamento sono di interesse per le analisi sul comportamento di viaggio. Domande di carattere generale, come "Perché la gente viaggia?" e "Dove vanno?", sono di grande importanza per comprendere quali fattori guidano la domanda. Altre domande legate allo spostamento, "Quando è stato effettuato il viaggio?", "Quale strada è stata presa?", permettono di individuare, per esempio, quali infrastrutture vengono utilizzate in diversi momenti nel tempo. Naturalmente, tutti gli aspetti del comportamento di viaggio sono correlati e questo rende la sua analisi molto complessa.

Il comportamento di scelta del percorso è essenziale per prevedere il comportamento dei viaggiatori in ipotetici scenari e quindi per predire le future condizioni del traffico nelle reti di trasporto e per capire la reazione dei viaggiatori e il loro adattamento alle fonti di informazione. La modellazione del comportamento di scelta del percorso è problematica, data la complessità della rappresentazione del comportamento, la mancanza di conoscenza dei viaggiatori su come è composta la rete, l'incertezza sulla percezione degli altri viaggiatori delle caratteristiche del percorso e l'indisponibilità di informazioni precise circa le preferenze degli altri viaggiatori.

Garling e al (1998) riassumono le teorie che riguardano la cognizione e il processo decisionale. L'esperienza e la conoscenza del territorio

sono due aspetti che vengono registrati e riutilizzati dalla memoria a lungo termine. La memoria a lungo termine è permanente e ha una capacità elevata. Tuttavia, il processo decisionale dei guidatori viene immagazzinato nella cosiddetta "memoria di lavoro", che è legata al concetto di memoria a breve termine, intesa come una parte di informazioni che vengono trattenute temporaneamente.

È quindi un sistema per l'immagazzinamento temporaneo e la prima gestione/manipolazione dell'informazione, costituente un link funzionale tra percezione sensoriale ed azione controllata. Cioè, gli attributi relativi alle opzioni prese in considerazione devono essere richiamati dalla memoria a lungo termine e portati nella memoria di lavoro.

Per spiegare la cognizione spaziale esistono due teorie prevalenti. Un modello afferma che la struttura neurale simula la composizione spaziale gerarchica dell'ambiente in base a come viene rappresentato dalla memoria. L'altro modello paragona il cervello al funzionamento dei programmi dei computer. Il nostro cervello risponde a combinazioni di stimoli più o meno allo stesso modo in cui i programmi di computer contengono miriadi di comandi.

I modelli computazionali ipotizzano che l'informazione spaziale viene memorizzata come un elenco di regole e proprietà degli oggetti. In questi modelli, un luogo è descritto da un'identità, da una classe o una funzione generica e da una posizione. Gale e al (1990) affermano che la capacità di navigazione nasce associando la conoscenza dell'identità dei luoghi con la conoscenza di come spostarsi tra diversi luoghi.

Dato che gli esseri umani hanno capacità di elaborazione delle informazioni limitate, spesso applicano regole euristiche per semplificare le attività decisionali. Queste possono comprendere regole per l'eliminazione delle alternative che non riescono ad avere un valore accettabile di un determinato attributo.

Dopo che le regole euristiche riducono l'insieme di scelta a un numero di alternative praticabili, le persone possono passare a una regola

decisionale compensativa, come quella proposta dalla teoria economica di massimizzazione dell' utilità.

La teoria dell'utilità casuale, che è la base per i modelli di scelta discreta, assume che le persone sono in grado di considerare tutti gli attributi delle alternative nella memoria di lavoro. I valori degli attributi devono essere accessibili nella memoria di lavoro delle persone per realizzare.

Un presupposto importante nella maggior parte dei modelli di viaggi individuali e di scelta spaziale, è la massimizzazione dell'utilità. Per anni si è discusso sulla validità di alcuni dei presupposti della teoria dell'utilità, che è la base per la maggior parte dei modelli di domanda di trasporto. Nella letteratura vengono illustrate alcune anomalie cognitive che sembrano contraddire la massimizzazione dell'utilità. Queste anomalie possono riguardare delle limitazioni individuali nella capacità del processo di elaborazione delle informazioni.

McFadden (1997) descrive tre componenti delle ipotesi di razionalità economica:

- razionalità nel percepire attributi delle alternative di scelta.
- razionalità o stabilità nelle preferenze individuali.
- razionalità del processo decisionale.

Svenson (1990) descrive come si applicano le regole compensative quando il decisore è sufficientemente coinvolto nella ricerca della scelta migliore, distinguendo diversi livelli. Al più basso livello d'impegno, le persone semplicemente guardano la situazione attuale in base alle esperienze passate, e selezionano l'opzione che è stata scelta in precedenza, senza considerare gli attributi o esiti delle alternative. Al secondo livello del processo decisionale, una persona ricorda l'attrattiva di ciascuna opzione, e raggruppa le alternative in scelte buone e cattive. Il terzo livello decisionale coinvolge i compromessi tra più attributi, che è il presupposto della teoria dell'utilità. Il quarto livello decisionale comprende la possibilità di generare nuove alternative.

Per testare le teorie cognitive e comportamentali, i geografi spesso conducono esperimenti in cui un campione di soggetti relativamente piccolo è chiamato a svolgere determinati compiti di navigazione o di orientamento in condizioni controllate. Questi esperimenti forniscono un'idea di come le persone possono mentalmente organizzare i dati spaziali e come essi vengano acquisiti. Alcuni risultati tipici di tali esperimenti sono riassunti qui di seguito.

Freundschuh (1992) distingue i differenti regimi per la memorizzazione dei dati spaziali, che rappresentano i vari gradi dell'informazione territoriale.

Le persone con conoscenza del punto di riferimento, a volte detta conoscenza dichiarativa, sono in grado di ricordare le caratteristiche e la posizione di un luogo.

Il secondo tipo di conoscenza geografica è conoscenza del percorso dove le persone sono in grado di collegare i luoghi di interesse con le indicazioni per arrivare da un posto all'altro. Poiché la conoscenza del percorso comprende indicazioni per la navigazione, è anche chiamata conoscenza procedurale.

Il terzo regime è detto conoscenza mappale o configurazionale. Le persone con questa capacità conoscono l'interrelazione tra luoghi e percorsi. La conoscenza mappale spesso include informazioni sulle distanze.

Freundschuh ha ideato un esperimento per verificare se le caratteristiche dell'ambiente spaziale (reticolato di vie regolari) e l'esperienza influenzano il raggiungimento della conoscenza spaziale. Freundschuh non è stato in grado di ottenere risultati statisticamente significativi i quali suggeriscano che una maggiore durata della residenza o un ambiente spaziale regolare portino alla maggiore conoscenza mappale. Invece, ha concluso che l'organizzazione delle informazioni spaziali è una caratteristica individuale, e i modelli che assumono una conoscenza spaziale omogenea sono irrealistici.

Gale e al(1990) hanno esaminato la capacità di bambini tra i nove e i dodici anni di sviluppare le conoscenze sufficienti per la

determinazione del percorso in un quartiere di periferia sconosciuto. Un gruppo bambini ha conosciuto il quartiere attraverso un'esperienza sul campo, mentre a un secondo gruppo è stato fatto vedere un video di una passeggiata nel quartiere. Il gruppo di apprendimento sul campo è stato in grado di navigare in modo più efficace, mentre il gruppo del video ha eseguito meglio dei compiti dichiarativi (come individuare la localizzazione di una abitazione o un negozio del quartiere). Gli autori hanno concluso che la conoscenza del percorso è abbastanza dispendiosa con le informazioni di navigazione che si concentrano in corrispondenza delle intersezioni, che sono punti di decisione.

Se si vuole analizzare l'aspetto specifico del comportamento umano relativo alle situazioni di scelta tra alternative, bisogna studiare il modo in cui gli individui prendono le decisioni. Si supponga, per esempio, che alcuni individui decidano di andare a cena in un locale, e debbano affrontare la questione di quale ristorante scegliere. Tra tutti i ristoranti presenti in una determinata zona, gli individui potrebbero prendere in considerazione solo un certo sottoinsieme di ristoranti, ad esempio, quelli dove sono già stati una volta e di cui hanno apprezzato il tipo di cucina o il buon prezzo, o ristoranti conosciuti da amici o tramite pubblicità. In questo caso, si può affermare che le persone fanno una scelta tra tutti i ristoranti che sono noti a loro. Ovviamente, se un ristorante non è noto non può essere scelto. Per prendere questa decisione, le persone fanno una sorta di lista di ristoranti in base a determinati criteri. Diverse classificazioni dei ristoranti sono possibili con riferimento, tra gli altri, al tipo di cucina, alla posizione, al prezzo, ad interessi particolari, ecc. Ad esempio, l'elenco di ristoranti può essere organizzato in base alla nazionalità della cucina: italiana, cinese, greca, messicana, giapponese. Questo è un tipico esempio del cosiddetto insieme di scelta, le cui alternative sono caratterizzate dal tipo di cibo nel ristorante. Diversi altri aspetti possono caratterizzare l'identificazione della lista di alternative, per esempio, l'insieme di scelta può

contenere tutti i ristoranti situati nel centro della città, o tutti i ristoranti più economici, o tutti i ristoranti vegetariani, ecc.

Dato questo semplice esempio, si può notare che un'assunzione di base in un generico problema di scelta è il concetto che il decisore sceglie da un insieme definito e non vuoto di alternative disponibili a lui note. Da un punto di vista logico presupporre che l'insieme di scelta sia definito e non vuoto è dovuto al fatto che almeno una alternativa appartiene all'insieme stesso; del resto, da un punto di vista psicologico è bene notare che il decisore è generalmente in grado di prendere in considerazione un numero molto limitato di alternative.

La caratterizzazione dell'insieme di scelta contenente queste alternative dipende dal contesto dell'applicazione.

Solitamente il decisore si presume essere un singolo individuo. Per alcune applicazioni, questa ipotesi vale in senso stretto. Tuttavia, il concetto di individuo può essere facilmente esteso, a seconda della specifica applicazione. A livello aggregato, possiamo considerare che un gruppo di persone (una famiglia, per esempio) sia il decisore. In tal modo, decidiamo di ignorare tutte le differenze interne al gruppo e si suppone che gli individui all'interno del gruppo abbiano preferenze e caratteristiche simili e si comportino nella stessa maniera. A seconda del contesto applicativo, il viaggiatore potrebbe essere un individuo o un gruppo di individui aventi simili domande di spostamenti e condizioni dell'offerta (quindi stesse origini e destinazioni), e simili comportamenti.

Come punto di partenza per la generazione del processo di formazione dell'insieme di scelta, questa sezione presenterà una panoramica degli elementi che determinano i comportamenti individuali di scelta del percorso descritta in Bovy e Stern (1990).

Secondo la teoria dei suddetti autori, il processo di selezione del percorso di un viaggiatore risulta un compito complesso (vedere Figura 2.1).

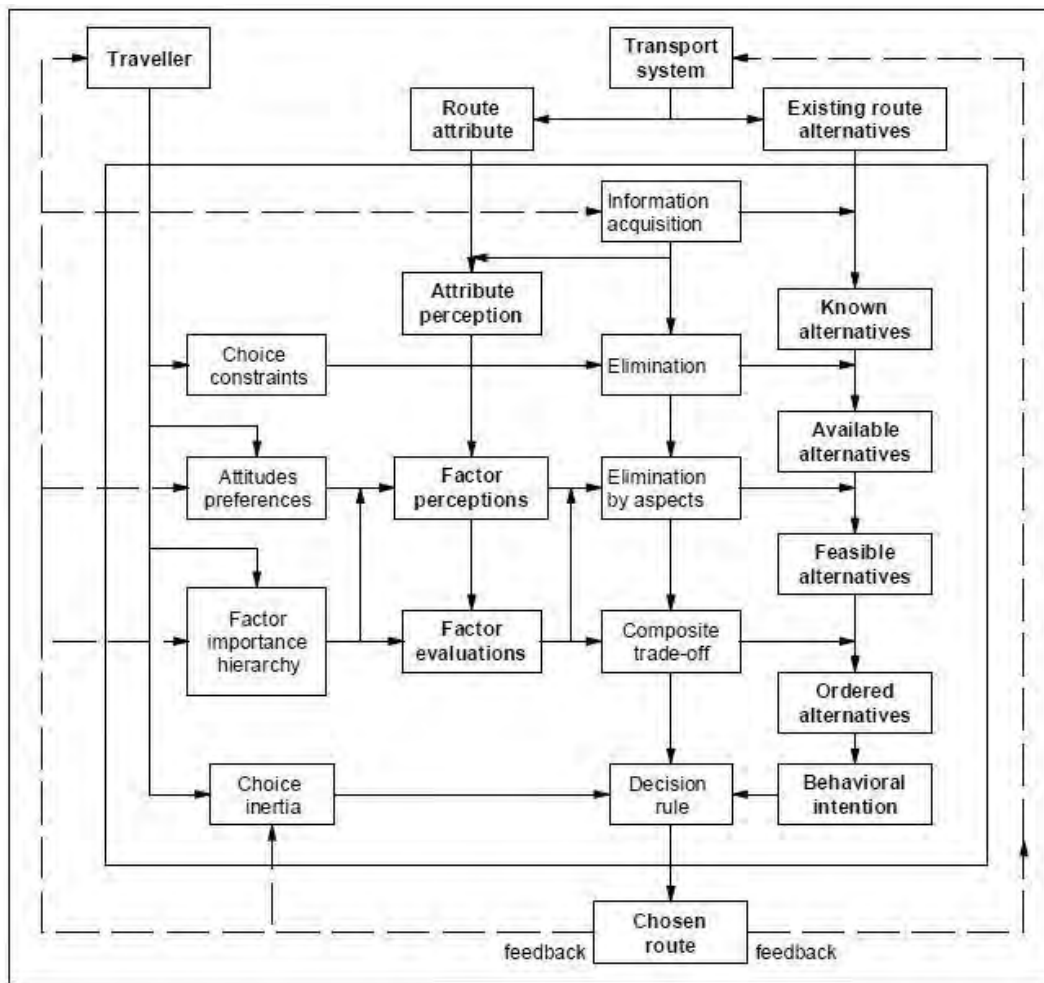


Figura 2.1: elementi del comportamento di scelta riguardanti il processo di selezione del percorso (fonte: Bovy e Stern (1990) )

La Figura 2.1 riassume una serie di elementi ed operazioni eseguite dalla mente del viaggiatore per scegliere una opzione di viaggio.

In cima alla figura ci sono i fattori principali del processo di scelta: il viaggiatore con le sue caratteristiche, il sistema dei trasporti con le sue varie opzioni di percorso e i loro vari attributi. La parte che ci interessa di più è la sequenza di insiemi di percorsi alternativi indicati nella colonna più a destra nella figura e il modo in cui questi insiemi derivano da una sequenza di processi mentali del viaggiatore, indicati nella colonna direttamente a sinistra. La colonna più a sinistra descrive i più essenziali attributi personali di un viaggiatore che sono determinanti nei vari processi di trasformazione che portano alla scelta.

Il primo processo chiamato acquisizione delle informazioni si riferisce ai modi in cui i viaggiatori acquisiscono informazioni sulle potenziali opzioni di viaggio nelle reti di trasporto (processo di cognizione). I due metodi più comuni per imparare un percorso sono la conoscenza dell'ambiente tramite una mappa (cartacea o virtuale) o tramite un'esperienza di viaggio.

Diversi studi (Bovy e Stern (1990)) hanno studiato la differenza tra l'acquisizione di conoscenze attraverso le mappe o le esperienze di viaggio.

Anche se alcuni ricercatori hanno sottolineato che la conoscenza tramite le mappe dovrebbe essere più efficace del processo di apprendimento basato sull'esperienza di viaggio, altri hanno sostenuto che il secondo metodo contribuisce a fornire una migliore rappresentazione dell'ambiente circostante. Ma esistono molti altri metodi di acquisizione delle informazioni, come la ricerca su internet dell'itinerario o colloqui con amici, parenti o colleghi o la consultazione di un servizio telefonico per chiedere informazione o guidare esplorando la città durante il tempo libero e trovare nuove vie basate su combinazione di percorsi noti.

Il viaggiatore nel caso di spostamenti casa-lavoro ha ben nota la rete, o almeno un percorso verso la sua destinazione e non ha bisogno di consultare mappe o di chiedere informazioni sulla strada.

Per tale tipo di spostamenti, si assume che le opzioni rilevanti di percorso siano ben note al viaggiatore e facciano parte del suo insieme di scelta.

La cognizione della rete da parte del viaggiatore è associata alle sue esperienze di viaggio, il che implica che la sua conoscenza delle opzioni di percorso sia limitata: non tutte le opportunità esistenti possono essere note al guidatore. Solo un sottoinsieme di percorsi esistenti, le cosiddette alternative conosciute, possono essere considerate nella decisione. In base alle caratteristiche personali del viaggiatore come vincoli di scelta, preferenze e percezioni, solo le alternative conosciute che soddisfano questi vincoli costituiscono

l'insieme delle alternative praticabili, tra cui il viaggiatore farà una scelta consapevole.

Una caratteristica essenziale del lavoro di Bovy e Stern (1990) è l'idea che i viaggiatori scelgano i loro percorsi sulla base delle loro percezioni della rete di trasporto.

Questa percezione è noto come la mappa mentale. Come notato sopra, i viaggiatori conoscono solo un sottoinsieme di tutti i percorsi alternativi esistenti; hanno anche una certa percezione soggettiva delle caratteristiche delle alternative note sulla base della loro esperienza e del comportamento di acquisizione delle informazioni. Di conseguenza, la mappa mentale di una persona dipende fortemente da come sono percepiti ed eventualmente distorti gli attributi del percorso oggettivo all'interno dei fattori soggettivi della persona stessa che vengono successivamente valutati nel processo decisionale.

Oltre alla cognizione, percezione, e l'eliminazione che le opzioni di percorso devono superare per essere considerate fattibili per un viaggiatore, il processo di valutazione svolge un importante ruolo di ulteriore filtraggio nella formazione dell'insieme di scelta. Questo filtraggio delle alternative possibili si basa in parte sulla eliminazione di alternative in base a certi aspetti e dall'altra sul confronto delle alternative simili.

Solo dopo che sia rimasto un gruppo abbastanza limitato di alternative interessanti, il viaggiatore farà una più approfondita valutazione delle opzioni facendo un confronto tra le loro caratteristiche e considerando i pro e contro di ogni singola alternativa.

La scelta del percorso è caratterizzata da componenti dinamiche, le più importanti sono i feedback che sono utilizzati per quasi tutte le fasi del processo decisionale. In questo modo, la formazione dell'insieme di scelta è un processo di apprendimento attraverso adattamenti dinamici di cognizione e percezione di opzioni disponibili e fattibili.

Dato il tipo di processo coinvolto nella scelta del percorso, possiamo aspettarci forti differenze individuali nel comportamento a causa delle differenze nella cognizione, nei preconcetti e nelle preferenze di opzioni tra i singoli viaggiatori.

Nonostante queste forti differenze, individui diversi possono tuttavia prendere la stessa decisione, cioè scegliere la stessa strada, anche se per motivi diversi.

Per la formazione dell'insieme di scelta possiamo concludere quanto segue (Bovy (2008)):

- La formazione dell'insieme di scelta e la scelta tra le opzioni considerate sono processi mentali distinti che seguono regole diverse;
- La formazione dell'insieme di scelta è disciplinata da un processo decisionale non-compensativo sulla base dei vincoli. La scelta tra le opzioni considerate sembra invece essere in gran parte di natura compensativa;
- A prescindere dai vincoli, la formazione dell'insieme di scelta dipende anche dalle preferenze di guida che sono i fattori più importanti ad influenzare la scelta del viaggiatore.
- La formazione dell'insieme di scelta di un viaggiatore segue in gran parte un processo sperimentale di utilizzo del percorso e acquisizione di informazioni;
- Gli insiemi presi in considerazione possono differire fortemente tra gli individui anche sotto le stesse condizioni.

Nel seguito, si espliciteranno una serie di nozioni sugli insiemi di scelta sviluppate in Bovy e Stern (1990) per sviluppare metodi di generazione degli insiemi stessi.

Bovy e Stern (1990) introducono le nozioni specifiche sugli insiemi di scelta nel contesto della scelta del percorso, dove un decisore che vuole viaggiare da un'origine a una destinazione in un periodo specifico di tempo, e per un determinato scopo, sceglie tra una serie di alternative di viaggio. Nel trattare il comportamento di scelta del

viaggiatore appare necessario distinguere chiaramente tra un paio di prospettive. Da un lato, si dovrà distinguere la situazione di un viaggiatore singolo da quella di un gruppo di viaggiatori che fanno più o meno lo stesso viaggio tra origini e destinazioni e presentano un comportamento simile. Un individuo ha il proprio insieme di scelta relativo alla sua situazione individuale, mentre l'insieme di scelta di un gruppo è la totalità di singoli insiemi di scelta dei membri del gruppo. D'altra parte sia per l'individuo che per il gruppo distingueremo le prospettive della scelta reale e quelle del ricercatore che studia tali scelte di viaggio ai fini di analisi, di stima o previsione. Nella prospettiva del viaggiatore è il comportamento effettivo che è di interesse, mentre la prospettiva dei ricercatori è quella di un osservatore esterno che cerca di osservare e modellare nel miglior modo possibile il comportamento effettivo. A tal fine, le nozioni specifiche sugli insiemi di scelta relative, rispettivamente, ai viaggiatori e ai ricercatori, sono date a livello disaggregato (a livello individuale) ed a livello aggregato (livello di gruppo).

I viaggiatori e i ricercatori hanno differenti conoscenze del sistema dei trasporti, e quindi delle alternative disponibili per un viaggio specifico. Spesso il numero di alternative disponibili è grande. Solo una parte di esse è nota al viaggiatore e viene considerata nel suo processo di scelta. I viaggiatori fanno scelte di viaggio sulla base di informazioni incomplete e inesatte, che in parte derivano dalle esperienze passate. In questo contesto, le discrepanze tra esperienze passate e attuali sono importanti. Le esperienze passate determinano un'estesa percezione dei viaggiatori della rete di trasporto e delle caratteristiche delle alternative disponibili. I ricercatori, tuttavia, stimano o prevedono insiemi di scelta che spesso hanno molteplici fonti di dati e algoritmi di generazione e li usano per determinare il set di alternative disponibili per singoli viaggiatori e gruppi di viaggiatori.

Gli insiemi di scelta osservati dai ricercatori non sono necessariamente uguali a quelli reali a disposizione, conosciuti o fattibili per i viaggiatori. Le differenze derivano naturalmente dal fatto

che i ricercatori non sono presenti durante il viaggio reale, e possono solo ricostruire i viaggi da interviste, diari di viaggio o rilevazioni GPS. Bovy e Stern (1990) introducono i concetti di insiemi universali, set master, insiemi di scelta oggettiva, insiemi di scelta soggettiva, insiemi di considerazione, e alternative scelte, e mostrano la relazione tra questi insiemi di alternative. In questo modo, si fa differenza tra:

- Insiemi di scelta reali, osservati e generati,
- Serie di alternative per i viaggiatori individuali e gruppi di viaggiatori,
- Analisi, stima e previsione dei primi due punti e
- Punto di vista del viaggiatore e del ricercatore.

Partiamo dalle nozioni sugli insiemi di scelta dalla prospettiva del viaggiatore dal punto di vista disaggregato.

L'insieme universale è l'insieme di tutte le alternative di percorso esistenti tra un'origine e una destinazione nella rete.

L'insieme di scelta master contiene tutte le alternative disponibili nel contesto del problema di scelta di un particolare viaggiatore che va dall'origine  $O$  alla destinazione  $D$ . "Disponibile" in questo contesto significa che un'opzione esistente è nota al decisore.

Dal punto di vista di un viaggiatore che vuole soddisfare la sua particolare esigenza di viaggio in modo soggettivamente migliore dati i suoi vincoli personali, l'insieme di scelta relativo a questo individuo è definito come l'insieme di scelta soggettiva (detto anche insieme di scelta personale):

il sottoinsieme dell'insieme master contenente i percorsi alternativi conosciuti e fattibili per un particolare individuo  $q$  per un viaggio compreso tra l'origine  $O$  e la destinazione  $D$  e con un orario di partenza preferito  $t$ . Questo insieme deve soddisfare le esigenze di viaggio del guidatore  $q$  ( $n = OD, t, q$ ).  $n$  indica una tripla di attributi personali del guidatore (località  $OD$ , orario di partenza e viaggiatore individuale).

Pertanto, l'insieme di scelta personale consiste nelle alternative di viaggio conosciute dal viaggiatore nel suo processo decisionale, che sono tutte fattibili ed atte a soddisfare le sue esigenze di viaggio.

Il set di considerazione è definito come l'insieme di tutte le alternative considerate nel processo di scelta e può essere esplicitato meglio con la seguente definizione: il sottoinsieme del set di scelta personale, contenente i percorsi alternativi considerati da un particolare individuo  $q$  nella sua decisione, è l'insieme delle alternative tra le quali l'individuo  $q$  sta facendo un confronto ai fini della sua scelta ( $n = OD, t, q$ ).

La singola alternativa effettivamente scelta dal viaggiatore, il cosiddetto percorso scelto che appartiene all'insieme di considerazione effettivo:

l'alternativa del percorso scelto è il percorso dell'insieme di considerazione scelto dall'individuo  $q$  per viaggiare tra una determinata coppia di origine e di destinazione  $OD$  e con orario di partenza preferito all'istante  $t$  che soddisfa le sue esigenze di viaggio ( $n = OD, t, q$ ).

Nel seguito ci concentriamo sempre sui comportamenti di scelta di percorso dei viaggiatori ma non li consideriamo a livello individuale ma collettivo. Prendiamo il punto di vista di un gruppo di viaggiatori aventi analoghe origini e destinazioni all'interno di un'area territoriale. Per esempio questo gruppo può essere costituito da persone che vivono nello stesso quartiere e che lavorano nel centro della città. Dal momento che le origini e destinazioni di un dato gruppo di viaggiatori possono essere nelle vicinanze di quelle di un altro, le alternative disponibili per un viaggiatore potrebbero essere disponibili anche per gli altri viaggiatori. Gli individui differiscono però per quanto riguarda la loro conoscenza della rete di trasporto, le esigenze di viaggio e le preferenze. Pertanto, anche se gli individui hanno simili coppie  $OD$ , il loro insieme di scelta soggettivo, il loro insieme di considerazione, e le loro alternative scelte possono differire considerevolmente. Le definizioni di insiemi di scelta relativi a un gruppo di viaggiatori che

fanno spostamenti simili sono una semplice estensione di quelle già descritte a livello individuale; invece di una coppia OD ora abbiamo una coppia di aree OD, ognuna che copre una serie di indirizzi OD; la differenza è che le definizioni vengono precedute dal termine "joint" che è inteso letteralmente come "collettivo" o "comune".

L'insieme collettivo universale è l'unione dei singoli gruppi universali che conciliano tutti i singoli indirizzi OD alle collettive aree OD.

L'insieme joint master consiste nell'unione di tutti gli insiemi master di scelta di ciascun membro del gruppo. La distinzione tra il set master e il set joint master è necessaria quando le alternative disponibili nella regione a livello individuale sono molto diverse tra gli individui appartenenti al gruppo.

L'insieme collettivo soggettivo di scelta, cioè l'insieme di tutte le alternative conosciute e realizzabili da almeno uno dei viaggiatori del gruppo, è determinato prendendo l'unione degli insiemi soggettivi di scelta di tutti gli individui in quel gruppo. Infine l'insieme collettivo di considerazione e l'insieme collettivo delle alternative scelte sono definite in modo simile ai precedenti.

Opposta alla prospettiva del viaggiatore, ora consideriamo la posizione di un osservatore esterno o ricercatore, che cerca di definire, specificare e analizzare le alternative di viaggio di un viaggiatore individuale o di un gruppo di viaggiatori. Partiamo considerando il livello disaggregato. A tal fine, il ricercatore osserva il comportamento di viaggio effettivo, cioè osserva gli insiemi di scelta dei viaggi e degli itinerari scelti, e genera un insieme di scelta per l'analisi del comportamento di viaggio attuale o per prevedere il comportamento di viaggio futuro.

Dal punto di vista di un ricercatore, i singoli insiemi di scelta possono essere suddivisi in gruppi di scelta generati e osservati. Il ricercatore può generare insiemi di scelta, sia per analizzare il comportamento di viaggio che per fare previsioni per una situazione futura. La generazione di gruppi di alternative, dal punto di vista del ricercatore, inizia nella maggior parte dei casi con la specificazione del master

set. Poiché la dimensione dell'insieme di scelta master potrebbe essere molto grande, specialmente nel contesto di scelta di percorso, questa operazione potrebbe non essere realizzabile, né necessaria per lo scopo del ricercatore.

Pertanto, nel generare insiemi di scelta di un viaggiatore individuale, per motivi pratici, il ricercatore esclude in primo luogo alternative basate su criteri oggettivi, cioè che non necessitano di alcuna informazione circa la conoscenza e le considerazioni di un viaggiatore specifico. Per questo come primo passo tutte le alternative illogiche vengono rimosse. Il termine illogico si riferisce alle alternative che comportano trasferimenti impossibili o costituiti da una sequenza di segmenti di viaggio che hanno un illogico ordinamento temporale. Il risultato fornisce l'insieme oggettivo master che contiene tutti i pertinenti e logici percorsi alternativi indipendentemente dalle caratteristiche dei viaggiatori. Nel trattare il livello individuale, il ricercatore può specificare i criteri di selezione supplementari basati sul viaggiatore e sulle caratteristiche del viaggio che risulta essere un sottoinsieme dell'insieme oggettivo master dei percorsi praticabili per uno specifico viaggiatore, chiamato l'insieme oggettivo di scelta.

Oltre a generare insiemi di scelta del viaggiatore, il ricercatore li può osservare utilizzando appropriate tecniche di indagine. Il ricercatore può cercare di determinare non solo l'alternativa di viaggio scelta, ma ottenere quante più informazioni possibili sul conto dell'insieme di considerazione e di quello soggettivo di scelta del viaggiatore.

Le nozioni sviluppate possono essere suddivise in base agli insiemi di scelta reali e osservati. I reali insiemi di scelta nella maggior parte dei casi non possono essere conosciuti da parte dell'osservatore esterno. In alcuni casi, il ricercatore può osservare il comportamento di viaggio effettivo (insieme di scelta del viaggiatore), per esempio attraverso interviste o sondaggi. Pertanto, le nozioni che si riferiscono a insiemi di scelta soggettivi e di considerazione potrebbero essere distinte tra effettivi (per lo più non osservati o addirittura non osservabili) e osservati.

Chiedere ai viaggiatori informazioni sulle alternative di viaggio non utilizzate può creare due tipi di alternative, alternative che sono note ai guidatori (insieme soggettivo reale di scelta) e le alternative che sono considerate nel processo di scelta (insieme di considerazione reale). Tuttavia, il confine tra l'insieme soggettivo di scelta reale e l'insieme di considerazione reale non è di facile determinazione.

Gli insiemi completi delle alternative sono chiamati insieme di considerazione osservato e insieme soggettivo di scelta osservato. Questi insiemi di alternative naturalmente derivano dalle informazioni fornite dal viaggiatore in quanto le alternative non utilizzate non possono essere osservate in modo indipendente da un osservatore esterno. Dal momento che durante le interviste il viaggiatore può dimenticare di citare alternative praticabili o addirittura considerate (fortemente dipendenti dalla tecnica utilizzata per l'intervista), non può condividere alcune informazioni con il ricercatore (lo considera non rilevante), può commettere errori nel descrivere le alternative o può disporre di informazioni incomplete sulle alternative, gli insiemi di considerazione osservati e gli insiemi soggettivi di scelta osservati sono entrambi considerati campioni casuali che coprono solo parzialmente l'insieme di considerazione reale e quello soggettivo reale. Inoltre, può anche accadere che il ricercatore commetta errori nell'interpretare le informazioni sui viaggiatori.

Per quanto riguarda le nozioni dal punto di vista del ricercatore a livello aggregato valgono le considerazioni appena fatte per quello individuale.

Le definizioni degli insiemi di scelta reali e osservati relativi a un gruppo di viaggiatori che fanno viaggi simili possono essere facilmente estese partendo dalla parte precedente, come unioni di insiemi di alternative.

La distinzione tra il livello individuale e di gruppo deriva dal fatto che non è sempre possibile applicare nell'analisi del comportamento di scelta un approccio che sia completamente a livello individuale.

Specialmente nel prevedere il comportamento di scelta l'analista deve spesso ricorrere ad un approccio a livello di gruppo.

Nel paragrafo successivo andremo ad illustrare una serie di studi che mostrano come il comportamento e le decisioni dei viaggiatori influenzino la generazione dell'insieme di scelta.

## **2.1 Modelli di scelta del percorso**

Prima di vedere come il comportamento dei viaggiatori può influenzare i modelli di scelta del percorso andiamo a fare una breve digressione sui principali esempi di modellistica che saranno utile anche per la lettura dei paragrafi successivi.

Il punto base di partenza nella modellazione della scelta di percorso è che i viaggiatori, per varie ragioni, si comportano diversamente e sceglieranno percorsi differenti in circostanze uguali.

Inoltre , a causa dell'incertezza da parte del modellista solo le probabilità di scelta possono essere previste ciò significa che i singoli viaggi saranno suddivisi su alternative disponibili secondo queste probabilità , sommandoli uno a uno.

Per fare questo , i modelli di scelta di percorso probabilistici devono essere applicati. I modelli basati sulla teoria di massimizzazione dell'utilità (RUM) casuale hanno automaticamente questa struttura ; pertanto i modelli RUM potrebbero essere applicati per modellare il processo di scelta del percorso.

Nella modellazione del processo decisionale di scelta di percorso in una rete, due specifici aspetti potrebbero essere chiaramente distinti dal ricercatore :

1. la composizione dell'insieme di scelta ;
2. Il tipo di approccio alla modellazione per la scelta di una alternativa dal dato choice set.

Ora andiamo a illustrare nello specifico alcune di questi modelli RUM.

### **2.1.1 Modelli RUM classici**

In questa sezione diamo una panoramica dei modelli di scelta degli itinerari classici, in particolare. La famiglia dei RUM comprende tre sotto-categorie. Il primo, il classico modello multinomiale Logit e le sue applicazioni: C-logit (Cascetta e al 1996), IAP logit (Cascetta e Papola 1998) e Path-Size Logit (Ben-Akiva e Bierlaire 1999). La seconda categoria comprende i modelli che applicano il teorema Extreme Value (McFadden 1978) tra cui: Nested Logit (Ben-Akiva e Lerman 1985); Cross-Nested Logit (Vovsha 1997); Generale Nested Logit (Wen e Koppelman 2001).

Per finire i modello Logit misti o Logit Kernel utilizzando un misto tra i modelli Probit e modelli Logit che creano strutture più geneali e più flessibili (McFadden e Train 2000, Ben-Akiva e Bolduc, 1996).

#### *2.1.1.1 Modello Logit Multinomiale (MNL) e sue varianti*

Il Logit Multinomiale è un modello semplice, ma ipotizza che i termini di errore siano identicamente e indipendentemente distribuiti (i.i.d.) e questo non è corretto nella scelta del percorso con tracciati sovrapposti. Grazie alla sua semplicità, è uno dei modelli più comunemente utilizzati nella pratica. Sforzi sono stati fatti per superare questa limitazione facendo una correzione deterministica della funzione di utilità per tracciati sovrapposti.

Cascetta e al (1996) sono stati i primi a proporre una correzione deterministica. Essi includono un attributo, chiamato Fattore di Comunanza (CF), nella parte deterministica dell'utilità ottenendo il modello C-Logit. Il valore del CF di un percorso è proporzionale alla sovrapposizione con altri itinerari nell'insieme di scelta. Cascetta e al (1996) presentano tre diverse formulazioni dell'attributo CF senza però fornire nessuna guida su quale delle formulazioni utilizzare.

La mancanza di una guida teorica per il modello C-Logit è stata la motivazione che ha spinto Ben-Akiva e Ramming (1998) e Ben-Akiva e Bierlaire (1999) a proporre il modello Path Size Logit (PSL). L'idea è simile al modello C-Logit. E' stata realizzata una correzione dell'utilità per tracciati sovrapposti sommando un attributo alla parte deterministica dell'utilità. In questo caso, l'attributo Path Size (PS). La formulazione originale del PS è derivata dalla teoria di scelta discreta delle alternative di aggregazione (Ben-Akiva e Lerman, 1985). L'utilità associata al percorso  $i$  dall'individuo  $n$  è  $U_{in} = V_{in} + \beta_{PS} \ln PS_{in} + \varepsilon_{in}$  dove  $V_{in}$  è la parte deterministica dell'utilità e  $\varepsilon_{in}$  è il residuo aleatorio. L'attributo PS è definito:

$$PS_{in} = \sum_{a \in \Gamma_i} \frac{L_a}{Li} \frac{1}{\sum_{j \in C_n} \delta_{aj}}, \quad (2.1)$$

dove  $\Gamma_i$  è l'insieme di tutti i links del percorso  $i$ ,  $L_a$  è la lunghezza del link  $a$  e  $Li$  è quella del percorso  $i$ .  $\delta_{aj}$  vale 1 se il link  $a$  è sul percorso  $j$  e 0 altrimenti.  $\sum_{j \in C_n} \delta_{aj}$  è quindi il numero dei percorsi nell'insieme di scelta  $C_n$  ai quali appartiene il link  $a$ .

Bovy (2007) propone una soluzione alternativa il cui risultato è il cosiddetto fattore Path Size Correction (PSC) :

$$PSC_{in} = \sum_{a \in \Gamma_i} \frac{L_a}{Li} \ln \frac{1}{\sum_{j \in C_n} \delta_{aj}}, \quad (2.2)$$

L'utilità è poi specificata come  $U_{in} = V_{in} + \beta_{PSC} PSC_{in} + \varepsilon_{in}$ . La differenza tra questa e la formulazione originale è il modo in cui il logaritmo entra nell'equazione. Il PSC è teoricamente più attraente dell'originale PS ma i risultati della stima presentata da Bovy et al. (2008) non indicano significative differenze tra le due formulazioni. Date le carenze del modello MNL, modelli più complessi sono stati proposti in letteratura per rappresentare esplicitamente la sovrapposizione dei percorsi all'interno della struttura di errore.

Tuttavia, pochi di questi modelli sono stati applicati a reti reali e ad insiemi di scelta di grandi dimensioni.

#### *2.1.1.2 Modello Probit Multinomiale*

I termini di errore sono distribuiti normalmente in un modello Probit Multinomiale (MNP) (vedi per esempio Daganzo, 1977), che consente una struttura arbitraria delle covarianze. Tale modello non ha una soluzione in forma chiusa, e richiede una grande quantità di tempo di calcolo. Di conseguenza, non sempre è adatto per le applicazioni reali. Questo limita notevolmente il numero dei parametri di covarianza che possono essere stimati. Un metodo di stima efficiente per il MNP è proposto da Bolduc (1999) dove si stima un modello con 9 alternative. Tuttavia, le dimensioni degli insiemi di scelta sono notevolmente più grandi nelle applicazioni reali.

#### *2.1.1.3 Modello Multivariate Extreme Value*

Il MEV (Multivariate Extreme Value), anche chiamato Generalized Extreme Value (GEV), è una famiglia di modelli proposti da McFadden (1978) che comprendono, ad esempio, i modelli Cross-Nested Logit (CNL). Analogamente al MNL, il MEV ha il vantaggio di avere una forma chiusa. Vovsha e Bekhor (1998) propongono il modello Link-Nested Logit (LNL), che è una formulazione Cross-Nested Logit (CNL) in cui ogni collegamento della rete è collegato ad un nodo, e ogni percorso ad un'alternativa.

Ramming (2001) ha stimato il modello LNL sui dati raccolti dalla scelta di percorso a Boston. Egli conclude che il modello PSL con la formulazione generalizzata (1.3) supera il modello LNL. E' possibile che lo scarso rendimento del modello sia dovuto all'approssimazione dei parametri di nidificazione. Infatti, la struttura di correlazione imposta può non riflettere la struttura reale.

Recentemente, il modello Link-Based Path-Multilevel Logit è stato specificamente sviluppato per il problema di scelta di itinerario da Marzano e Papola (2004). Allo stesso modo del MNL basato sull'approccio proposto da Dial (1971), questo permette il caricamento stocastico della rete con l'implicita enumerazione dei percorsi. Entrambi i tipi di modelli sono illustrati solo con applicazioni a reti molto semplici dove non viene eseguita alcuna stima.

#### 2.1.1.4 Modello Error Component

Il modello Error Component (EC) è stato introdotto in particolare da Bolduc e Ben-Akiva (1991) ed è progettato per essere un compromesso tra i modelli MNL e MNP. Una struttura flessibile della correlazione può quindi essere definita mantenendo la forma di un modello MNL. La stima è più semplice che per MNP, ma è richiesta una stima di massima verosomiglianza. Bekhor e al (2002) (vedi anche Ramming, 2001) stimano un modello EC basato sui dati raccolti sulla scelta di percorso a Boston. Il vettore di utilità  $U_n$  ( $J_n \times 1$ ), dove  $J_n$  è il numero di itinerari in  $C_n$ , è definito come:

$$U_n = V_n + \varepsilon_n = V_n + F_n T \zeta_n + v_n, \quad (2.3)$$

dove  $V_n$  ( $J_n \times 1$ ) è il vettore delle utilità deterministiche,  $F_n$  ( $J_n \times M_n$ ) è la matrice d'incidenza link-percorso (dove  $M_n$  è il numero di links in  $C_n$ ),  $T$  ( $M_n \times M_n$ ) è la matrice di varianza dei fattori del link e  $\zeta_n$  ( $M_n \times 1$ ) è il vettore di identità e della distribuzione di indipendenza. I modelli EC sono stati utilizzati in alcuni studi su reti reali utilizzando preferenze dichiarate. La dimensione dell'insieme di scelta è quindi limitata.

Nel seguito mostreremo come Kaplan e Prato (2011) sono riusciti colmare il divario tra il comportamento della scelta del percorso e la

modellazione stessa utilizzando un modello Path Size Correction Logit.

## **2.2 Rappresentazione dei comportamenti nella modellazione della scelta del percorso.**

Esiste un divario notevole tra il comportamento reale nella formazione dell'insieme di scelta del percorso e la sua rappresentazione nella modellazione della scelta del percorso. Mentre i viaggiatori formano il loro insieme di scelta praticabile mantenendo percorsi che soddisfano i vincoli spazio-temporali, le attuali tecniche di generazione del percorso, come detto in precedenza, non rappresentano tali vincoli.

Kaplan e Prato (2011) cercano di ridurre questo divario proponendo un modello di scelta del percorso spazio-temporale che incorpora vincoli e caratteristiche latenti. L'approccio proposto combina la generazione stocastica del percorso con un modello di semi-compensazione che rappresenta la variabile latente basato su vincoli di formazione dell'insieme di scelta seguiti da una scelta compensativa.

Il modello si concentra sul comportamento pendolare abituale della scelta del percorso nelle ore di punta del mattino. I risultati mostrano la possibilità di dedurre i vincoli spazio-temporali dai percorsi considerati, l'importanza di integrare i vincoli spazio-temporali e i tratti latenti in modelli di scelta del percorso, e il collegamento tra i vincoli spazio-temporali e il tempo risparmiato, lo spazio e le abilità mnemoniche.

Kaplan e Prato (2011) mostrano che la scelta del percorso è un processo comportamentale costituito da due fasi: la formazione dell'insieme di scelta e la scelta all'interno dell'insieme stesso. Dato che le reti urbane forniscono un numero spesso molto elevato di percorsi da origine a destinazione, i viaggiatori formano il loro insieme di scelta praticabile attraverso l'acquisizione di informazioni

sui percorsi disponibili e mantenendo solo quelli che soddisfano i loro vincoli spazio-temporali. Poi, i viaggiatori applicano una regola di decisione al fine di scegliere all'interno dell'insieme dei percorsi mantenuti (Bovy, 2009).

Kaplan e Prato (2011) propongono di stimare un modello di scelta del percorso accoppiando la formazione dell'insieme di scelta di un modello comportamentale realistico non compensativo e disaggregato con un modello di compensazione disaggregato di scelta del percorso. Il modello è basato su vincoli, in quanto definendo opportune soglie è possibile vincolare l'insieme generato di alternative ad un insieme di percorso praticabile. Il modello combina la generazione stocastica del percorso con un modello semi-compensatorio con variabile latente che rappresenta il processo di delimitazione dell'insieme dei percorsi all'insieme di scelta praticabile, mentre la scelta del percorso preferito dall'insieme di scelta praticabile viene effettuata applicando la massimizzazione dell'utilità.

Il modello dell'insieme scelta semi-compensativo rappresenta congiuntamente la formazione dell'insieme di scelta vincolato in funzione dei tratti latenti dei viaggiatori e delle caratteristiche osservabili e i comportamenti di scelta del percorso in funzione degli attributi del percorso. L'inclusione di vincoli spazio-temporali per la limitazione delle possibilità di scelta considerate, nonché la considerazione dei tratti latenti come la consuetudine e la familiarità con l'ambiente di scelta, è coerente con la linea di ricerca che descrive le persone che scelgono gli itinerari cognitivamente sulla base delle abitudini, delle informazioni disponibili e dei vincoli spazio-temporali (v. Papinski, Scott, e Doherty, 2009). Il modello proposto da Kaplan e Prato (2011) è anche innovativo nel contesto dei modelli di semi-compensazione, a causa della sua capacità di affrontare ulteriori complessità comportamentali inerenti alla scelta del percorso. In primo luogo, il modello risponde alla necessità di considerare una combinazione di vincoli di quantità e durata. In secondo luogo, i tratti latenti che svolgono un ruolo importante nella

scelta del percorso (Papinski et al, 2009; Prato, Bekhor, e Pronello, 2005, 2009) sono incorporati nella fase di formazione dell'insieme di scelta stimando un modello con variabili latenti. Infine, lo studio risolve un problema di raccolta di dati importanti. Kaplan e Prato (2011) con questo studio cercano di dedurre i vincoli spazio-temporali dai percorsi che sono stati considerati e sperimentati in passato.

Il modello viene applicato con dati di preferenza rilevati concentrandosi sul comportamento abituale dei pendolari nella scelta del percorso nelle ore di punta del mattino. I dati includono informazioni riguardanti i percorsi scelti e altre vie considerate per la guida da casa al lavoro, come così come le caratteristiche socio-economiche, le abilità spaziali, gli atteggiamenti di guida e le preferenze.

I pendolari che guidano da casa al lavoro durante l'ora di punta del mattino a Torino (Italia), come esempio di una città di area metropolitana di medie dimensioni, hanno partecipato a un sondaggio web finalizzato a comprendere il comportamento dei viaggiatori in una complessa rete urbana. La giurisdizione comunale di Torino si estende su una superficie di 130 chilometri quadrati contenente circa 900 mila abitanti entro i confini della città. La rete stradale è costituita da 23 distretti, 92 zone di traffico, 417 nodi e 1.427 collegamenti. La rete comprende le strade principali che attraversano la città da nord a sud e da est a ovest, arterie principali che collegano diversi quartieri della città, arterie secondarie che collegano diversi punti all'interno dello stesso distretto, e alcune strade locali all'interno di ogni distretto. L'indagine svolta Kaplan e Prato (2011) includeva un questionario, volto a raccogliere informazioni sulle scelte di percorso dalla residenza al posto di lavoro, e un questionario attitudinale, finalizzato a raccogliere informazioni riguardanti le capacità di orientamento spaziale, le capacità mnemoniche e le competenze nella valutazione del risparmio di tempo. Nel questionario della scelta del percorso, agli intervistati è

stato chiesto di identificare il percorso scelto per guidare da casa al lavoro la mattina della partecipazione al sondaggio, prima individuando sulla mappa della città l'origine e la destinazione del viaggio, poi annotando le sequenze di nodi che appartengono al percorso scelto, e inviando queste sequenze attraverso un modulo web. In aggiunta, agli intervistati è stato chiesto di annotare eventuali percorsi alternativi che considerano per il loro viaggio pendolare. Il questionario attitudinale conteneva domande relative a caratteristiche socio-economiche dei viaggiatori, le abilità spaziali, la capacità mnemonica e le competenze sul risparmio del tempo. Le caratteristiche socio-economiche consistevano nel sesso, età, composizione della famiglia, tipo di occupazione, livello di istruzione e luogo di residenza. Le domande relative alle abilità spaziali erano focalizzate sull'apprendimento delle tecniche del percorso, la tendenza a ripetere lo stesso itinerario in situazioni diverse, l'uso di moderne tecnologie di ricerca, competenza sulla navigazione, conoscenza della rete, itinerari panoramici, tendenza a scegliere zone con traffico più leggero e deviazioni dai percorsi pianificati a causa di incidenti imprevisti. Domande relative alla capacità mnemonica concentrata su diversi compiti di memoria come la capacità di memorizzare aree in condizioni diverse. Domande relative alle competenze sul risparmio del tempo incluso la percezione del tempo di viaggio per scopi diversi e la capacità di valutare correttamente le distanze.

Il sondaggio web è stato somministrato al personale docente e non del Politecnico di Torino. Un campione di 236 viaggiatori hanno completato il sondaggio web. Un totale di 575 percorsi da casa al lavoro sono state descritte dai partecipanti al sondaggio. La maggioranza del campione (58,9%) è di sesso maschile. L'età è inferiore ai 35 anni per il 42,3% dei partecipanti, tra i 35 ei 55 anni per un altro 48,3%, e più di 55 anni per il restante 9,4%. La composizione del gruppo conta il 15,7% di single, 49,2% di sposati senza figli, e il 35,1% di sposati con figli che vivono a casa. Poiché

l'indagine è stata somministrata ai docenti e agli studenti, il 50% degli intervistati è in possesso di un master. La maggioranza degli intervistati (62,3%) risiedono nella città centrale di Torino, piuttosto che nella periferia dell'area metropolitana.

La modellazione effettuata da Kaplan e Prato (2011) consiste nella formulazione di un quadro comportamentale, tradotto in un modello. Ogni quadro comportamentale rappresenta la scelta compensatoria che si basa sul concetto di insieme di scelta. La modellazione si basa sulla definizione dell'insieme di scelta come insieme di itinerari a disposizione dei viaggiatori per lo spostamento tra l'origine e la destinazione di un viaggio. Nel loro lavoro Kaplan e Prato (2011) integrano il quadro comportamentale suggerito da Bovy e Stern (1990) e affinato dal Bovy (2009) dal punto di vista del viaggiatore, elaborando in parallelo la prospettiva del ricercatore per modellare la scelta del percorso secondo il paradigma comportamentale proposto. Prima di scegliere il loro percorso preferito, le limitazioni nell'acquisizione e nell'elaborazione di informazioni impediscono ai viaggiatori di conoscere tutti i possibili percorsi che costituiscono il set universale di percorsi che collegano l'origine e la destinazione dei loro viaggi.

Tuttavia, i viaggiatori possono accedere alle informazioni attraverso la lettura di mappe o chiedendo ad amici, possono venirne a conoscenza dalla memorizzazione di esperienze di viaggio passate e possono sviluppare abilità spaziali navigando attraverso la rete stradale. Tutte le informazioni raccolte permettono a loro di comporre un insieme consapevole di percorsi noti. Eppure, i viaggiatori possono avere vincoli spaziali e temporali che precludono l'uso di tutte i percorsi conosciuti. Questi vincoli sono legati al tempo previsto per il viaggio in funzione delle caratteristiche individuali e ai tratti latenti come la capacità mnemonica e la familiarità della rete.

I vincoli limitano l'insieme di consapevolezza ad un insieme praticabile di percorsi noti da cui i viaggiatori scelgono il loro percorso preferito.

Quando si rappresentano le scelte dei viaggiatori, i ricercatori non possono rappresentare l'insieme universale, poiché l'enumerazione di tutti i percorsi possibili è impraticabile nelle reti urbane densamente popolate. Invece, i ricercatori implementano tecniche di generazione deterministica o stocastica del percorso che permettono loro di creare l'insieme principale di percorsi noti nel tentativo di approssimare l'insieme di consapevolezza. Tuttavia, le tecniche di generazione di percorso attualmente non rappresentano i vincoli spazio-temporali, e quindi i master sets sono inefficienti perché comprendono molti percorsi non convenienti. Al contrario, con il quadro comportamentale proposto dagli autori, i singoli vincoli spazio-temporali che delimitano il master set ad un set di considerazione di percorsi noti soddisfano i vincoli legati ai tratti latenti dei viaggiatori e le caratteristiche osservabili. Di conseguenza, i percorsi realistici sono riconoscibili all'interno del set di considerazione definito secondo un processo di screening basato su questi vincoli.

Tuttavia, i sets di considerazione possono essere solo approssimati agli insiemi praticabili a causa di due fonti di incertezza. In primo luogo, anche se idealmente i master sets generati da ricercatori potrebbero replicare gli insiemi di consapevolezza dei percorsi conosciuti dai viaggiatori, in pratica la loro somiglianza non è garantita (Bovy, 2009; Prato, 2009). In secondo luogo, i vincoli spazio-temporali variano tra la popolazione e possono essere previsti solo con un certo grado di precisione.

La figura 2.2 rappresenta il processo proposto da Kaplan e Prato (2011) per rappresentare la formazione dell'insieme di scelta e l'insieme dei percorsi considerati dai viaggiatori.

Dal set universale dei percorsi, il ricercatore si avvicina all'insieme di consapevolezza di chi viaggia con i master sets implementando una tecnica di generazione stocastica del percorso.

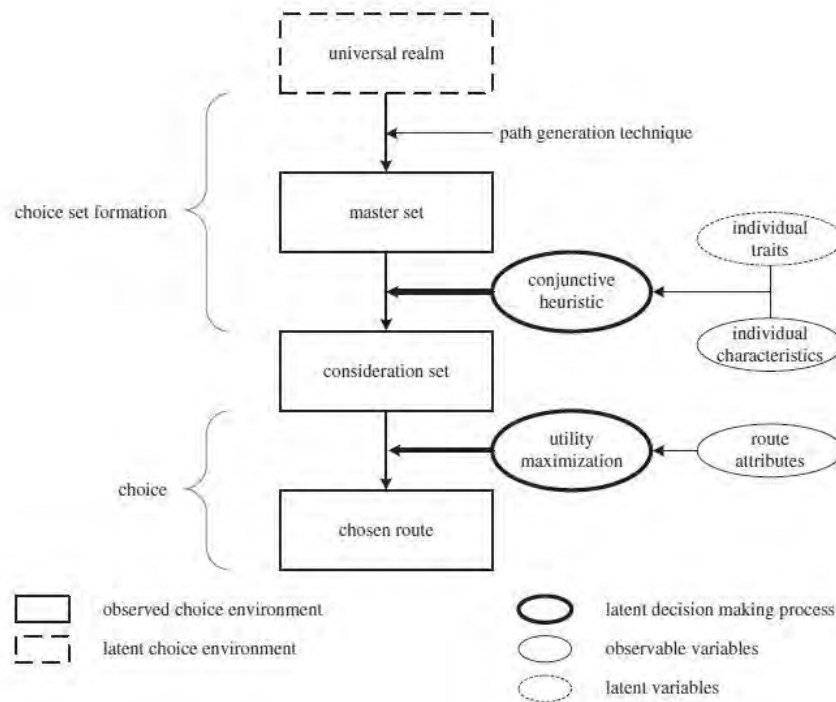


Figura 2.2: Quadro comportamentale dei processi di formazione dell'insieme di scelta e di scelta dal punto di vista del ricercatore (fonte: Kaplan e Prato (2011))

Una tecnica di generazione stocastica garantisce la generazione di diversi master sets per i viaggi, e quindi l'introduzione dell'eterogeneità tra i diversi viaggiatori e anche attraverso i diversi viaggi dello stesso viaggiatore. L'introduzione dell'eterogeneità appare evidente se si considerano viaggi tra diverse origini e le destinazioni, ma sembra plausibile anche per la modellazione di viaggi tra la stessa coppia origine-destinazione. In quest'ultimo caso, non solo i vari viaggiatori possono avere diverse conoscenze sui percorsi esistenti, ma possono inoltre presentare variazioni occasionali nell'insieme di consapevolezza.

Con lo scopo di approssimare gli insiemi praticabili dei viaggiatori Kaplan e Prato (2011) applicano la cosiddetta congiunzione euristica ai master sets dei percorsi. La congiunzione euristica, che è basata sugli attributi euristici più frequenti (Lussier e Olshavsky, 1979; Olshavsky, 1979), rappresenta il processo di screening (o

proiezione) non compensativo che i viaggiatori applicano per eliminare i percorsi non convenienti che non soddisfano i vincoli spazio-temporali (ad esempio, il tempo di viaggio). La congiunzione euristica produce insiemi di considerazione che sono eterogenei, poiché per ogni viaggiatore viene ottenuto un unico insieme praticabile di percorsi sulla base dei vincoli collegati ai caratteri latenti dei viaggiatori e alle caratteristiche osservate. Gli insiemi di considerazione sono realistici, poiché per ogni viaggiatore si considerano solo le vie che soddisfano i singoli vincoli. Kaplan e Prato (2011), dagli insiemi di considerazione delle alternative, rappresentano la scelta del percorso dei viaggiatori applicando i modelli di utilità casuale. Questi modelli sono adatti a rappresentare le scelte di percorso dei viaggiatori perché si presume che siano possibili compensazioni tra gli attributi dei percorsi considerati. In particolare, i modelli di utilità casuale applicati alla scelta del percorso sono necessari per spiegare la correlazione tra i percorsi, dal momento che le somiglianze tra i percorsi influenzano le probabilità di scelta.

La scelta del percorso è costituita dalla formazione degli insiemi di consapevolezza per via dell'acquisizione delle informazioni, dalla formazione dell'insieme di scelta praticabile per la conservazione dei percorsi che soddisfano i vincoli spazio-temporali e dalla scelta all'interno degli insiemi dei percorsi praticabili. Al contrario, la modellazione della scelta di percorso è costituita dalla generazione stocastica di un master set, dal tentativo di rappresentare l'insieme di consapevolezza del viaggiatore e dai modelli di utilità casuale che rappresentano la scelta.

Kaplan e Prato (2011) realizzarono un modello che ha tradotto il quadro comportamentale in un'applicazione delle tecniche di generazione stocastica del percorso per creare i master sets dei viaggiatori, che rappresentano la congiunzione euristica e i processi di massimizzazione dell'utilità e stimano il modello semi-compensativo.

La probabilità di scelta del percorso  $i$  con il master set  $M_n$  è espressa come:

$$P_n(i|M_n) = P_n(i|C_n) P_n(C_n|M_n) \quad (2.4)$$

dove  $P_n(i|C_n)$  è la probabilità di scegliere il percorso  $i$  dall'insieme di considerazione  $C_n$  e  $P_n(C_n|M_n)$  la probabilità di scegliere l'insieme di considerazione  $C_n$  dal master set  $M_n$ .

Assumendo che il guidatore applichi la massimizzazione dell'utilità per la scelta del percorso, la probabilità che il percorso  $i$  sia selezionato all'interno dell'insieme di considerazione  $C_n$  è espressa dal modello Path Size Correction Logit (Bovy et al, 2008), che permette di tenere conto della correlazione attraverso i percorsi pur mantenendo una semplice struttura.

A seguito della generazione stocastica dei percorsi sia con la simulazione che con il metodo random walk, la stima della variabile latente con il modello semi-compensativo proposto con i dati sulle scelte del percorso dei pendolari a Torino illustra la capacità del modello di catturare la natura non compensativa della formazione dell'insieme di scelta del percorso, affrontando la necessità di includere dei tratti latenti all'interno dei modelli di scelta del percorso. Inoltre, in confronto con l'applicazione del modello ibrido di utilità casuale di scelta del percorso (Prato et al., 2009), l'approccio proposto da Kaplan e Prato (2011) è superiore in termini di facilità dell'implementazione, di chiarezza dell'interpretazione e di realismo comportamentale. Le stime del modello mostrano che, considerando la natura non compensativa della formazione dell'insieme di scelta, non solo aumenta il realismo comportamentale della modellazione della scelta del percorso, ma si riduce anche l'onere associato alla selezione delle tecniche di generazione del master set. Inoltre, le stime del modello mostrano che l'impatto dei tratti latenti è legato all'abitudine, alla capacità di risparmio di tempo, alle capacità

mnemoniche e all'orientamento spaziale, che delimitano la consapevolezza degli individui nei loro insiemi praticabili.

## 2.3 Modello IAP

Il modello IAP (Cascetta e Papola, 2001) rappresenta i vari gradi di disponibilità/percezione di una certa alternativa scelta dal decisore in un contesto di scelta.

La disponibilità/percezione di un'alternativa è rappresentata da una variabile continua  $\mu_c(j)$  (una funzione di appartenenza) definita in un intervallo (0,1), con il più alto valore di  $\mu$  che rappresenta il più alto valore del grado di disponibilità/percezione di una alternativa  $j$  e viceversa. Il choice-set  $C$  è quindi un insieme fuzzy, dove l'elemento  $j$  (nel nostro caso l'alternativa) può appartenere ad esso con un certo grado di appartenenza  $\mu_c(j)$ .

Per modellare la scelta operativamente tra le alternative con un livello intermedio di disponibilità / percezione, Cascetta e Papola propongono di modificare la tradizionale forma base della RU introducendo una trasformazione funzionale di  $\mu_c(j)$  direttamente nella funzione di utilità percepita della stessa alternativa

$$U_j^i = V_j^i + \ln \mu_c^i(j) + \varepsilon_j^i \quad \forall j, j = 1, 2, \dots, J \quad (2.5)$$

dove  $U_j^i$  è l'utilità percepita dell'alternativa  $j$  per il decisore  $i$ ,  $V_j^i$  l'utilità sistematica dell'alternativa per il decisore  $i$ , e  $\varepsilon_j^i$  il residuo casuale dell'alternativa  $j$  per il decisore  $i$  ed  $\mu$  è il grado di appartenenza dell'alternativa al all'insieme di scelta fuzzy  $C$  per decisore  $i$  ( $0 \leq \mu \leq 1$ ), che rappresenta adattabilità/percezione dell'alternativa  $j$  per il decisore  $i$ .

La trasformazione logaritmica è tale che i casi estremi siano rappresentati correttamente in quanto, se l'alternativa è sicuramente

disponibile/ percepita ( $\mu_c^i(j) = 1$ ), allora il fattore  $\ln \mu_c^i(j)$  è uguale a zero e non influenza la scelta. Se, al contrario, l'alternativa non è sicuramente disponibile ( $\mu_c^i(j) = 0$ ),  $\ln \mu_c^i(j)$  è uguale a meno infinito, come la sua utilità percepita, allora l'alternativa  $j$  ha una probabilità nulla di essere scelta e, in generale, non influenza le probabilità di scelta di tutte le altre alternative.

La formula 2.4 viene definita implicita utilità casuale di disponibilità/percezione.

La probabilità di scelta di una data alternativa  $j$  è

$$p^j(j) = Pr(U_j^i \geq U_h^i) \\ = Pr\left(\sigma_h^i - \sigma_j^i \leq V_j^i + \ln \bar{\mu}_c^i(j) - \frac{(1 - \bar{\mu}_c^i(j))}{2\bar{\mu}_c^i(j)} - V_h^i - \ln \bar{\mu}_c^i(h) + \frac{(1 - \bar{\mu}_c^i(h))}{2\bar{\mu}_c^i(h)}\right) \quad \forall h.$$

(2.6)

La specifica formula verrà denominata modello IAPRU.

Cascetta e Papola, 2001 hanno formulato un modello IAP Logit.

Sotto la semplice assunzione che i residui casuali  $\sigma_j^i$  seguono la distribuzione identica e indipendente di Gumbel  $(0, \alpha)$ , le probabilità di scelta data è:

$$p^j(j) = \frac{\exp\left[\alpha\left(V_j^i + \ln \bar{\mu}_c^i(j) - \frac{1 - \bar{\mu}_c^i(j)}{2\bar{\mu}_c^i(j)}\right)\right]}{\sum_n \exp\left[\alpha\left(V_n^i + \ln \bar{\mu}_c^i(n) - \frac{1 - \bar{\mu}_c^i(n)}{2\bar{\mu}_c^i(n)}\right)\right]}, \quad (2.7)$$

che è un semplice modello MNL con una funzione di utilità data dal fattore disponibilità/percezione dell'alternativa  $j$ .

Le relative espressioni di probabilità di scelta sono facilmente ottenute dalle classiche espressioni dei modelli sopra menzionati

$$V_j^i = V_j^i + \ln \bar{\mu}_c^i(j) - \frac{(1 - \bar{\mu}_c^i(j))}{2\bar{\mu}_c^i(j)}. \quad (2.8)$$

L'espressione generale (3), definita come IAP modello Logit, può essere specificato in modo diverso a seconda del modo in cui la media della disponibilità/percezione  $\mu_c^{-i}(j)$  viene modellata.

In questo lavoro, si assume una specificazione del Logit binomiale per modellare la  $\mu_c^{-i}(j)$  :

$$\bar{\mu}_c^i(j) = \frac{1}{1 + \exp\left(\sum_k -\gamma_k Y_{kj}^i\right)}, \quad (2.9)$$

dove  $Y_{kj}^i$  sono variabili correlate con la disponibilità/percezione di ciascuna alternativa e in cui è stato introdotto il segno meno nella sommatoria in modo da avere segni positivi per il coefficiente  $\gamma_k$  relativa agli attributi  $Y_{kj}^i$ , aumentando il grado medio di disponibilità/percezione e viceversa.

Nel prossimo paragrafo andremo a illustrare due lavori riguardanti il concetto di percezione del percorso e lo sviluppo dello stesso in variabili di dominanza realizzato da Cascetta e al (2007).

### 2.3.2 Percezione del percorso

Un aspetto molto importante che influenza la scelta del percorso da parte dei viaggiatori è la percezione che essi hanno del percorso stesso.

Cascetta e al (2000) hanno proposto un modello di percezione del percorso che esprime la probabilità che un percorso appartenga

all'insieme di scelta e venga percepito come alternativa. Questo modello è del tipo Logit binomiale:

$$PC^n(j) = 1/[1 + \exp(-\gamma Y_j^n)] \quad j \in I_i^n \quad (2.10)$$

dove  $\gamma = (\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n)$  è un vettore di parametri e  $Y_j^n$  è un vettore di caratteristiche socio-economiche del decisore e di attributi relativi alla percezione di ogni itinerario alternativo.  $n$  è l'individuo che compie la scelta e  $i$  è il generico sottoinsieme delle alternative.

Ciò presuppone che gli individui non prendano nemmeno in considerazione le alternative che non soddisfano certi criteri.

L'equazione precedente può essere interpretata come una funzione di appartenenza che esprime una misura della percezione di un determinato percorso nell'intervallo (0,1) come richiesto nei modelli di disponibilità e percezione.

I diversi livelli di percezione sono più facilmente spiegabili in caso di scelta del percorso: mentre per la scelta modale c'è un collegamento più stretto tra disponibilità e percezione, nella scelta del percorso alcune alternative possono non essere pienamente percepite dai guidatori.

Gli attributi di percezione da inserire nel vettore  $Y_j^n$  possono essere raggruppati in un certo numero di classi:

- ❖ Etichettatura. Le etichette descrittive assegnate a percorsi fisici nella rete, massimizzano e minimizzano un criterio specifico che potrebbe essere rilevante per la scelta del percorso. Tali attributi aumentano la probabilità di percezione.
- ❖ Fattore di comunanza. Termine direttamente proporzionale al grado di sovrapposizione di un percorso  $j$  con altri percorsi appartenenti all'insieme  $I_i^n$ . Percorsi fortemente sovrapposti presentano fattori di comunanza più grandi. Questi attributi tendono a diminuire la probabilità di percezione.

- ❖ Distanza dalla linea retta che collega la coppia O/D. Il termine descrive la differenza tra il percorso reale e il collegamento diretto. Per i percorsi più diretti quindi con valori più bassi si prevede un aumento della probabilità di percezione.
- ❖ Le variabili socio-economiche come età e sesso.
- ❖ Distanza percorsa su superstrade o autostrade.
- ❖ Attributi del livello di servizio dei percorsi (tempi, costi)

Cascetta e al (2000) hanno testato il modello su un campione di 153 utenti nella città di Reggio Calabria. I percorsi sono stati considerati diversi se differivano per più del 5% della loro lunghezza. Sono state considerate 19 coppie di origine e destinazione, tutte aventi come unica destinazione l'Università. Il numero totale di percorsi indicati sono stati 265 cioè una media di 1,73 a guidatore.

I risultati del modello indicano che diversi attributi sono importanti variabili esplicative in relazione alla percezione del percorso compreso il livello di servizio, fattori topologici e socio-economici.

In particolare è emerso che la topologia della rete sia in termini di tempi di percorrenza che di sovrapposizione dei percorsi gioca un ruolo significativo nello spiegare la percezione del percorso.

I risultati, anche se il campione ha una dimensione limitata, mostrano la fattibilità del modello proposto da Cascetta e al (2000) come uno strumento per la valutazione quantitativa dei fattori che influenzano la percezione del percorso.

### **2.3.3 Dominanza**

Un argomento trattato da molti autori è quello della dominanza.

Una alternativa  $d$  è dominata da un'altra alternativa  $d^*$  se  $d$  è peggiore di  $d^*$ , rispetto ad una o più caratteristiche, senza essere meglio in nessun'altra caratteristica.

Questa viene detta regola della "Dominanza Globale".

Si introducono due regole di dominanza: con la prima, si assume che un'alternativa  $d$  domina un'alternativa  $d'$  (per un individuo che inizia uno spostamento dall'origine  $o$ ) se l'attrattività di  $d$  è maggiore di  $d'$  e allo stesso tempo risulta  $cod < cod'$ , che rappresentano rispettivamente il costo generalizzato per raggiungere  $d$  e  $d'$  dall'origine  $o$ . Con la seconda, si considera una regola di dominanza più forte ("Dominazione spaziale"), che richiama il concetto di intervening opportunities. In particolare,  $d$  domina spazialmente  $d'$  se domina  $d'$  in relazione alle condizioni citate nella definizione precedente e se  $d$  si trova lungo il percorso per raggiungere  $d'$  dalla zona di origine  $o$ . In questo caso  $d$  rappresenta una intervening opportunity lungo il percorso, o insieme di percorsi, verso  $d'$  (Stouffer, 1960).

La simulazione della percezione di una alternativa avviene attraverso attributi di dominanza, definiti dalle regole sopra elencate, da inserire nella funzione di utilità del modello come attributi di disponibilità/percezione.

A ciascuna alternativa è attribuita una variabile di dominanza e, quindi, si costruirà un ranking delle alternative, dove il posto occupato dalle stesse è dettato dal numero di alternative che le dominano. I primi posti saranno occupati dalle alternative con maggior numero di dominazioni e, quindi, il modello darà loro la minore probabilità di appartenenza all'insieme di scelta; gli ultimi posti saranno occupati dalle zone con numero minore di dominazioni e, quindi, da quelle meglio percepite dall'utente. La posizione in graduatoria può essere adoperata come attributo di dominanza nella specificazione della funzione di utilità, realizzando così il grado di percezione di una alternativa.

Cascetta e Papola (2007) trattano il concetto della "dominanza" all'interno dei modelli di utilità casuale.

Un metodo semplice per applicare questo concetto è l'utilizzo di una variabile  $Y_{ij}^n$  che assume valori 1 o 0, dove  $n$  è il decisore e  $ij$  sono due alternative di percorso.

Quindi avremo

$$Y_{ij}^n = \begin{cases} 1 & \text{se } i \text{ domina } j \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases} \quad (2.11)$$

Esistono vari metodi per utilizzare le informazioni di dominanza sulle coppie di alternative, le quali possono essere impiegate sia per approcci deterministici che probabilistici.

Definita  $Y_{ij}^n$ , con un dominio globale  $dom_j^n$  dell'alternativa  $j$  e decisore  $n$ , il numero delle alternative all'interno dell'insieme di scelta  $CS^n$  è determinato da:

$$dom_j^n = \sum_{i \in CS^n} Y_{ij}^n \quad (2.12)$$

Il grado di dominanza di un'alternativa dipende dagli attributi della sua utilità.

Cascetta e Papola hanno stimato l'efficacia degli attributi di dominanza su due applicazioni.

La prima è stata effettuata usando un contesto virtuale con quattro alternative e 2000 decisori, dove gli attributi sono stati considerati come rilevanti per tutte le alternative.

Vengono definiti i costi effettivi  $C_j^n$  e le qualità  $Q_j^n$  di ogni alternativa e decisore  $n$ , che vengono generati prendendo in considerazione la distribuzione normale standard con valori che variano a seconda dell'alternativa.

L'utilità percepita viene definita:

$$U_j^n = \beta_C^n C_j^n + \beta_Q^n Q_j^n \quad (2.13)$$

Dove  $\beta_C^n$  e  $\beta_Q^n$  sono valori che il decisore  $n$  associa a costi e qualità, assumendo l'ipotesi che ogni decisore scelga l'alternativa di massima utilità.

In fase successiva il dominio globale è stato introdotto in un modello MNL per verificarne l'efficacia, introducendo direttamente nella funzione di utilità, gli attributi di utilità standard.

$$U_j^n = \beta_C^n C_j^n + \beta_Q^n Q_j^n + \beta_{dom} dom_j^n \quad (2.14)$$

Questo specifico MNL è stato stimato con il metodo della massima verosimiglianza. Per quanto riguarda la seconda applicazione, è stato usato un contesto reale.

Il database di stima è costituito dagli spostamenti giornalieri dei residenti dell'area metropolitana di Roma. Il territorio studiato è stato suddivisa in 463 zone di traffico ed è stato preso un campione di 3671 utenti.

La variabile  $Y_{ij}^n$  è stata ridefinita come

$$Y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{se } wp_j \leq wp_i \text{ e } dist_{oj} \geq dist_{oi} \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases} \quad (2.15)$$

Dove  $wp$  sono i luoghi di lavoro e  $dist$  la lunghezza delle alternative.

La variabile vale uno quando  $wp_i$  è più grande di  $wp_j$  e contemporaneamente l'alternativa  $i$  è più vicina della alternativa  $j$  all'origine  $o$ .

Introducendo la regola della dominanza spaziale, la variabile varia in

$$Y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{se } wp_j \leq wp_i \text{ e } dist_{oj} \geq dist_{oi} \text{ e } dist_{oi} + dist_{ij} \leq \alpha_i dist_{oj} \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases} \quad (2.16)$$

Ciò significa che  $i$  è definita lungo il percorso da  $o$  a  $j$  se la distanza tra  $o$  e  $j$  è quasi uguale alla distanza diretta tra  $o$  e  $j$  ( con  $\alpha_i$  che ha un valore di poco superiore a 1).

Nella specificazione del modello sono state inserite diverse variabili per distinguere le zone residenziali, le zone lungo il percorso "zone residenziali e centro storico", quelle zone entro un certo raggio dalle zone residenziali. In più sono state introdotte variabili relative sia alla dominanza globale che spaziale.

I risultati ottenuti hanno mostrato che l'utilizzo degli attributi di dominanza producono un netto miglioramento della efficienza del modello e forniscono la prova di quanto risulti importante questo tipo di approccio per simulare la scelta delle destinazioni da parte dei viaggiatori.

Il fatto che vi sia questo miglioramento della validità del modello dimostra l'esistenza dell' "effetto dominante".

Un altro aspetto che è stato messo in risalto da questo lavoro è che il grado di dominanza spaziale è sempre superiore rispetto a quello globale. Ciò implica l'importanza nell'inserire le posizioni spaziali delle varie zone sia nello specifico per determinare e individuare le alternative dominanti sia a livello generico per poter simulare l'insieme di scelta delle destinazioni.

Infine risultano particolarmente rilevanti gli attributi di percezione spaziale che sono stati utilizzati per ottenere una conoscenza maggiore delle zone.

Questo aspetto diventa fondamentale quando si considerano insiemi di scelta dove il numero delle alternative risulta molto ampia.

I primi a testare questi attributi di percezione spaziale sono stati gli stessi Cascetta e Papola (2001).

In questo lavoro l'enumerazione dell'insieme di scelta è evitata simulando la probabilità di un'alternativa  $d$  appartenente all'insieme di scelta,  $p(d \in C)$ , e introducendo il logaritmo di  $\ln p(d \in C)$  nell'utilità di questa alternativa

$$U_d^* = U_d + \ln p(d \in C) = \sum_n \beta_n X_{dn} + E [\ln p(d \in C) Y_d] + \varepsilon_d \quad (2.17)$$

dove  $Y_d$  sono gli attributi che influenzano la percezione/disponibilità delle alternative.

La logica di questo modello è che una minore probabilità di un'alternativa  $d$  di appartenere all'insieme di scelta riduce la  $U_d^*$ .

## **2.4 Effetto delle informazioni sulla scelta del percorso.**

Esiste un effetto combinato delle informazioni e delle esperienze sul comportamento di scelta del percorso. I sistemi avanzati di informazione per il trasporto (ATIS) sono progettati per fornire in tempo reale informazioni che consentono ai conducenti di scegliere in modo efficiente tra i percorsi e ridurre il tempo di viaggio.

La ricerca psicologica suggerisce che i modelli di scelta del percorso possono essere migliorati con l'aggiunta di ipotesi comportamentali realistiche. Tuttavia, diverse generalizzazioni comportano direzioni diverse, in particolare quando le decisioni vengono prese sulla base di informazioni rispetto a quelle adottate sulla base dell'esperienza personale.

I sistemi tecnologici di sorveglianza e controllo del traffico sono progettati per fornire informazioni in tempo reale agli utenti della rete sulle condizioni del traffico circostante. Si tratta di una convinzione comune che ulteriori informazioni insieme a tecnologie avanzate come il GPS siano in grado di ridurre i tempi di viaggio e consentire ai conducenti di scegliere in modo efficiente tra i percorsi disponibili, risparmiando tempo prezioso e riducendo la congestione.

Tuttavia, l'impatto degli ATIS è sensibile alla reazione dei conducenti alle nuove informazioni.

La ricerca affronta lo studio del comportamento del conducente con l'assunzione che gli individui cercano di massimizzare l'utilità. La maggior parte degli studi sulla scelta di itinerari si concentrano sui

modelli di scelta discreta. Nella teoria dell'utilità casuale, l'utilità di un individuo per ogni coppia di origine e destinazione ha una componente deterministica e una componente casuale o termine di errore, che non sono spiegate attraverso gli attributi osservati.

La probabilità di scelta si basa sulla utilità osservata e sulle ipotesi circa la distribuzione degli errori casuali. Prashker e Bekhor (2004) hanno fornito una vasta rassegna di modelli di utilità casuale (RUM) e la loro applicazione negli studi di scelta del percorso.

I modelli di scelta discreta non includono un'astrazione esplicita degli effetti delle informazioni in tempo reale fornite dagli ATIS. Per includere questo effetto sui guidatori nel quadro dei modelli di scelta discreta bisogna definire opportune ipotesi comportamentali. I tentativi di trattare l'effetto delle informazioni parziali sul comportamento dei conducenti si sono concentrati su tre approcci principali. Per primo, l'informazione riguarda il termine di errore nelle funzioni di utilità dei percorsi (ad esempio, Watling e Van Vuren 1993). Un altro approccio è quello che si basa sulla teoria dell'apprendimento rinforzato. Ad esempio, Horowitz (1984) ha descritto un semplice modello di scelta del percorso nel tempo in base al quale le decisioni sono basate sulla media ponderata dei valori dei costi dei viaggi precedenti. Un terzo e diverso approccio implica la ricerca empirica diretta.

Altri studi hanno applicato i principi di logica fuzzy come la regola "if-then" (Peeta e Yu 2005) come vedremo successivamente.

Ben Elia e al (2007) hanno realizzato un lavoro che contribuisce alla ricerca mediante un approccio empirico.

La ricerca di Ben Elia e al (2007) suggerisce che i modelli di scelta del percorso potrebbero essere migliorati con l'aggiunta di ipotesi comportamentali più realistiche. Tuttavia, i tentativi di generalizzare le recenti scoperte degli studi comportamentali al contesto di selezione del percorso rivelano che questo compito non è banale. Considerando che quasi tutti questi studi concordano sul fatto che le persone si discostano dalle previsioni della teoria razionale di

decisione (ad esempio, la massimizzazione dell'utilità attesa), diverse generalizzazioni comportano deviazioni in diverse direzioni.

Ben Elia e al (2007) nel loro lavoro propongono un esempio semplice per spiegare meglio il problema.

Essi suppongono che a un conducente vengano fornite informazioni in tempo reale per quanto riguarda la scelta tra due percorsi da lavoro a casa: un percorso più rapido ed un percorso più lento. I tempi medi sul percorso più rapido sono di 25 minuti e di quello più lento di 30 minuti. Il conducente non ha alcun obbligo specifico di arrivare a casa in un momento specifico, ma ovviamente vorrebbe minimizzare il suo tempo di viaggio. Supponiamo inoltre che al guidatore vengano fornite informazioni in tempo reale ad intervalli temporali durante il viaggio. Gli intervalli sono di 5 o di 15 minuti per ciascun tragitto. Le varie combinazioni degli intervalli permettono di costruire tre possibili scenari del tempo di percorrenza.

I tre scenari si suddividono Safer-Fast ( percorso più veloce ma sicuro) , Risky-Fast ( percorso più veloce ma rischioso) e Low-Risk ( percorso a basso rischio).

L'obiettivo principale dello studio è quello di valutare l'importanza relativa delle tre generalizzazioni nel caso di scelta del percorso, con la fornitura di informazioni in tempo reale. I 49 partecipanti alla sperimentazione sono stati divisi in modo casuale tra due gruppi. Un gruppo, composto da 24 soggetti, ha ricevuto informazioni in tempo reale continuamente prima di ogni scelta simulata e sul tempo di viaggio del percorso scelto dopo che ogni scelta era stata fatta (come feedback). Gli altri 25 hanno ricevuto solo le informazioni di feedback, ma non le altre informazioni riguardanti i possibili tempi di percorrenza dei percorsi. Il compito dei partecipanti era di scegliere ripetutamente tra i due percorsi simulando un pendolarismo giornaliero.

Al fine di incoraggiare i partecipanti a ridurre il tempo di viaggio, l' esperimento prevedeva una forma di incentivo monetario collegato al tempo di viaggio stesso.

I risultati del lavoro di Ben Elia e al (2007) hanno evidenziato due regolarità comportamentali che non sono modellate da modelli tradizionali del comportamento di viaggio. I risultati mostrano che un utente informato va alla ricerca di un percorso rischioso quando i tempi di viaggio sono inquadrati nel dominio delle perdite. Nei casi studiati da Ben Elia et al (2007) , il comportamento osservato riflette un'elevata propensione al rischio. Cioè, il percorso veloce era più attraente quando era rischioso (Risky-Fast), rispetto a quando è stato associato con una bassa variabilità dei tempi di viaggio (Safer-Fast). Nel lavoro di Ben Elia e al (2007) i dati indicano che l'effetto tipico delle informazioni è quello di aumentare la ricerca del rischio. Inoltre, in questo studio l'effetto iniziale di fornire informazioni in tempo reale è stato positivo per tutti e tre gli scenari.

Per Ben Elia e al (2007) i risultati suggeriscono che l'informazione ha tre effetti principali. In primo luogo, riduce l'esplorazione iniziale e per questo aumenta il tasso di massimizzazione dei conducenti inesperti. In secondo luogo, aumenta la ricerca del rischio iniziale. Infine aumenta le differenze tra soggetti in risposta alla variabilità o al rischio. La conclusione principale dall'analisi di Ben Elia et al (2007) è che i principali vantaggi di fornire in tempo reale informazioni con ATIS si manifestano quando i conducenti non hanno esperienza a lungo termine. I guidatori che sono nuovi alla rete stradale o che hanno una conoscenza limitata del tempo di viaggio trarranno maggiori vantaggi dalle informazioni fornite. I risultati di Ben Elia et al (2007) mostrano anche che l'effetto delle informazioni è piuttosto limitato per conducenti esperti i quali hanno già una buona base di conoscenza delle possibili condizioni di viaggio sulla rete.

Vale la pena notare che, quando le condizioni del traffico cambiano bruscamente a causa di eventi imprevisti come incidenti o altri eventi particolari, l'informazione ha un ruolo fondamentale per accelerare il processo di apprendimento dei guidatori. Dal punto di vista di un pianificatore o del gestore di una rete ciò ha grande importanza dal momento che le congestioni non ricorrenti stanno assumendo un

ruolo sempre maggiore in molte reti urbane. Mentre la congestione ricorrente può essere affrontata con l'apprendimento a lungo termine da parte degli utenti e dei pendolari, una migliore gestione della congestione non ricorrente può essere possibile fornendo informazioni in tempo reale agli utenti. In tali circostanze, è necessaria una maggiore ricerca per comprendere gli impatti degli utenti parzialmente informati sull'equilibrio generale della rete di trasporto.

Nella parte successiva viene riassunto il contenuto di un lavoro di Paz e Peeta (2008) per determinare le strategie di controllo della rete basate su informazioni che siano coerenti con gli obiettivi del controller e tenendo conto anche del comportamento di risposta dei conducenti.

Paz e Peeta (2008) propongono una metodologia basata sul controllo fuzzy. L'uso di una metodologia fuzzy basata su semplici regole "if-then" ha implicazioni fondamentali per il realismo della modellazione e l'efficienza computazionale.

Un modello fuzzy consiste in un insieme di regole deduttive che legano gli ingressi e le uscite basandosi su predicati e connessioni caratterizzati da indeterminazione e vaghezza. Questi modelli possono incorporare facilmente l'esperienza umana espressa in termini "qualitativi". Con poche regole si può descrivere un processo di grande complessità, anche se non si ottiene una descrizione dettagliata del processo.

L'adeguatezza delle generiche regole if-then in base all'osservazione del sistema e alle caratteristiche del problema sia per la modellazione del comportamento stimato dal controllore che per la generazione delle strategie di controllo riduce l'esigenza di grandi quantità di dati che altrimenti sarebbero richiesti a livello del singolo conducente.

Paz e Peeta (2008) cercano di comprendere il comportamento risolvendo un problema di punto fisso che stima le probabili reazioni dei conducenti in seguito alle informazioni fornite al loro dal controllore stesso. Gli esperimenti vengono eseguiti per valutare l'efficacia della metodologia proposta. I risultati suggeriscono

l'importanza di utilizzare un approccio comportamentale coerente per determinare le strategie di controllo della rete basate su informazioni. Gli effetti del comportamento di risposta del guidatore, a cui vengono fornite informazioni, possono richiedere strategie adeguate e opportunamente progettate allo scopo. Le strategie di informazione che non tengono conto delle risposte degli utenti possono potenzialmente peggiorare le prestazioni del sistema.

L'efficacia della distribuzione di informazioni basate su strategie di controllo della rete comporta una robusta modellazione della dinamica dei flussi di traffico e del comportamento del conducente. E' necessario sviluppare un paradigma di guida del percorso che integra le strategie di controllo della rete basate su informazioni e la realistica rappresentazione del comportamento del conducente.

Il comportamento del conducente è un fattore fondamentale e fonte primaria di complessità nel predire gli stati di traffico. Tuttavia, la maggior parte dei modelli di assegnazione dinamica del traffico (DTA) sono basati su una struttura rigida; generalmente essi pre-specificano il comportamento dei conducenti. Pochi modelli DTA considerano l'eterogeneità tra i conducenti. Anche questi modelli presuppongono che le classi di comportamento del guidatore possono essere pre-specificate. Inoltre, essi assumono a priori la conoscenza delle frazioni di classe di comportamento del conducente. Questa rigidità solleva questioni legate alla modellazione realistica del comportamento del conducente e, di conseguenza, all'efficacia delle strategie di controllo della rete basate sull'informazione.

Una previsione non corretta degli stati del sistema basata sulle ipotesi citate sopra può influire negativamente sulla validità e l'efficacia delle strategie di controllo della rete basate su informazioni e potenzialmente può peggiorare le prestazioni del sistema. In realtà, le decisioni degli itinerari da parte del conducente, anche in presenza di informazioni, sono basate sul comportamento innato del conducente che si fonda sulle esperienze passate, su fattori situazionali (ad esempio, condizioni del meteo e scopo del viaggio) e sulle condizioni

del traffico incontrate. Ciò vale indipendentemente dal tipo di informazione, dalla strategia utilizzata o se i conducenti non ricevono alcuna informazione.

Mentre la fornitura di informazioni e i relativi contenuti possono essere utilizzati come variabili di controllo per influenzare le prestazioni del sistema, esse non possono implicare tassi pre-specificati di conformità da parte dei conducenti alle informazioni fornite, come prevalentemente si assume nei modelli DTA. Fornendo informazioni personalizzate si potrebbe generare un controllo più efficace. Si potrebbe determinare quali informazioni fornire a chi, sulla base degli obiettivi di controllo del sistema e della stima del controllore sul comportamento del conducente.

Idealmente, il controllore vorrebbe avere piena conoscenza del comportamento di ciascun utente ma, questo non può essere praticamente possibile per una serie di motivi. Tuttavia, il controllore può costruire un modello di stima del comportamento di guida sulla base di dati storici, dati raccolti dai sensori di campo, da sondaggi e da approfondimenti derivanti da studi comportamentali del passato. Tale modello può essere ulteriormente perfezionato col tempo.

Paz e Peeta (2008) nel loro lavoro hanno classificato le informazioni in due categorie: le informazioni descrittive dove sono fornite le condizioni del traffico immediate o proiettate e le informazioni prescrittive in cui specifici percorsi sono raccomandati ai conducenti.

In questo contesto, le informazioni possono anche essere classificate come: informazione quantitativa che è un' informazione numerica connessa alla rete e / o alle condizioni del percorso come tempi di percorrenza, e l' informazione qualitativa che si compone di etichette linguistiche che descrivono le condizioni del percorso. La maggior parte dei modelli DTA pre-specificano il comportamento del conducente in termini di diversi possibili obiettivi. Tale approccio di modellazione è restrittivo per raffigurare realisticamente sia le caratteristiche di informazione che il comportamento di risposta del guidatore. Inoltre, questi modelli non sono in grado di gestire in

modo adeguato e di elaborare le variabili linguistiche (Peeta e Yu, 2004).

Nel lavoro di Paz e Peeta (2008), il comportamento non è pre-specificato e le strategie di controllo della rete basate sulle informazioni sono modellate per essere coerenti con le informazioni del mondo reale. I modelli DTA in genere forniscono tempi di percorrenza del percorso da un punto di vista descrittivo o del percorso consigliato in un contesto prescrittivo.

L'approccio di Paz e Peeta (2008) fornisce contenuti informativi più realistici. Cioè, i modelli utilizzati per determinare le strategie di informazione e valutare il comportamento probabile della risposta del conducente consentono la determinazione e la trasformazione di messaggi linguistici quali le informazioni qualitative descrittive, le specifiche raccomandazioni sul percorso sotto informazioni prescrittive o entrambe contemporaneamente. Quindi, Paz e Peeta (2008) si concentrano su informazioni personalizzate che possono essere qualitative, descrittive e / o prescrittive. Le informazioni qualitative descrittive implicano messaggi linguistici che descrivono le condizioni del traffico a valle della posizione corrente per l'attuale serie di percorsi che un guidatore sta valutando verso la propria destinazione. Mentre l'informazione prescrittiva riguarda il percorso specifico consigliato al conducente.

Nello studio dei suddetti autori, solo i guidatori con dispositivi ATIS possono ricevere informazioni personalizzate mentre gli altri non ricevono informazioni. Le informazioni personalizzate ricevute dai viaggiatori equipaggiati vengono viste come parte di un servizio di informazione che fornisce informazioni prescrittive e linguistiche descrittive. Paz e Peeta (2008) definiscono quattro classi di guidatori informati.

La prima classe di guidatori ( $u = 1$ ) decide di scegliere solo le informazioni prescrittive. Questi possono ricevere percorsi specifici talvolta e nessuna informazione in altri momenti durante il loro viaggio a seconda della strategia di controllo della rete usata. In un

contesto pre-viaggio, un sottoinsieme di questi guidatori è consigliato per prendere percorsi specifici in base alle proporzioni suggerite dalla strategia di controllo. Ai rimanenti guidatori della classe prescrittiva sono consigliati percorsi pre-viaggio in base al modello di comportamento del guidatore stimato dal controllore.

La seconda classe di conducenti ( $u = 2$ ) decide di scegliere solo informazioni linguistiche descrittive. I driver di questa classe ricevono informazioni linguistiche che dipendono dal tempo sulle condizioni a valle per le loro attuali serie di percorsi alternativi.

La terza classe dei guidatori ( $u = 3$ ) sceglie sia le informazioni linguistiche descrittive sia prescrittive e sono in grado di elaborare entrambi i tipi di informazione contemporaneamente. Come in classe 1, le informazioni prescrittive possono o non possono essere fornite ai guidatori specifici a seconda della strategia del comportamento coerente. Tuttavia, come in classe 2, questi driver ricevono sempre informazioni linguistiche.

La quarta classe di conducenti ( $u = 4$ ) non ricevono informazioni.

Il problema delle strategie di controllo basate su informazioni è definito da Paz e Peeta (2008) come segue.

Un sistema di controllo mira a determinare strategie di controllo della rete basate su informazioni che siano coerenti con il comportamento del conducente pur affrontando l'obiettivo di migliorare le prestazioni del sistema. L'approccio utilizzato da Paz e Peeta (2008) è quello di influenzare le decisioni di scelta del percorso del conducente, fornendo informazioni di percorrenza (sia linguistiche che prescrittive) in modo tale che le proporzioni dei conducenti che scelgono determinati percorsi siano vicine alle proporzioni corrispondenti ad un assetto ottimale del sistema(SO).

In tal modo, i percorsi SO sono definiti come i percorsi desiderati dal controllore. Per conseguire la coerenza desiderata, il controllore calcola le decisioni di scelta del percorso del conducente mediante un modello di scelta comportamentale del percorso e determina le adeguate strategie di controllo della rete basate su informazioni.

È noto in letteratura che la soluzione SO non è sostenibile a livello comportamentale. Quindi, i percorsi SO che non sono considerati dai guidatori non vengono utilizzati dal regolatore per determinare le strategie di informazione e pertanto non sono raccomandati ai conducenti. Gli autori hanno eseguito vari test dai quali hanno ottenuto significative differenze in termini di risparmio di tempo di viaggio quando l'approccio del comportamento coerente è stato confrontato agli approcci tradizionali (UE, SO, ecc.)

La formulazione del problema è di difficile realizzazione usando le tecniche tradizionali come la ottimizzazione non-lineare o la teoria del controllo tradizionale. Il problema chiave è la loro limitata capacità di gestire l'imprecisione, l'incertezza e la soggettività associate con dati incompleti e / o variabili qualitative / linguistiche. Le variabili linguistiche sono importanti in questo contesto perché consentono la modellazione delle strategie di fornitura delle informazioni utilizzate nel mondo reale.

Paz e Peeta (2008) risolvono la formulazione utilizzando la logica fuzzy. La logica fuzzy permette una certa tolleranza in termini di imprecisione, incertezza e / o verità parziale. Ci sono altri vantaggi di utilizzare la logica fuzzy in questo contesto: ad esempio, la conoscenza / esperienza del personale di controllo del traffico può essere incorporata nelle regole di controllo if-then.

I risultati dello studio evidenziano la complessità del problema affrontato da Paz e Peeta (2008) e dimostrano l'efficacia dell'approccio fuzzy per affrontare la multidimensionalità e non linearità del problema. Essi indicano anche l'importanza di utilizzare un approccio di comportamento coerente per determinare le strategie di controllo basate sull'informazione. Un'analisi dettagliata dei risultati dell'esperimento suggerisce che molti percorsi preferiti dai guidatori tendono ad avere grandi mancanze dal punto di vista del comportamento coerente perché un gran numero di conducenti prendono questi percorsi indipendentemente dalle informazioni fornite. Ciò implica che per dirigere il sistema verso proporzioni

desiderate dei percorsi scelti dai conducenti, il controllore può consigliare i guidatori sugli itinerari da prendere a seconda delle dinamiche della rete e delle tendenze del comportamento di guida. Cioè, gli effetti del comportamento di risposta del conducente dotato di informazioni possono richiedere strategie più significative di quelle previste nell'ambito dei modelli tradizionali DTA per avere un preventivo e affidabile controllo delle prestazioni del sistema.

L'approccio proposto da Paz e Peeta (2008) richiede una stima adeguata del comportamento di guida in presenza di informazioni. L'approccio del comportamento coerente si concentra su informazioni personalizzate. Inoltre la metodologia della logica Fuzzy comporta un grande vantaggio per la sua capacità di incorporare informazioni personalizzate e generiche contemporaneamente.

Nel capitolo seguente andremo ad illustrare l'analisi, effettuata tramite la formulazione di un questionario, su un campione di persone residenti nella provincia di Verona che compiono il loro viaggio casa-lavoro/studio. Ma prima di affrontare questo argomento, nel prossimo paragrafo verranno mostrati dei lavori su l'uso del sistema di posizionamento globale (GPS) come mezzo efficace di raccolta di dati sulle attività di viaggio che permettono la formulazione di analisi sulla scelta del percorso.

## **2.5 Analisi sulla scelta del percorso con l'utilizzo del GPS**

Negli ultimi anni è aumentato l'interesse verso lo studio del comportamento di scelta del percorso con l'obiettivo principale di capire quali siano i fattori che influenzano le decisioni degli utenti.

Quando effettuano la scelta del percorso, gli individui sono influenzati da una varietà di fattori, non ultimo è la distribuzione dei luoghi di cui una persona è a conoscenza in seguito alle attività che svolge fuori di casa.

L'individuo ha familiarità con i luoghi e gli spazi che visita spesso per i propri viaggi. Golledge e Stimson (1997) hanno sviluppato questo concetto che è comunemente conosciuto come "Base di conoscenza" che non è altro che una mappa mentale o cognitiva del territorio. Le decisioni di scelta del percorso sono basate sulla conoscenza e l'esperienza che influenzano la valutazione delle alternative di scelta esistenti.

Abdel-Aty e al (1997) spiegano come le nostre capacità cognitive e le caratteristiche personali determinano il modo in cui impariamo nuovi percorsi e gestiamo l'elaborazione delle informazioni.

Fondamentale per l'apprendimento del percorso è stabilire dei punti di riferimento all'interno della mappa mentale. Una seconda serie di decisioni sulla scelta del percorso sono fatte pre-viaggio o durante il viaggio stesso e prevede l'elaborazione delle informazioni e l'apprendimento.

Adattarsi alle condizioni di congestione è un esempio comune di come le persone cambino i loro percorsi pianificati. In termini di tempo di viaggio e di scelta del percorso, è dimostrato che genere ed età hanno un impatto sulla disponibilità ad assumere rischi. I guidatori sono più propensi a cambiare percorso quando sanno in anticipo che un percorso li farà arrivare in ritardo. Essi preferiscono un minore tempo di percorrenza invece di un percorso più corto quando prendono una decisione.

Però bisogna tenere conto che ciò che viene dichiarato nelle interviste ha dei limiti. Innanzitutto gli intervistati sono spesso troppo ottimisti quando rispondono a domande ipotetiche. Gli intervistati immaginano l'insieme delle alternative ma non è detto che abbiano sperimentato direttamente tutte le alternative. Pertanto, non possono essere in grado di valutare adeguatamente i pro e contro di ogni scelta. Infine, gli intervistati spesso rispondono alle domande in base a ciò che può interessare all'intervistatore e a volte selezionano una risposta che non avrebbero realisticamente perseguito. Gli specifici criteri di selezione del percorso comprendono il percorso più breve rispetto al

tempo o alla distanza, il minor costo generalizzato, la minimizzazione delle svolte, il percorso con meno ostacoli (ad esempio, semafori e stop), strade che evitano zone congestionate, la massimizzazione del comfort di guida, la riduzione al minimo di trasferimenti intermodali, la scelta di percorsi più veloci (autostrade e superstrade).

Abdel-Aty e al (1997) mostrano che altre decisioni che impattano sul nostro comportamento di viaggio sono la posizione residenziale e l'occupazione con il conseguente status economico . Coordinare gli orari con gli altri membri della famiglia e conoscenti aumenta la complessità di questo processo decisionale. L'età gioca un ruolo chiave nella capacità di comunicare e apprendere nuovi itinerari (Wilkniss et al 1997). I risultati indicano che gli individui più anziani hanno maggiori probabilità di essere avversi al rischio e prendere frequentemente percorsi più familiari rispetto ai loro colleghi più giovani.

Tuttavia, come abbiamo visto in precedenza, vi sono molteplici problemi come la raccolta dei dati, l'elaborazione di grandi insiemi di dati, la generazione di insiemi di scelta di percorsi alternativi e la stima dei modelli di scelta. Oltre a queste problematiche, si presentano ulteriori difficoltà. Le decisioni in materia di scelta del percorso sono spesso difficili da osservare con mezzi convenzionali di raccolta dei dati. Recentemente, il sistema di posizionamento globale (GPS) è stato usato come un mezzo efficace di raccolta di dati sulle attività di viaggio. In termini di scelta del percorso, il GPS fornisce informazioni di viaggio dettagliate sui tempi di viaggio e fornisce osservazioni precise sui percorsi. Per supportare l'analisi della scelta del percorso, sono necessari strumenti per elaborare e descrivere percorsi osservati e alternativi. Le possibilità di scelta del percorso possono diventare estremamente numerose e quindi si rende necessario utilizzare strumenti computazionali adeguati.

Papinski e Scott (2010) presentano un toolkit per l'analisi della scelta di percorso che riesce ad elaborare in maniera efficiente tali percorsi. Il termine toolkit in informatica definisce un insieme di strumenti

software che facilitano e uniformano lo sviluppo di applicazioni più complesse.

Con questo metodo vengono importate in maniera automatica le informazioni sul percorso e si generano oltre 40 variabili che descrivono le caratteristiche del percorso stesso.

Il toolkit è progettato per generare rapidamente variabili, che altrimenti avrebbero dovuto essere create manualmente. Il toolkit consente lo studio delle variabili tradizionali come la distanza percorsa, il tempo di viaggio e la velocità di viaggio. Papinski e Scott (2010) hanno incluso nell'analisi anche il numero di intersezioni, segnali di stop e / o semafori, e hanno affrontato il problema della scelta del percorso con l'idea che le persone cercano di ridurre al minimo la distanza di viaggio, il tempo o massimizzare l'affidabilità del percorso. Per dimostrare l'utilità del toolkit, Papinski e Scott (2010) hanno esaminato l'efficienza dei percorsi osservati. E' stato assunto il concetto che un percorso per essere considerato efficiente deve essere all'interno di quei percorsi che le persone scelgono perché hanno minimo costo. Infine hanno confrontato gli attributi dei percorsi osservati con quelli corrispondenti ai percorsi più brevi che si basano sul tempo di viaggio e la distanza. Per realizzare questa indagine, Papinski e Scott (2010) hanno usato campioni di osservazioni di viaggi casa-lavoro del progetto Halifax STAR ottenuti con il tracciamento GPS per georeferenziare le posizioni per un periodo di 48 h.

Il toolkit dell'analisi della scelta del percorso è stato progettato per eseguire una funzione di base , la quale genera una serie di variabili che descrivono le caratteristiche del viaggio.

Le variabili utilizzate sono molteplici: si parte dal tempo e dalla distanza, dal numero di alternative. Vengono considerati i livelli di congestione, i sensi unici, le intersezioni, gli stop, i semafori, le svolte a destra e a sinistra per arrivare ad oltre 40 variabili.

Nel progetto Halifax STAR (Space-Time Activity Research) sono state intervistate famiglie nella municipalità regionale di Halifax, in Nova

Scotia, Canada tra l'aprile 2007 e il maggio 2008. Papinski e Scott hanno dimostrato l'utilità del loro toolkit analizzando i percorsi osservati per 237 conducenti di auto che non fanno fermate supplementari nei loro spostamenti casa-lavoro.

Papinski e Scott verificano e confrontano i percorsi osservati con il percorso più breve.

Le tecnologie di localizzazione, come il GPS, permettono di raccogliere dati con scale spaziali e temporali molto precise. Il GPS permette di osservare i viaggi, fornendo una registrazione della posizione a intervalli regolari con grande precisione. I dispositivi mobili come smartphone, navigatori e Bluetooth forniti di ricevitori GPS sono in grado di monitorare gli individui e i veicoli.

Vari studi hanno dimostrato che i dati GPS possono essere usati per dedurre lo scopo del viaggio, ricostruire modelli di viaggio per gli studi di congestione (Wolf e al, 2001.; Faghri e Hamad, 2002).

Il progetto Halifax STAR ha utilizzato il GPS ma anche un'intervista telefonica.

A ciascun utente che ha risposto all'intervista è stato fornito un navigatore e per due giorni sono stati monitorati i suoi spostamenti e alla fine ha compilato un questionario cartaceo. Infine un'ulteriore intervista telefonica è stata condotta dopo che il periodo di 2 giorni è stato completato. Successivamente sono stati effettuati una serie di controlli per garantire che non vi fossero dati mancanti. Nei casi in cui vi erano dei conflitti tra i dati forniti dalle interviste e quelli del GPS, il partecipante è stato contattato per ulteriori chiarimenti. Questa ridondanza tra i dati ha garantito un elevato grado di qualità degli stessi.

Nel caso di dati di scarsa qualità contenenti segmenti di percorso mancanti o bassa qualità del segnale GPS, questi dati sono stati eliminati.

Il toolkit dell'analisi della scelta del percorso è costituito da due parti. La prima è rappresentata dalle funzioni "Network Analyst" che permettono di trovare il percorso migliore in base alla caratteristica di

interesse, creare matrici di costo di origine-destinazione e modelli per la scelta del percorso. La seconda parte è composta dalle funzioni spaziali e di attributo. Queste generano statistiche descrittive che sono calcolate sulla base di limiti di velocità, distanza percorsa e l'ammontare del tempo e dello spazio lungo uno specifico tipo di percorso.

L'analisi empirica è basata su tre tipi di itinerari: quello osservato, il percorso più breve in base alla distanza e il più breve percorso basato sul tempo di viaggio.

Un confronto tra i percorsi osservati e i loro corrispondenti percorsi più brevi mostra differenze significative tra i diversi attributi.

Papinski e Scott hanno riscontrato che i percorsi osservati sono significativamente più lunghi in termini di tempo e distanza rispetto alle loro alternative di percorso più brevi basate sul tempo. Lo stesso vale quando si confrontano i percorsi osservati alle loro alternative più brevi in base alla distanza. Tali risultati suggeriscono che i percorsi osservati non sono ottimizzati, questo perché gli individui possono scegliere itinerari basati su diverse caratteristiche dei percorsi. Anche se lo spostamento casa-lavoro è relativamente vincolato spazialmente e temporalmente, le differenze suggeriscono che gli attributi dei percorsi osservati si discostano significativamente rispetto ai cammini minimi: ciò implica che fattori diversi dal tempo o distanza svolgono un ruolo significativo nelle decisioni di scelta del percorso.

La composizione dei percorsi di distanza più breve è diversa rispetto ai percorsi osservati. Misurando in termini di distanza autostrade e superstrade esse comprendono solo il 34% degli itinerari di distanza più breve rispetto al 44% dei percorsi osservati. I percorsi con distanze più brevi hanno meno strade a senso unico rispetto ai percorsi osservati.

I percorsi che riducono al minimo il tempo di viaggio tendono a seguire superstrade (24% della distanza) e, in misura minore, autostrade (21% del tragitto percorso). Questa tendenza si inverte

per i percorsi osservati (16% della distanza per superstrade, il 28% della distanza per autostrade). Gli itinerari più brevi in termini di tempo hanno meno strade a senso unico rispetto ai percorsi osservati.

Il toolkit calcola la distanza in linea retta tra un'origine e una destinazione. Questa è utilizzata per ricavare l'indice di immediatezza del percorso (RDI) per un dato percorso, sia se il percorso viene osservato o è basato su un percorso più breve. L'indice di immediatezza del percorso misura la tortuosità del percorso, che, per un percorso osservato, dipende dal comportamento di un individuo e dalla configurazione del rete stradale.

Le misure del percorso sono in base al comportamento di un individuo e alla configurazione della rete stradale. Se si confronta il valore dell'indice di un percorso osservato e quello di uno più breve si rivela come sia efficiente un percorso osservato. Questa misura di efficienza è legata direttamente al comportamento di un individuo.

C'è una differenza statisticamente significativa tra percorsi osservati e le loro alternative più brevi. Ad esempio, i percorsi più brevi in base al tempo e alla distanza hanno valori medi di indice rispettivamente di 1,38 e 1.34. Questi valori indicano che tali percorsi sono, in media, il 38% e il 34% più lunghe rispetto la retta di distanza in linea tra origine e destinazione. In confronto, il valore medio RDI per le rotte osservate è 1.53. Ciò implica che tali rotte sono il 15% e il 19% meno efficienti rispetto alle loro alternative del percorso più breve.

I risultati di questa dimostrazione del toolkit RCA suggeriscono che le persone non scelgono necessariamente i percorsi che minimizzano tempo o distanza da percorrere. A sua volta, questo influenza i livelli di congestione del traffico, i livelli di emissioni e di consumo del carburante delle automobili.

I risultati di questa ricerca indicano che i percorsi più brevi non rappresentano con precisione i percorsi osservati per i pendolari casa-lavoro.

In media, i percorsi osservati sono significativamente più lunghi in termini di tempo e distanza rispetto alle loro alternative di cammino minimo . Ciò implica che gli algoritmi basati sui percorsi più brevi non possono rappresentare adeguatamente le reali decisioni di scelta del percorso.

Papinski e al (2008) presentano un'analisi che si basa su un piccolo ma approfondito studio di 31 individui provenienti da Kitchener-Waterloo, Ontario, Canada, raccolti da giugno a settembre 2007. Questo documento esamina in particolare 21 spostamenti in auto che rappresentano i tratti casa-lavoro. La raccolta dei dati si compone di tre parti: pre-intervista, osservazioni utilizzando il GPS e il supporto di hardware, e post-intervista.

L'intervista iniziale chiede informazioni sulle attività previste e viaggi per il successivo periodo di due giorni. Ciò si ottiene utilizzando cinque diversi metodi di raccolta dati: questionario carta e penna, registrazione audio, un diario di viaggio compilato sul web, la pianificazione del percorso utilizzando un sistema informativo geografico e un'indagine sulla scelta di percorso.

Il primo passo è quello di raccogliere informazioni socio-economiche e demografiche di base sui partecipanti. Durante l'intervista, agli intervistati viene chiesto di descrivere ciò che hanno pianificato in termini di attività e spostamenti nei successivi due giorni. Il lavoro è un'attività pianificata come il percorso per raggiungere il luogo di occupazione. Il pendolarismo casa-lavoro è al centro di indagini a causa della sua relativa costanza spazio-temporale. I soggetti hanno quindi registrato i loro eventi in programma. Le registrazioni audio sono utilizzate come strumento di supporto per acquisire ulteriori informazioni.

In seguito viene effettuato un sondaggio con una serie di domande complete sulla scelta del percorso destinate a comprendere le ragioni che portano il guidatore a scegliere il percorso pianificato. All'utente vengono fatte sei domande: domanda a risposta aperta su quali attributi influenzano la scelta del percorso, fornire una classifica di

importanza dei vari attributi, descrivere il primo tratto di strada previsto per il percorso pianificato, elencare la sequenza di pianificazione del percorso, selezionare gli attributi di scelta applicabili al percorso (abitudine, comfort, ecc.) e infine una domanda aperta riguardante eventuali motivi non espressamente specificati nelle precedenti domande.

La prima domanda chiede al partecipante di descrivere le ragioni per cui sceglie il percorso pianificato. Questa domanda aperta consente agli intervistati di commentare le loro preferenze di scelta degli itinerari senza alcuna restrizione. Questo riduce la distorsione dell'indagine, consentendo al soggetto di descrivere volontariamente il proprio percorso pianificato e le sue caratteristiche. Nella seconda domanda si chiede agli intervistati di classificare un insieme di attributi predeterminati del percorso di scelta. Questi attributi includono: tempo, distanza, segnali di stop, semafori, svolte a sinistra e a destra, la congestione, l'estetica, l'immediatezza del percorso, strade dritte lineari, strade curvilinee, strade locali, strade principali, autostrade e superstrade.

Papinski e al (2008) hanno calcolato un indice basato sulla classifica degli attributi della scelta di percorso fatta dai partecipanti. Questo è calcolato pesando le scelte di rango per il numero di risposte in ogni categoria. Per esempio, se tutti i partecipanti dichiarano che la loro prima scelta è cercare di minimizzare il tempo di viaggio allora il valore di rango sarà 1.0. Se la metà dei partecipanti selezionano il tempo di viaggio come prima scelta, mentre l'altra metà selezionano il tempo di viaggio come la loro seconda scelta il valore di rango per il tempo di viaggio salirà a 1,5. Se tutti i partecipanti selezionano tempo di viaggio come la loro seconda scelta il valore di rango sarà 2.0 e così via. Un valore di rango inferiore dimostra che un gran numero di partecipanti classificano l'attributo come molto importante.

Le domande tre e quattro esplorano la sequenza di pianificazione del percorso. Viene chiesto ai partecipanti di ricostruire mentalmente la sequenza di tratti che compongono il percorso.

Nella domanda quattro, ai partecipanti viene chiesto quale parte del percorso viene pianificata come prima, seconda, terza e così via.

Questo viene fatto per fini comparativi in quanto alcuni utenti possono avere solo tre strade che compongono il percorso mentre altri potrebbero averne anche più di 10.

La domanda cinque chiede quali attributi non riguardanti caratteristiche della rete si applicano alla selezione della scelta del percorso pianificato. Questo elenco include comfort, comodità, abitudine, conoscenza locale del percorso, di routine, la sicurezza, scopo del viaggio. Infine, il quesito sei prevede la possibilità che gli intervistati aggiungano qualche cosa che potrebbe essere stato omissso nelle precedenti domande. Questa domanda aperta colma alcune lacune delle altre domande precedenti per la scelta del percorso pianificato.

La seconda parte dell'indagine riguarda la raccolta dei dati che viene effettuata tramite ricevitori GPS mobili e altri dispositivi.

In particolare, questi dispositivi vengono utilizzati per registrare la scelta del percorso osservato. L'attrezzatura portata da ogni intervistato è costituita da uno smartphone in modalità wireless collegato ad un ricevitore GPS Bluetooth. Le prestazioni e lo stato delle apparecchiature sono stati monitorati attraverso il server per tutto il periodo di studio di due giorni.

Questo ha consentito il monitoraggio di un guasto, come batteria, crash del software o problemi della trasmissione dei dati.

Prima della post-intervista, i dati vengono elaborati sulla base di un algoritmo automatico con le loro coordinate di posizione e percorso.

L'algoritmo elabora i dati GPS e del diario online con attività e viaggi. Gli eventi contengono informazioni sulla posizione insieme ad una memoria che descrive le attività. I viaggi sono identificati con tempi di inizio e fine e modalità di trasporto. Durante la post-intervista, i soggetti devono verificare il diario e aggiungere, eliminare o modificare qualsiasi evento erroneamente rilevato.

Questo assicura che la scelta del percorso osservato sia correttamente identificata sulla base delle informazioni raccolte dalle rilevazioni GPS e dall'utente nella pre e post-intervista.

In questo studio Papinski e al (2008) spiegano come possono essere pianificate ed eseguite le decisioni di scelta del percorso. La pianificazione può essere classificata in quattro categorie: pianificazione in sequenza, pianificazione intorno alle principali arterie di trasporto, pianificazione mista o nessuna pianificazione. Gli individui che pianificano lo spostamento casa-lavoro in sequenza, elencano semplicemente le strade in sequenza per il loro viaggio. Il secondo gruppo descrive la sequenza di pianificazione del percorso intorno ad importanti arterie di trasporto.

Considerando tutte le osservazioni fatte dagli intervistati durante le interviste pre e post sul percorso casa-lavoro, Papinski e al (2008) hanno suddiviso in due stili distinti la pianificazione del percorso: quelli che considerano il loro pendolarismo casa-lavoro sequenziale e chi pianifica il proprio percorso intorno alle principali vie di trasporto.

Un altro aspetto dello studio riguarda gli attributi della scelta del percorso. Circa la metà degli intervistati ha dichiarato che ridurre il tempo di viaggio è il fattore più importante nel decidere la scelta del percorso. Questo è seguito da massimizzare l'immediatezza del percorso e dalla minimizzazione della congestione incontrata lungo il percorso. Papinski e al (2008) hanno notato che le risposte pre e post-intervista differivano leggermente: ad esempio nella pre-intervista gli utenti hanno indicato i semafori come un fattore significativo nella scelta del percorso. Inoltre, la minimizzazione della distanza non era considerata importante nel colloquio preliminare, tuttavia, la sua importanza è affermata nel post-intervista. Vi sono state chiaramente delle differenze nelle preferenze di scelta degli itinerari tra le pre e post-interviste. Questo può essere attribuito ad alcuni fattori. In primo luogo, gli intervistati possono avere una varietà di preconetti durante il colloquio preliminare su quali siano gli attributi più importanti. La considerazione fatta sui semafori è

l'esempio di un attributo che viene subito in mente quando si seleziona o pianifica un percorso. Dopo aver completato l'intervista e intrapreso lo spostamento casa-lavoro, i partecipanti possono cambiare la loro percezione sull'importanza di ogni attributo di scelta del percorso e quindi cambiare la loro risposta.

Minimizzare il tempo di viaggio, la distanza, la presenza di semafori e segnali di stop sono classificati come gli attributi più importanti. Le risposte al sondaggio hanno dimostrato che il tempo di viaggio è il fattore più importante per la scelta del percorso tra casa e lavoro.

Papinski et al (2008) hanno realizzato un confronto tra i dati di viaggio previsti e quelli osservati. Ad esempio sui tempi di inizio e fine viaggio previsti e osservati vi sono differenze. I tempi di avvio programmati tendono a essere precedenti a quelli del viaggio osservato.

In generale, i risultati mostrano che circa il 94% dei partecipanti hanno registrato tempi programmati entro 15 minuti del loro tempo osservato, mentre per il 78% dei partecipanti il viaggio osservato ha inizio e fine entro 5 minuti rispetto al tempo programmato.

Papinski et al (2008) hanno paragonato la scelta del percorso osservato con la scelta del percorso pianificato grazie alla capacità di monitoraggio dei ricevitori GPS mobili. I risultati mostrano che il 20% dei partecipanti hanno deviato dal loro percorso pianificato. Le discussioni nella post-intervista hanno rivelato che le deviazioni rilevate si sono verificate per una serie di ragioni, che vanno dall'intenzione di esplorare un nuovo percorso per abbreviare i tempi di viaggio, al cambiamento dello stato del guidatore o a lievi cambiamenti di percorso per economicità. Le distanze medie dei viaggi per l'intera indagine sono state di 13,9 km, con tempi di percorrenza medi di 17.5 min. I risultati indicano che gli spostamenti casa-lavoro non dovrebbero sempre essere considerati spazialmente fissi. I percorsi osservati che hanno deviato dall'originale percorso pianificato si discostano in media di 2,6 km rispetto alla distanza media.

Lo studio ha anche indicato che un quinto dei partecipanti si discostano dal loro percorso pianificato.

I partecipanti che avevano lunghezze di viaggio minori (da 5,0 a 7,1 km di lunghezza) hanno cambiato maggiormente il loro percorso. Questi utenti hanno effettuato viaggi molto più brevi rispetto alla lunghezza media dei percorsi di 13,9 km.

Papinski et al (2008), in base ai dati spaziali in loro possesso, hanno considerato plausibile che i guidatori siano più propensi a deviare su viaggi brevi perché hanno maggiore conoscenza delle strade locali e quindi hanno diverse alternative a seconda delle situazioni di traffico e delle preferenze personali. Al contrario, le persone hanno una conoscenza più limitata per i viaggi a lunga distanza. Questi viaggi di solito sono effettuati su autostrade e superstrade e quindi gli utenti sono limitati a usare quel percorso specifico.

Papinski et al (2008) in conclusione hanno affermato che la combinazione di informazioni del diario di viaggio, della posizione rilevata utilizzando il GPS e dei dati spaziali contestuali è utile a fornire una descrizione completa della scelta del percorso.

Tuttavia, questo studio suggerisce che altri fattori influenzano le decisioni di scelta del percorso. Questo studio si è limitato a studiare solo i pendolari casa-lavoro. Questo è motivato dal desiderio di comprendere la stabilità e la flessibilità di scelta del percorso pianificato confrontati con i comportamenti di viaggio osservati. Alla luce dei risultati presentati dagli autori, scopi diversi di viaggio dovrebbero essere studiati. L'analisi di spostamenti per acquisti, per attività scolastiche e di altri viaggi discrezionali fornirebbe una più completa comprensione dei comportamenti di scelta del percorso.

### **Capitolo 3: Indagine sulle scelte di percorso**

La strategia dell'indagine è spesso utilizzata nello studio del comportamento di scelta del percorso dei guidatori. Le indagini consentono al ricercatore di analizzare il comportamento di scelta dell'itinerario direttamente dai dati raccolti. Un campione che rappresenta bene la popolazione nell'area di studio, potrebbe facilitare una migliore comprensione del comportamento dei guidatori e dei loro processi decisionali.

Il problema della scelta del percorso affrontato dagli automobilisti è complesso a causa del grande numero di possibili percorsi alternativi attraverso le reti stradali e gli articolati schemi di sovrapposizione tra le varie alternative di percorso.

Ci sono stati diversi studi che hanno raccolto interviste tra i guidatori con l'uso di questionari.

Per formulare il questionario in questo elaborato sono stati presi in considerazione due lavori: Abdel-Aty e al. (1995) e Prato et al. (2005).

Il questionario è composto da 19 domande che cercano di comprendere: quali siano gli aspetti che influenzano la scelta di percorso, quanto questi aspetti influenzino la scelta stessa e se i guidatori hanno delle alternative e quante.

I partecipanti al questionario sono un campione di 89 persone composto da 47 uomini e 42 donne. Tutti i partecipanti risiedono nella provincia di Verona.

I partecipanti sono suddivisi in 5 fasce d'età: i minori di 30 anni che comprende sia lavoratori che studenti; altri due gruppi compresi tra i 30-39 anni e 40-49 anni dove tutti gli intervistati sono lavoratori e generalmente sono le fasce d'età in cui le coppie hanno figli più piccoli e questo può influenzare ulteriormente gli spostamenti per accompagnare i figli a scuola o per attività extrascolastiche; la quarta e la quinta fascia

comprendono le persone tra i 50-59 anni e i maggiori di 60 che comprendono lavoratori e pensionati.

Dal questionario si possono ricavare risultati utili a definire quanto i singoli fattori studiati incidano sul comportamento dei guidatori e quando quest'ultimi debbano scegliere un percorso da intraprendere, piuttosto che un altro, per raggiungere la propria destinazione.

I quesiti posti agli intervistati vogliono fornire un'idea di quanto le scelte siano influenzate da diversi aspetti come la lunghezza del percorso, il tempo, l'economicità e la sicurezza e in che modo tali aspetti influenzino la scelta del percorso.

### **3.1 Questionario**

Il seguente questionario vuole identificare le preferenze e le abitudini dei guidatori nel momento in cui effettuano lo spostamento cercando di studiare i principali fattori che influenzano la scelta del percorso.

#### *1. Età*

- ☐ Meno di 30 anni
- ☐ Da 30 a 39 anni
- ☐ Da 40 a 49 anni
- ☐ Da 50 a 59 anni
- ☐ Oltre i 60 anni

#### *2. Sesso*

- ☐ Maschio
- ☐ Femmina

*3. Residente*

- ☐ Città
- ☐ Provincia

*4. Quale tipo di attività svolge?*

- ☐ Lavoratore
- ☐ Studente
- ☐ Nessuna

*5. Quale mezzo utilizza abitualmente per spostarsi?*

- ☐ Auto
- ☐ Motociclo
- ☐ Bicicletta
- ☐ Mezzi pubblici
- ☐ A piedi

SE LA RISPOSTA NON E' "AUTO" LA COMPILAZIONE DEL QUESTIONARIO E' TERMINATA

*6. Assumendo che utilizzi il percorso più frequente in condizioni di traffico tipiche, quanto è il suo tempo di viaggio per recarsi nel luogo di lavoro o studio?*

- ☐ meno 10 minuti
- ☐ tra 10 e 20
- ☐ tra 20 e 30
- ☐ tra 30 e 45
- ☐ tra 45 minuti e 1 ora
- ☐ più di 1 ora

*7. Per spostamenti lavorativo/scolastici quanto influenza la scelta del percorso il tempo?*

- ☐ molto poco
- ☐ poco
- ☐ indifferente
- ☐ abbastanza
- ☐ molto

*8. Per spostamenti di piacere (palestra, attività sportive, ...) quanto influenza la scelta del percorso il tempo ?*

- ☐ molto poco
- ☐ poco
- ☐ indifferente
- ☐ abbastanza
- ☐ molto

*9. Per effettuare acquisti o commissioni quanto influenza la scelta del percorso il tempo?*

- ☐ molto poco
- ☐ poco
- ☐ indifferente
- ☐ abbastanza
- ☐ molto

*10. Quanto risulta essere importante la sicurezza quando decide di scegliere un percorso per il suo spostamento?*

- ☐ molto poco
- ☐ poco
- ☐ indifferente
- ☐ abbastanza
- ☐ molto

*11. Quanto è importante ai fini della scelta del percorso la qualità e lo stato in cui si trova la strada?*

- ☐ molto poco
- ☐ poco
- ☐ indifferente
- ☐ abbastanza
- ☐ molto

*12. Per recarsi nel luogo di lavoro o di studio ha più di un'alternativa di percorso nello spostamento casa-lavoro o casa-studio?*

- ☐ Sì
- ☐ No

*13. Se ha risposto sì alla domanda precedente, qual è il numero di alternative di percorso che Lei effettivamente considera?*

- ☐ 2
- ☐ 3
- ☐ 4
- ☐ 5 o più

*14. Se ha risposto "sì" alla domanda 13, segue abitualmente lo stesso percorso per andare a lavoro, scuola o università?*

- ☐ mai
- ☐ raramente
- ☐ poco
- ☐ abbastanza
- ☐ spesso
- ☐ sempre

*15. E' preferibile scegliere percorsi che minimizzano la presenza di semafori.*

- ☐ Sono d'accordo
- ☐ Non sono d'accordo

*16. E' più piacevole guidare su grandi viali, piuttosto che in vie minori.*

- ☐ Sono d'accordo
- ☐ Non sono d'accordo

*17. Per spostamenti lavorativo/scolastici, quale di questi fattori influenza maggiormente la sua scelta di percorso?(1 sola risposta)*

- ☐ Sicurezza
- ☐ Lunghezza del percorso
- ☐ Economicità
- ☐ Tempo

*18. Per effettuare commissioni o acquisti, quale di questi fattori influenza maggiormente la sua scelta di percorso?(1 sola risposta)*

- ☐ Sicurezza
- ☐ Lunghezza del percorso
- ☐ Economicità
- ☐ Tempo

*19. Per spostamenti di piacere (attività sportive, divertimento...), quale di questi fattori influenza maggiormente la sua scelta di percorso?(1 sola risposta)*

- ☐ Sicurezza
- ☐ Lunghezza del percorso
- ☐ Economicità
- ☐ Tempo

## 3.2 Analisi dei risultati

Di seguito andremo a mostrare i risultati ottenuti sulla base delle risposte fornite dagli intervistati.

Per visualizzare i risultati è stato scelto di utilizzare gli istogrammi per evidenziare le differenze tra le risposte date.

Nell'analizzare i dati presenteremo ogni singola domanda in base a quattro criteri: il primo è quello di suddividere il campione in base alle 5 fasce d'età; nel secondo si divideranno i singoli aspetti in base al genere; il terzo criterio in relazione al luogo di residenza se in città o provincia; il quarto è in base all'attività se lavoratore o studente.

Per le domande 7 e 14 inoltre verrà esplicitato un quinto criterio ovvero il tempo di viaggio per spostamenti lavorativi o scolastici.

Nel grafico che segue mostriamo i risultati del questionario suddivisi in base all'età.

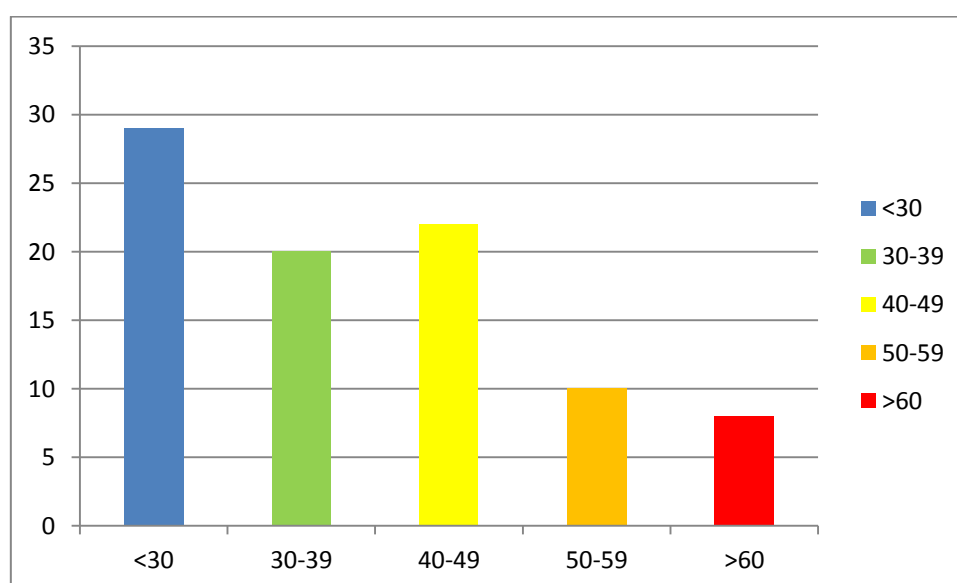


Figura 3.1: risultati del quesito 1.

Il nostro campione è composto da 29 under 30 anni, 20 intervistati compresi tra i 30-39 anni, 22 tra i 40-49 anni, 10 tra i 50-59 anni e 8 individui con età superiore ai 60 anni.

Come già detto in precedenza il nostro campione è composto da 47 uomini e 42 donne.

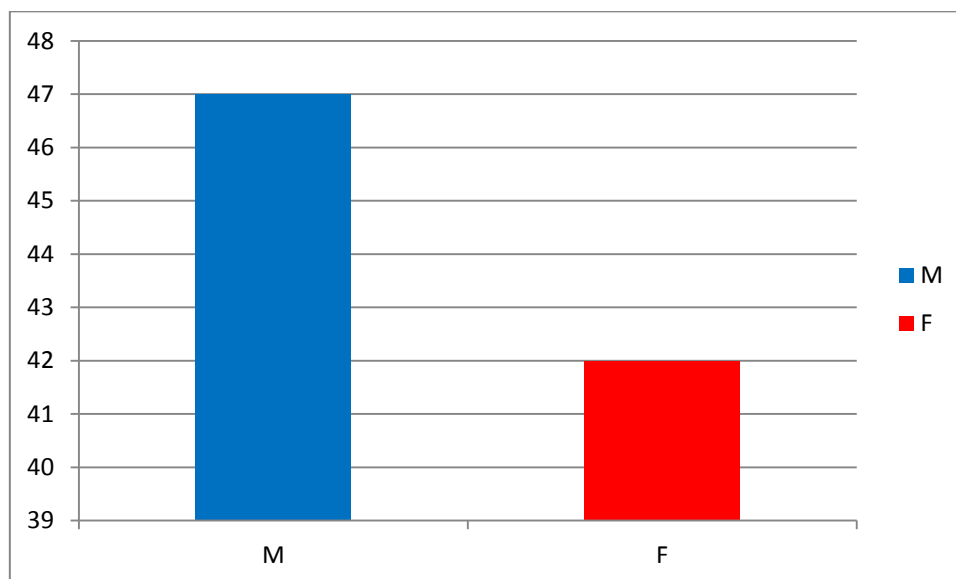


Figura 3.2: risultati del quesito 2.

I risultati del terzo criterio illustrano che 64 intervistati risiedono in città mentre 25 in provincia.

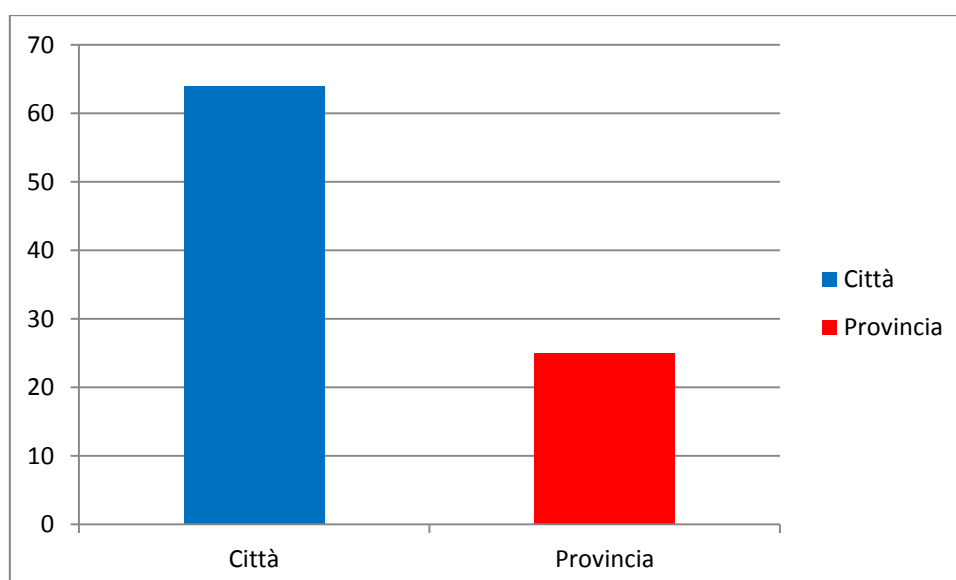


Figura 3.3: risultati del quesito 3.

Infine il criterio dell'attività suddivide gli intervistati in 72 lavoratori, 16 studenti e 1 individuo che ha selezionato l'opzione "Nessuna".

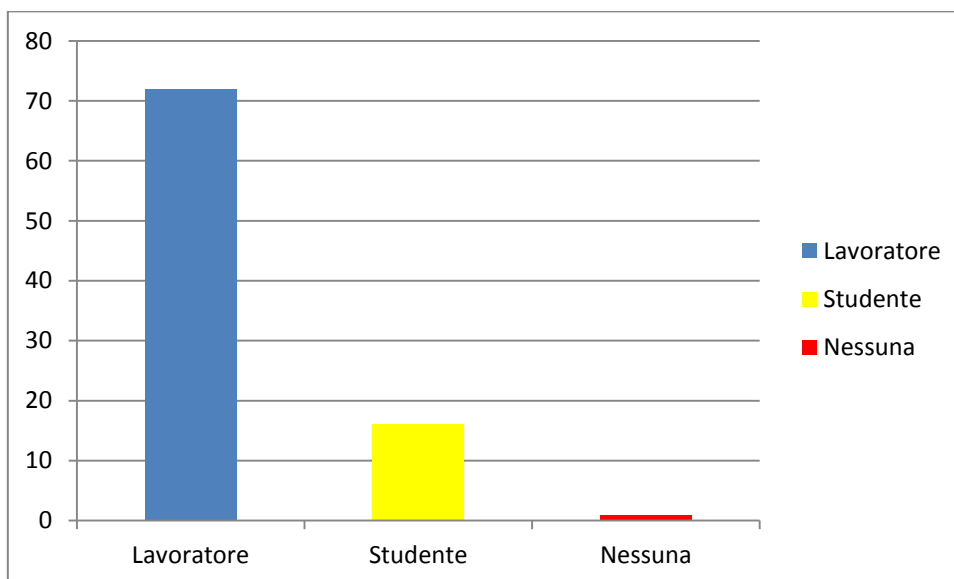


Figura 3.4: risultati del quesito 4.

Il quesito 5 chiede agli intervistati quale sia il mezzo che utilizzano abitualmente per spostarsi.

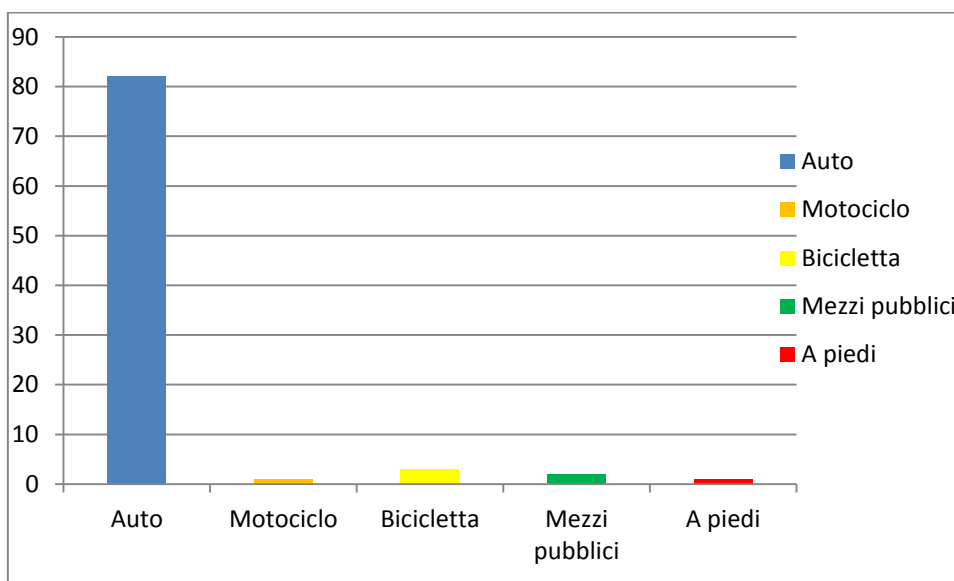


Figura 3.5: risultati del quesito 5.

82 degli intervistati hanno selezionato l'auto come mezzo di trasporto, 3 hanno scelto la bicicletta, 2 i mezzi pubblici e i restanti 2 rispettivamente motociclo e a piedi.

Questi ultimi 7 individui, come esplicito nel questionario, hanno terminato la compilazione a questa domanda. Quindi il campione, per le restanti domande, è stato diminuito in 82 individui.

Il quesito 6 chiede ai partecipanti, utilizzando il percorso più frequentemente usato, quanto è il tempo di viaggio per recarsi nel luogo di lavoro o studio.

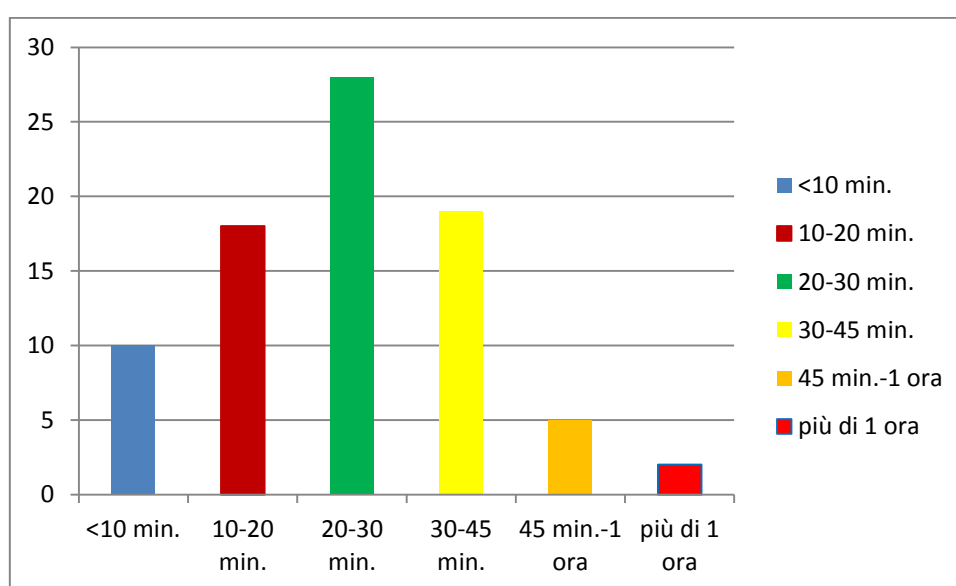


Figura 3.6: risultati del quesito 6.

Come si evince dal grafico 3.6, la maggior parte degli spostamenti casa-lavoro/studio si concentrano in un tempo di viaggio pari a 20-30 minuti. 28 persone hanno selezionato questa opzione.

In 10 hanno risposto alla domanda affermando che il loro spostamento dura meno di 10 minuti, in 18 tra i 10-20 minuti, in 19 tra i 30-45 minuti, in 5 tra 45 minuti e un'ora e in 2 più di 1 ora.

Per analizzare le singole domande riguardanti i criteri di scelta del percorso relativi ad ogni quesito verrà utilizzato il test Chi Quadrato per comprendere se effettivamente vi sia una correlazione tra le

caratteristiche soggettive delle persone (come età, sesso, residenza e attività) e le risposte date.

Questo è un test di verifica d'ipotesi usato in statistica che utilizza la variabile casuale  $\chi^2$  per verificare se l'ipotesi nulla è probabilisticamente compatibile con i dati. I risultati ottenuti nei campioni non sempre concordano con i risultati teorici attesi secondo le regole di probabilità. Lo scopo del test  $\chi^2$  è quello di valutare se le frequenze osservate differiscono significativamente dalle frequenze teoriche.

Se  $\chi^2 = 0$ , le frequenze osservate coincidono esattamente con quelle teoriche, e quindi non si può rifiutare l'ipotesi nulla di indipendenza statistica tra le caratteristiche oggetto di indagine. Se invece  $\chi^2 > 0$ , esse differiscono. Più grande è il valore di  $\chi^2$ , più grande è la discrepanza tra le frequenze osservate e quelle teoriche, e quindi diventa sempre più probabile che le variabili non siano indipendenti. Per conoscere i valori critici di  $\chi^2$  ad un determinato livello di significatività e con gli opportuni gradi di libertà ci si può avvalere della tabella riportata di seguito.

VALORI PERCENTILI ( $\chi^2_p$ ) PER LA DISTRIBUZIONE CHI-QUADRATO CON  $\nu$  GRADI DI LIBERTÀ

| $\alpha$ | $\alpha$   | $\alpha$   | $\alpha$   | $\alpha$   | $\alpha$   | $\alpha$   | $\alpha$   | $\alpha$   | $\alpha$   | $\alpha$   | $\alpha$   | $\alpha$   | $\alpha$   | $\alpha$   | $\alpha$   |
|----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 0.995    | 0.99       | 0.975      | 0.95       | 0.9        | 0.75       | 0.5        | 0.25       | 0.1        | 0.05       | 0.025      | 0.01       | 0.005      | 0.001      |            |            |
| $\nu$    | $\chi^2_p$ | $\chi^2_p$ | $\chi^2_p$ | $\chi^2_p$ | $\chi^2_p$ | $\chi^2_p$ | $\chi^2_p$ | $\chi^2_p$ | $\chi^2_p$ | $\chi^2_p$ | $\chi^2_p$ | $\chi^2_p$ | $\chi^2_p$ | $\chi^2_p$ | $\chi^2_p$ |
| 1        | 0.0000     | 0.0002     | 0.0010     | 0.0039     | 0.0158     | 0.102      | 0.455      | 1.323      | 2.706      | 3.841      | 5.024      | 5.635      | 7.879      | 10.827     |            |
| 2        | 0.0100     | 0.0201     | 0.0506     | 0.1026     | 0.211      | 0.575      | 1.386      | 2.773      | 4.605      | 5.991      | 7.378      | 8.210      | 10.597     | 13.815     |            |
| 3        | 0.0717     | 0.1148     | 0.2158     | 0.352      | 0.584      | 1.213      | 2.366      | 4.108      | 6.251      | 7.815      | 9.348      | 11.345     | 12.838     | 16.266     |            |
| 4        | 0.207      | 0.297      | 0.484      | 0.711      | 1.064      | 1.923      | 3.357      | 5.385      | 7.779      | 9.488      | 11.143     | 13.277     | 14.860     | 18.466     |            |
| 5        | 0.412      | 0.554      | 0.831      | 1.145      | 1.610      | 2.675      | 4.351      | 6.626      | 9.236      | 11.070     | 12.832     | 15.086     | 16.750     | 20.515     |            |
| 6        | 0.676      | 0.872      | 1.237      | 1.635      | 2.204      | 3.456      | 5.348      | 7.841      | 10.645     | 12.592     | 14.449     | 16.812     | 18.548     | 22.457     |            |
| 7        | 0.989      | 1.239      | 1.690      | 2.157      | 2.833      | 4.256      | 6.346      | 9.037      | 12.017     | 14.067     | 16.013     | 18.475     | 20.278     | 24.321     |            |
| 8        | 1.344      | 1.647      | 2.180      | 2.733      | 3.480      | 5.071      | 7.344      | 10.219     | 13.362     | 15.507     | 17.535     | 20.090     | 21.955     | 26.124     |            |
| 9        | 1.735      | 2.088      | 2.700      | 3.325      | 4.168      | 5.899      | 8.343      | 11.389     | 14.684     | 16.919     | 19.023     | 21.666     | 23.589     | 27.877     |            |
| 10       | 2.156      | 2.558      | 3.247      | 3.940      | 4.865      | 6.737      | 9.342      | 12.549     | 15.987     | 18.307     | 20.483     | 23.209     | 25.188     | 29.586     |            |
| 11       | 2.603      | 3.053      | 3.816      | 4.575      | 5.578      | 7.584      | 10.341     | 13.701     | 17.275     | 19.675     | 21.920     | 24.725     | 26.757     | 31.264     |            |
| 12       | 3.074      | 3.571      | 4.404      | 5.226      | 6.304      | 8.438      | 11.340     | 14.845     | 18.549     | 21.026     | 23.337     | 26.217     | 28.300     | 32.909     |            |
| 13       | 3.565      | 4.107      | 5.009      | 5.892      | 7.041      | 9.299      | 12.340     | 15.984     | 19.812     | 22.362     | 24.736     | 27.688     | 29.819     | 34.527     |            |
| 14       | 4.075      | 4.660      | 5.629      | 6.571      | 7.790      | 10.165     | 13.335     | 17.117     | 21.064     | 23.665     | 26.119     | 29.141     | 31.319     | 36.124     |            |
| 15       | 4.601      | 5.229      | 6.262      | 7.261      | 8.547      | 11.037     | 14.339     | 18.245     | 22.307     | 24.996     | 27.488     | 30.578     | 32.801     | 37.698     |            |
| 16       | 5.142      | 5.812      | 6.908      | 7.962      | 9.312      | 11.912     | 15.338     | 19.369     | 23.542     | 26.296     | 28.845     | 32.000     | 34.267     | 39.252     |            |
| 17       | 5.697      | 6.408      | 7.564      | 8.672      | 10.085     | 12.792     | 16.338     | 20.489     | 24.769     | 27.587     | 30.191     | 33.409     | 35.718     | 40.791     |            |
| 18       | 6.268      | 7.015      | 8.231      | 9.390      | 10.865     | 13.675     | 17.338     | 21.605     | 25.989     | 28.869     | 31.525     | 34.805     | 37.156     | 42.312     |            |
| 19       | 6.844      | 7.633      | 8.907      | 10.117     | 11.651     | 14.562     | 18.338     | 22.718     | 27.204     | 30.144     | 32.852     | 36.191     | 38.582     | 43.819     |            |
| 20       | 7.434      | 8.260      | 9.591      | 10.851     | 12.443     | 15.452     | 19.337     | 23.828     | 28.412     | 31.410     | 34.170     | 37.566     | 39.997     | 45.314     |            |
| 21       | 8.034      | 8.897      | 10.283     | 11.591     | 13.240     | 16.344     | 20.337     | 24.935     | 29.615     | 32.671     | 35.479     | 38.932     | 41.401     | 46.796     |            |
| 22       | 8.643      | 9.542      | 10.982     | 12.338     | 14.041     | 17.240     | 21.337     | 26.039     | 30.813     | 33.924     | 36.781     | 40.289     | 42.796     | 48.268     |            |
| 23       | 9.260      | 10.196     | 11.689     | 13.091     | 14.848     | 18.137     | 22.337     | 27.141     | 32.007     | 35.172     | 38.075     | 41.638     | 44.181     | 49.728     |            |
| 24       | 9.886      | 10.856     | 12.401     | 13.848     | 15.659     | 19.037     | 23.337     | 28.241     | 33.196     | 36.415     | 39.364     | 42.980     | 45.558     | 51.173     |            |
| 25       | 10.520     | 11.524     | 13.120     | 14.611     | 16.473     | 19.939     | 24.337     | 29.339     | 34.382     | 37.652     | 40.646     | 44.314     | 46.928     | 52.619     |            |
| 26       | 11.160     | 12.198     | 13.844     | 15.379     | 17.292     | 20.843     | 25.336     | 30.435     | 35.563     | 38.885     | 41.923     | 45.642     | 48.290     | 54.061     |            |
| 27       | 11.808     | 12.878     | 14.573     | 16.151     | 18.114     | 21.749     | 26.336     | 31.528     | 36.741     | 40.113     | 43.195     | 46.953     | 49.645     | 55.475     |            |
| 28       | 12.461     | 13.565     | 15.308     | 16.928     | 18.939     | 22.657     | 27.336     | 32.620     | 37.916     | 41.337     | 44.461     | 48.278     | 50.994     | 56.882     |            |
| 29       | 13.121     | 14.256     | 16.047     | 17.708     | 19.768     | 23.567     | 28.336     | 33.711     | 39.087     | 42.557     | 45.722     | 49.588     | 52.335     | 58.301     |            |
| 30       | 13.787     | 14.953     | 16.791     | 18.493     | 20.599     | 24.478     | 29.336     | 34.800     | 40.256     | 43.773     | 46.979     | 50.892     | 53.672     | 59.702     |            |
| 40       | 20.707     | 22.164     | 24.433     | 26.509     | 29.051     | 33.650     | 39.335     | 45.616     | 51.805     | 55.758     | 59.342     | 63.691     | 66.766     | 73.403     |            |
| 50       | 27.991     | 29.707     | 32.357     | 34.764     | 37.689     | 42.942     | 49.335     | 56.334     | 63.167     | 67.505     | 71.420     | 76.154     | 79.480     | 86.660     |            |
| 60       | 35.534     | 37.485     | 40.482     | 43.186     | 46.459     | 52.294     | 59.335     | 66.981     | 74.397     | 79.082     | 83.298     | 88.379     | 91.952     | 99.608     |            |
| 70       | 43.275     | 45.442     | 48.758     | 51.739     | 55.329     | 61.698     | 69.334     | 77.577     | 85.527     | 90.531     | 95.023     | 100.425    | 104.215    | 112.317    |            |
| 80       | 51.172     | 53.540     | 57.153     | 60.391     | 64.278     | 71.145     | 79.334     | 88.130     | 96.579     | 101.879    | 106.629    | 112.329    | 116.321    | 124.639    |            |
| 90       | 59.196     | 61.754     | 65.647     | 69.126     | 73.291     | 80.625     | 89.334     | 98.650     | 107.565    | 113.145    | 118.136    | 124.116    | 128.299    | 137.208    |            |
| 100      | 67.328     | 70.065     | 74.222     | 77.929     | 82.358     | 90.133     | 99.334     | 109.141    | 118.498    | 124.342    | 129.561    | 135.807    | 140.170    | 149.449    |            |

N.B.: il percentile  $p$  rappresenta la probabilità di non superamento e quindi è uguale a  $(1 - \text{il livello di significatività } \alpha)$

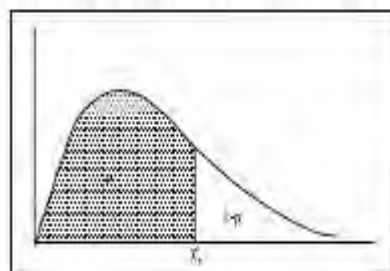


Figura 3.7: Valori percentili del test Chi Quadrato

A titolo esplicativo nel seguito verrà effettuato il test Chi Quadrato per cercare una correlazione tra la durata del tempo di viaggio casa-lavoro/studio (domanda 6) e il luogo di residenza (domanda 3).

Per effettuare il test bisogna costruire due tabelle: una in cui si rappresentano i risultati rilevati dal campione e la seconda contenente i valori teorici attesi nell'ipotesi di indipendenza.

| OSSERVATI | C  | P  | TOTALE |
|-----------|----|----|--------|
| <10       | 9  | 1  | 10     |
| 10-20 min | 18 | 0  | 18     |
| 20-30     | 26 | 2  | 28     |
| 30-45     | 4  | 15 | 19     |
| 45-1      | 1  | 4  | 5      |
| >1        | 1  | 1  | 2      |
| TOTALE    | 59 | 23 | 82     |

| ATTESI    | C        | P        | TOTALE |
|-----------|----------|----------|--------|
| <10       | 7,195122 | 2,804878 | 10     |
| 10-20 min | 12,95122 | 5,04878  | 18     |
| 20-30     | 20,14634 | 7,853659 | 28     |
| 30-45     | 13,67073 | 5,329268 | 19     |
| 45-1      | 3,597561 | 1,402439 | 5      |
| >1        | 1,439024 | 0,560976 | 2      |
| TOTALE    | 59       | 23       | 82     |

I valori sono calcolati sulla base dei totali di riga e di colonna dei valori osservati utilizzando la formula di probabilità (riportiamo l'esempio per la cella 1-1 che rappresenta quante persone residenti in città che hanno un tempo di viaggio inferiore ai 10 minuti):

$$\text{valore atteso} = \text{Tot(città)} * \text{Tot(<10)}/\text{Tot(campione)} = 59 * 10 / 82 = 7,19\%$$

Il procedimento viene applicato per trovare ogni singolo valore teoricamente atteso fino al completamento della tabella.

Ora si può calcolare il valore di  $\chi^2$  che ci serve per stabilire se sia presente o meno una correlazione statisticamente significativa tra le variabili considerate. Questo valore viene determinato dalla formula seguente:

$$\chi^2 = \sum_{ij} \frac{(O_{ij} - A_{ij})^2}{A_{ij}} \quad (3.1)$$

dove :

- $O_{ij}$  = valore osservato per la cella  $ij$  (incrocio di riga  $i$  e colonna  $j$ )
- $A_{ij}$  = valore atteso per la cella  $ij$

Inserendo i valori numerici otteniamo:

$$\chi^2 = 46,2$$

Ora si deve calcolare il grado di libertà:

$$\text{gdl} = (\text{n}^\circ \text{ righe} - 1) * (\text{n}^\circ \text{ colonne} - 1) = (6 - 1) * (2 - 1) = 5 \text{ gdl}$$

Nel caso specifico il valore di  $\chi^2$  è uguale a 46,2. Attraverso l'uso delle tabelle o degli strumenti di calcolo forniti dal foglio di lavoro Excel e conoscendo i gradi di libertà, riusciamo a stabilire se esiste la possibilità che queste risposte siano da considerarsi casuali o se, invece, siano correlabili ai diversi luoghi di residenza. In questo caso abbiamo che nello 0,0008% dei casi queste potrebbero essere considerate un risultato casuale, quindi l'ipotesi nulla viene respinta poiché la si rifiuta solo nel caso questa percentuale sia superiore al 5%. Di conseguenza possiamo affermare che esiste ovviamente una correlazione tra la residenza e il tempo di viaggio casa-lavoro/studio.

Si è deciso di formulare questo esempio per l'evidente correlazione che vi è tra questi parametri.

Per le domande successive si commenteranno solo i risultati ottenuti senza riscrivere l'intero procedimento e le tabelle dei valori osservati e di quelli attesi; il valore di Chi quadrato è stato calcolato per ogni singola domanda attraverso Excel.

Il test Chi Quadrato sarà effettuato sulle domande 7,8,9,10 e 14.

**DOMANDA 7:** Per spostamenti lavorativo/scolastici quanto influenza la scelta del percorso il tempo?

I risultati totali delle risposte sono rappresentati nel seguente istogramma.

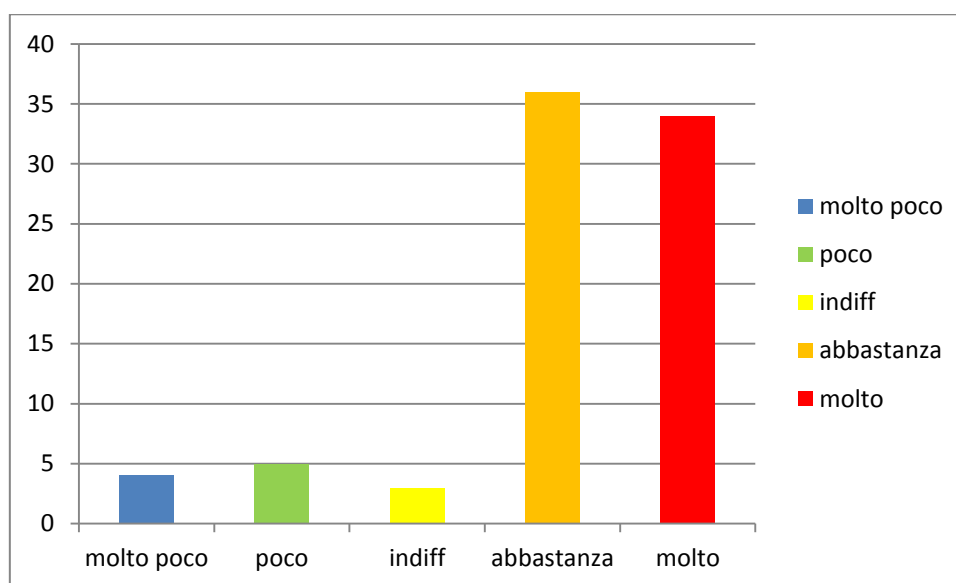
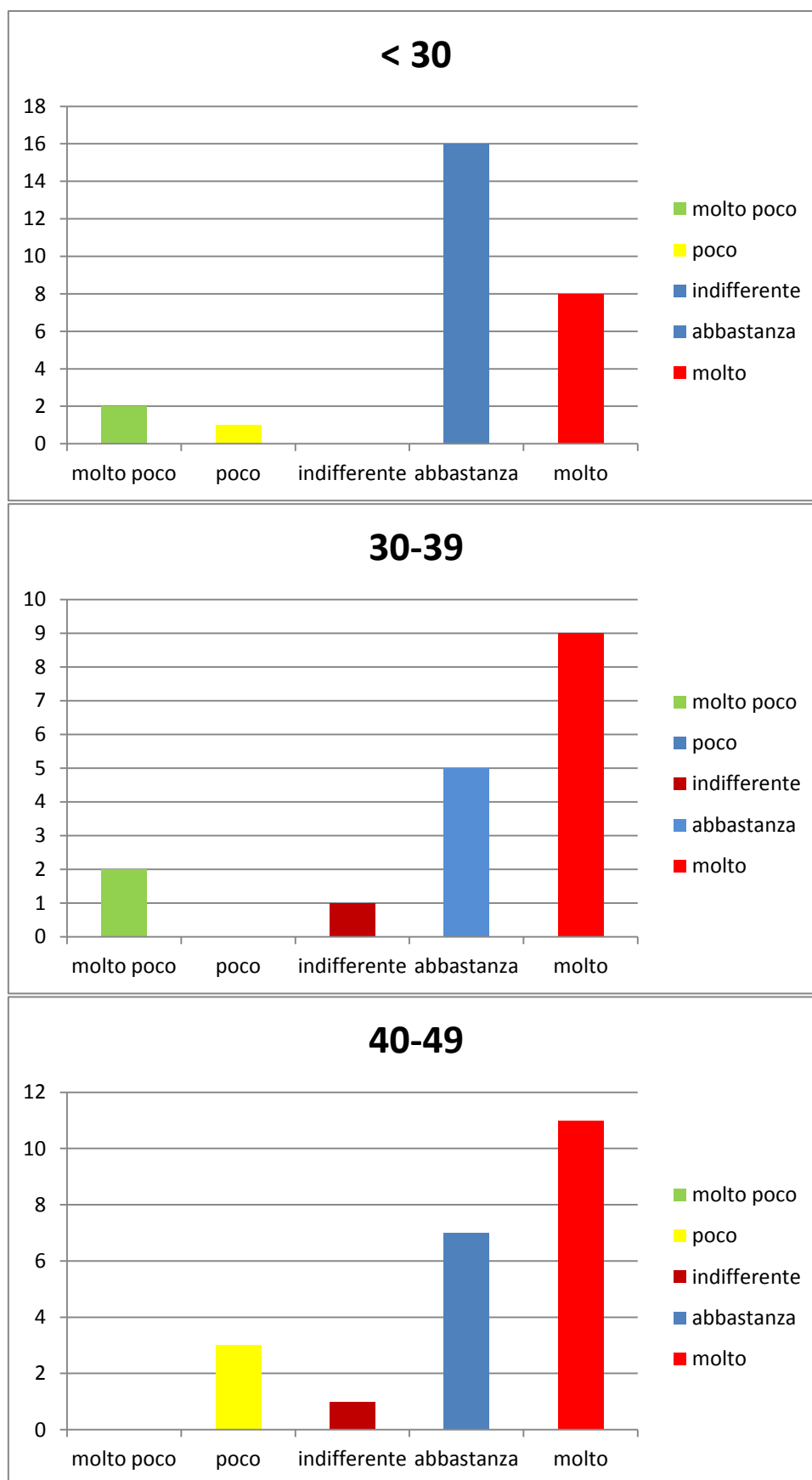


Figura 3.8: risultati del quesito 7.

Come si può evincere dal grafico, il tempo influenza la scelta del percorso per spostamenti casa-lavoro/studio per la maggior parte degli intervistati (70) che hanno scelto l'opzione "abbastanza" o "tempo".

Ora illustreremo i risultati in base ai 5 criteri.

## RISULTATI PER FASCIA D'ETA'



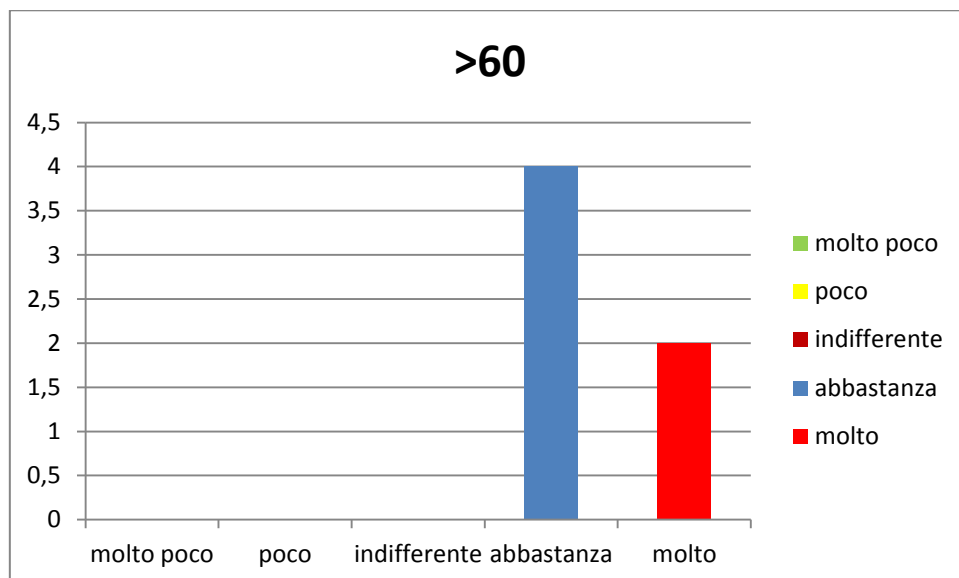
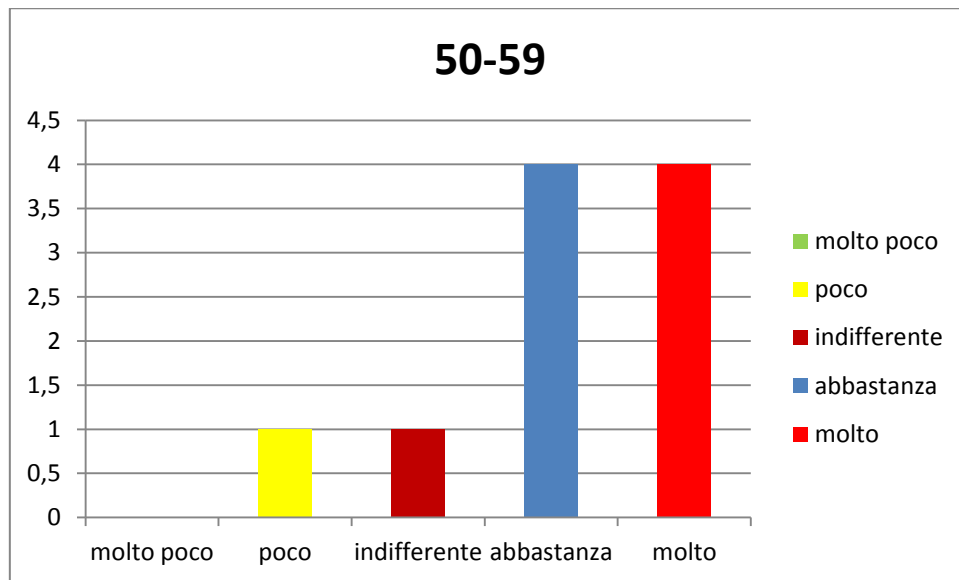


Figura 3.9: risultati correlazione tra età e quesito 7

Dai risultati ottenuti si può vedere che nella fascia d'età inferiore ai 30 anni, 16 individui sui 27 totali hanno scelto l'opzione "Abbastanza" mentre 8 hanno selezionato "Molto".

Nel gruppo 30-39 anni oltre la metà degli intervistati hanno scelto "Molto" mentre tra i 40-49 anni esattamente la metà ha scelto la stessa risposta. Per le altre due fasce d'età i risultati sono in linea con le ultime due.

Ciò sta a significare che non vi è una correlazione tra l'età e l'influenza del tempo di viaggio per spostamenti casa-lavoro/studio.

Infatti anche il test Chi Quadrato non dà significatività con una percentuale oltre il 5%.

#### RISULTATI PER GENERE

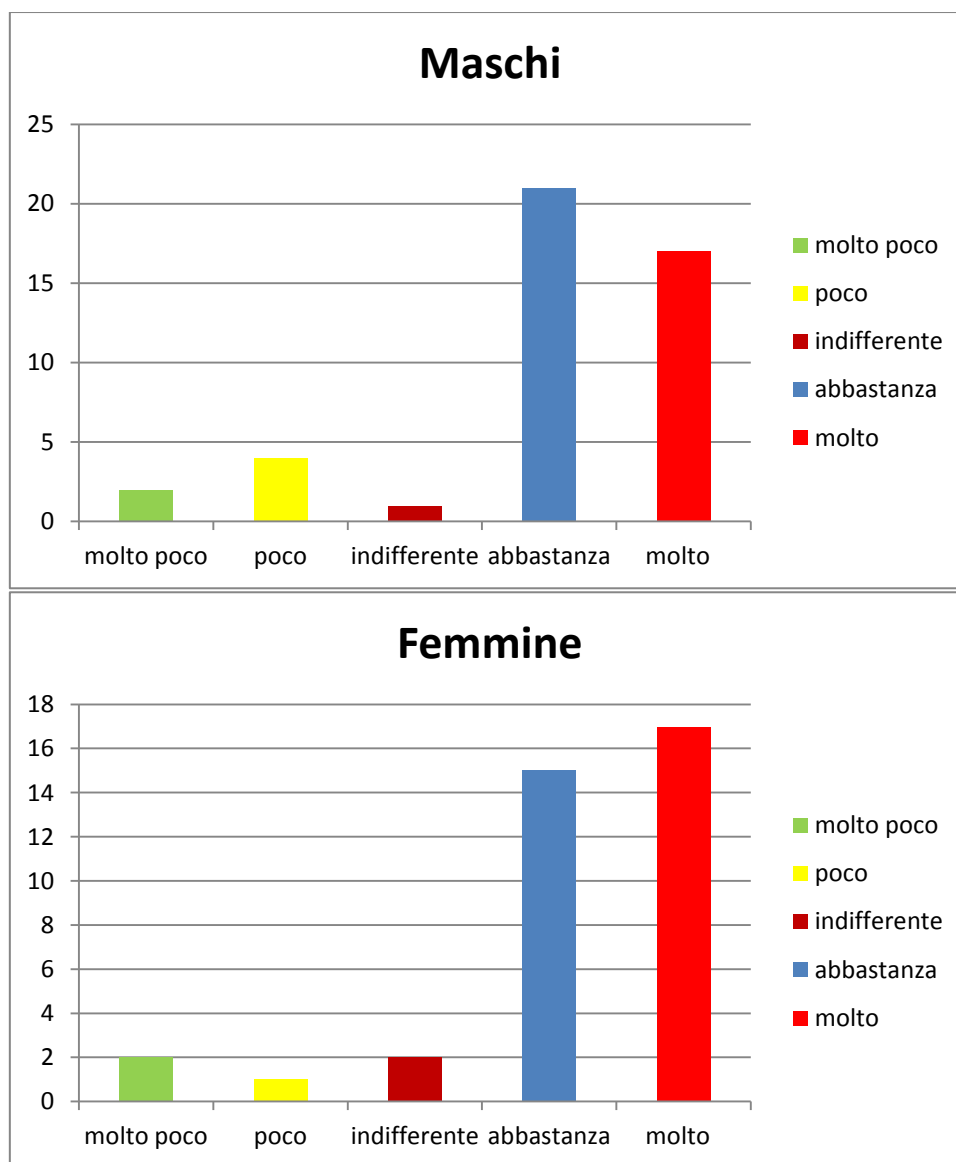


Figura 3.10: risultati della correlazione tra genere e quesito 7.

I risultati evidenziano una similarità tra i generi nella risposta al quesito. L'unica differenza sostanziale è che le donne hanno selezionato più volte la risposta "Molto" rispetto agli uomini che invece hanno scelto maggiormente l'opzione "Abbastanza".

Anche qui, non vi è correlazione tra il sesso e l'influenza del tempo di viaggio per spostamenti lavorativi o scolastici e la significatività risultata nel test Chi Quadrato è oltre il 5%.

#### RISULTATI PER RESIDENZA

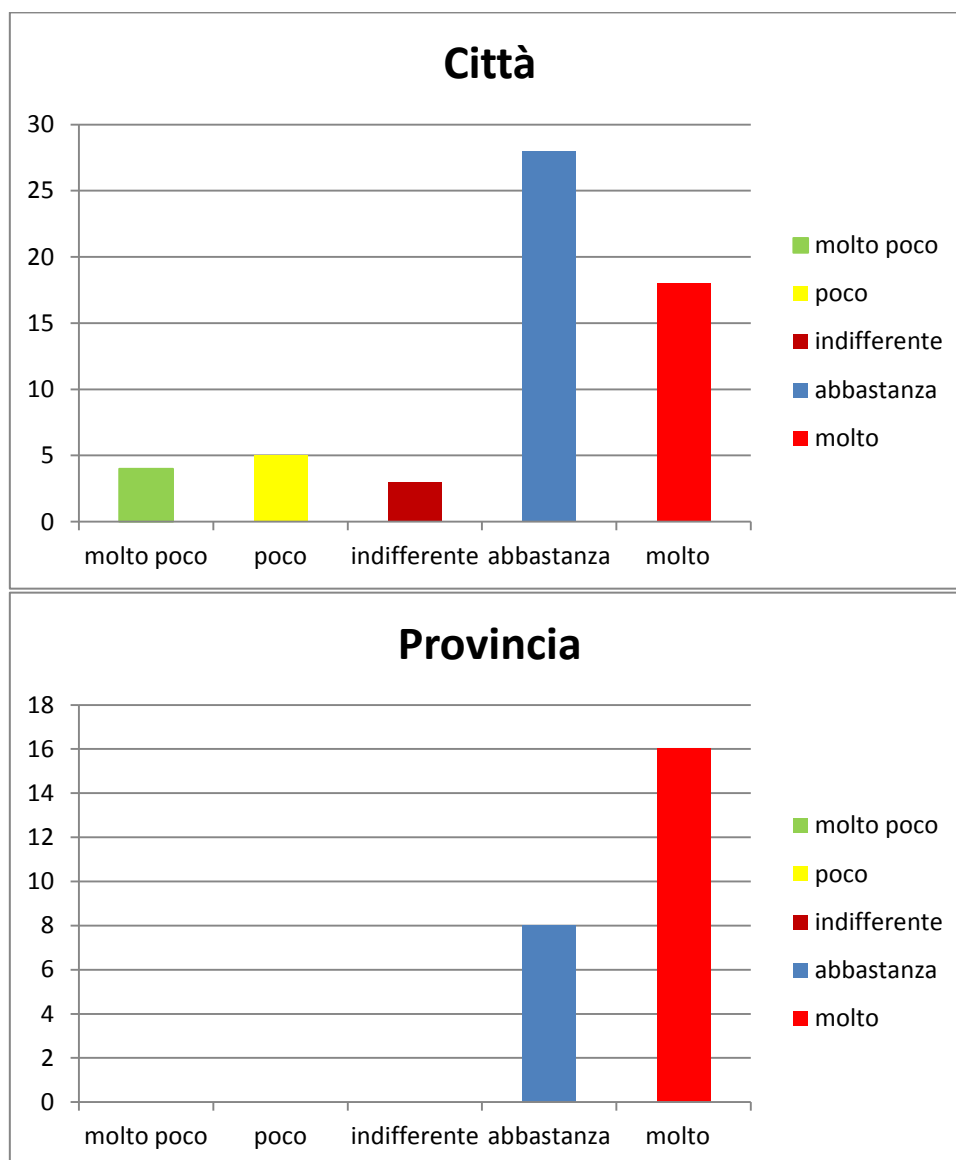


Figura 3.11: risultati correlazione tra residenza e quesito 7

Gli esiti che forniscono gli intervistati dal punto di vista del luogo di residenza sono interessanti. Infatti nessuno dei residenti in provincia ha selezionato le opzioni "Molto poco", "Poco" e "indifferente" e due terzi degli intervistati hanno scelto "Molto".

Mentre quasi la metà dei cittadini ha scelto la risposta "Abbastanza".

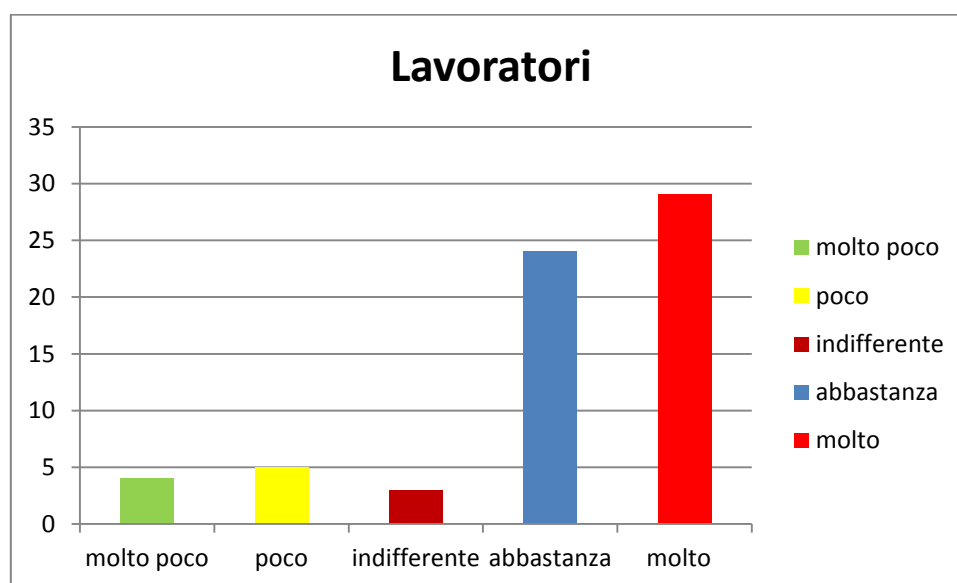
I risultati del test Chi Quadrato mostrano che vi è una correlazione tra residenza e il quesito 7.

Il valore di  $\chi^2$  è uguale a 11,03 e una significatività pari al 2,6% < 5%.

Questa percentuale sta ad indicare che solamente nel 2,6 % dei casi le risposte date dal nostro campione risultano essere casuali, quindi possiamo affermare che esiste una correlazione tra il luogo di residenza e le risposte fornite a questa domanda.

Questo risultato conferma che la bontà del test Chi Quadrato effettuato tra la residenza e il tempo di viaggio casa-lavoro/studio realizzato in precedenza.

## RISULTATI PER ATTIVITA'



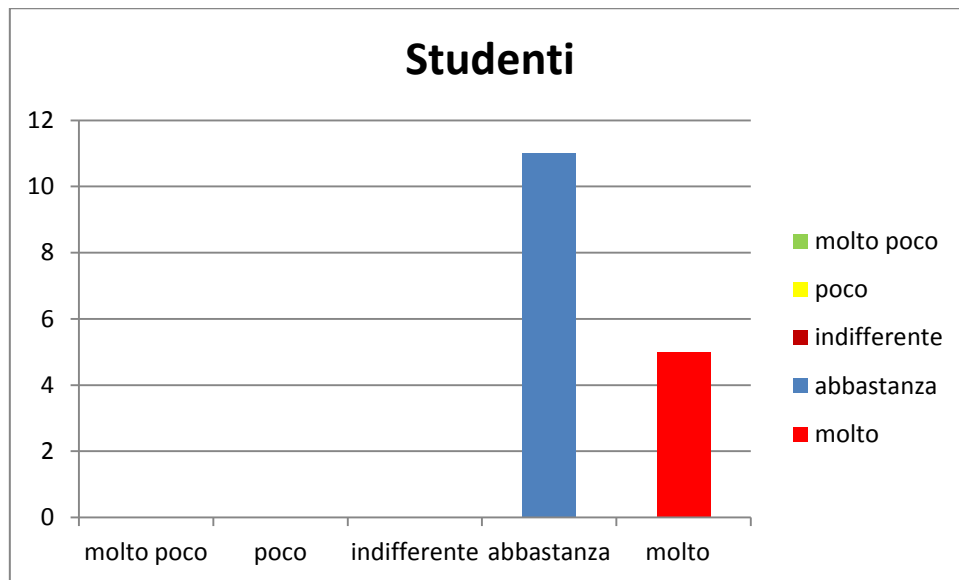


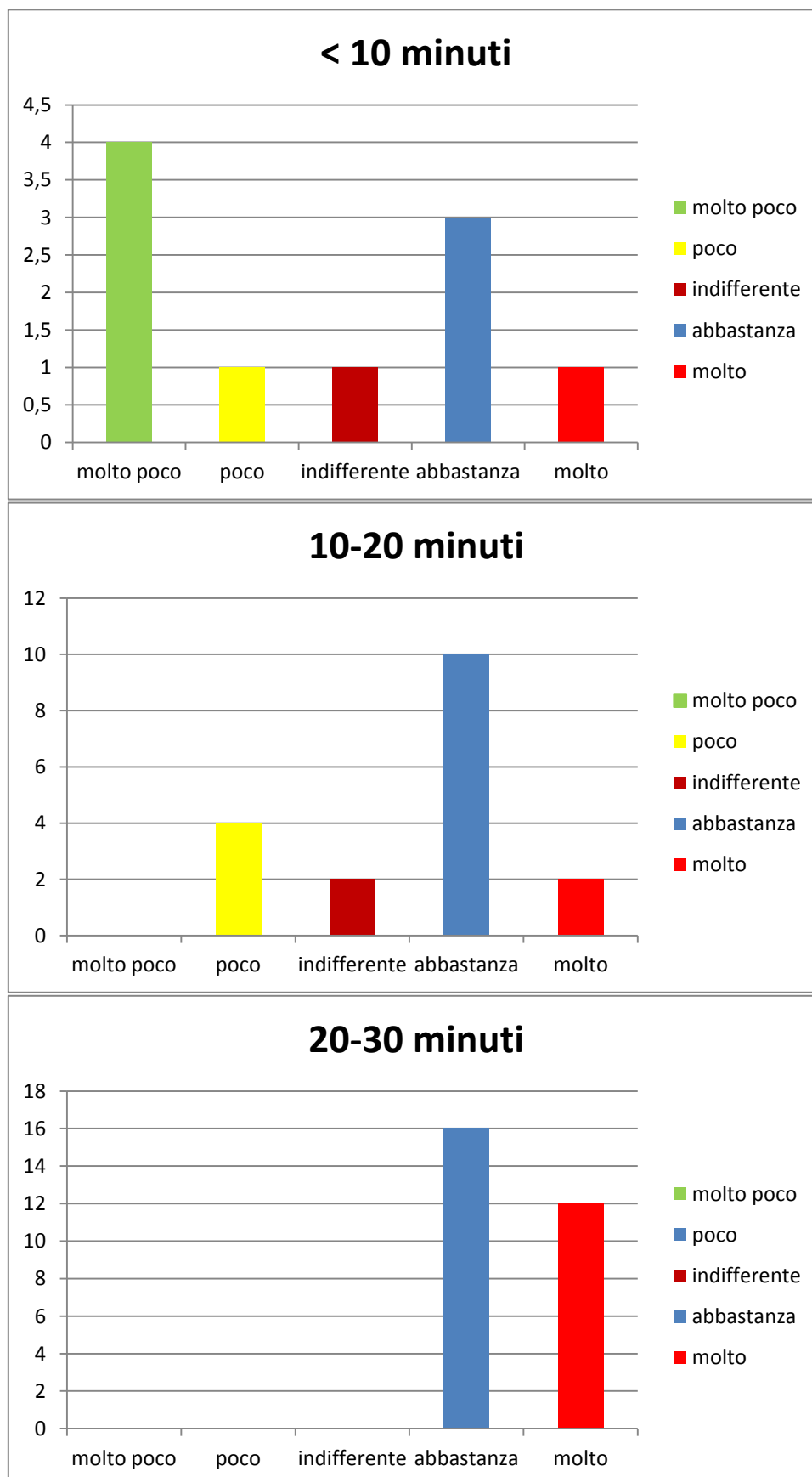
Figura 3.12: risultati correlazione tra attività e quesito 7

Per realizzare questo tipo di analisi l'unico individuo che ha scelto l'opzione "Nessuna" è stato escluso quindi il campione totale sarà di 81.

Si può dedurre dalla figura 3.12 come nessuno degli studenti ha selezionato le opzioni "Molto poco", "Poco" e "indifferente" e la maggior parte degli intervistati hanno scelto "Abbastanza", mentre i lavoratori hanno scelto in maggioranza (29 su 65) l'opzione "Molto" e in 24 "Abbastanza".

Effettuando il test Chi Quadrato, il valore di  $\chi^2$  è uguale a 6,51 e una significatività pari al 16,4% > 5%. Ciò dimostra che non vi è una correlazione tra l'attività e le risposte fornite a questa domanda.

## RISULTATI PER TEMPO DI VIAGGIO



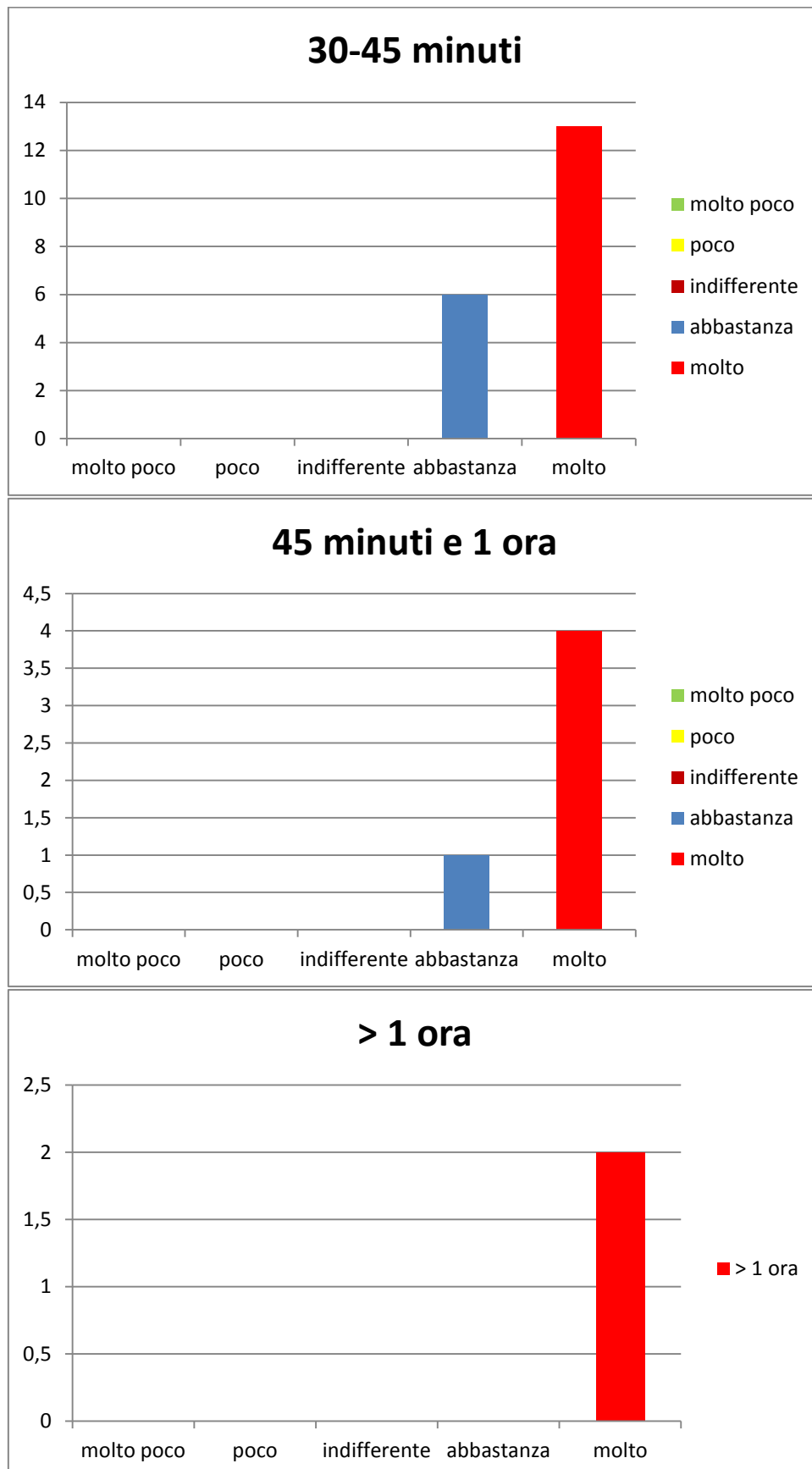


Figura 3.13: risultati correlazione quesiti 6 e 7

I risultati mostrano con immediatezza la correlazione tra il tempo di viaggio per spostamenti lavorativi o scolastici e quanto esso influenza la scelta del percorso.

Il 40% degli intervistati che hanno uno spostamento inferiore ai 10 minuti hanno risposto alla domanda 7 con "Molto poco". Per spostamenti oltre i 30 minuti la maggior parte dei guidatori ha risposto "Molto".

Il test Chi Quadrato risulta positivo e il valore di  $\chi^2$  è uguale a 41,55 e una significatività pari al 0,002% < 5% perciò è verificato che esiste una correlazione tra il tempo di viaggio per spostamenti lavorativi o scolastici e le risposte alla domanda in questione.

**DOMANDA 8:** Per spostamenti di piacere (palestra, attività sportive, ...) quanto influenza la scelta del percorso il tempo ?

I risultati totali della risposta sono rappresentati nel seguente istogramma.

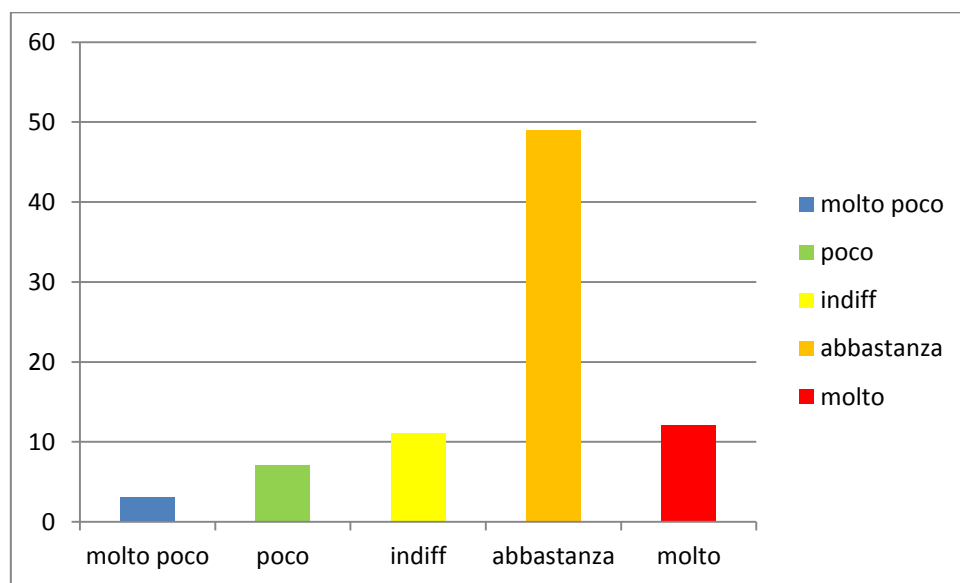
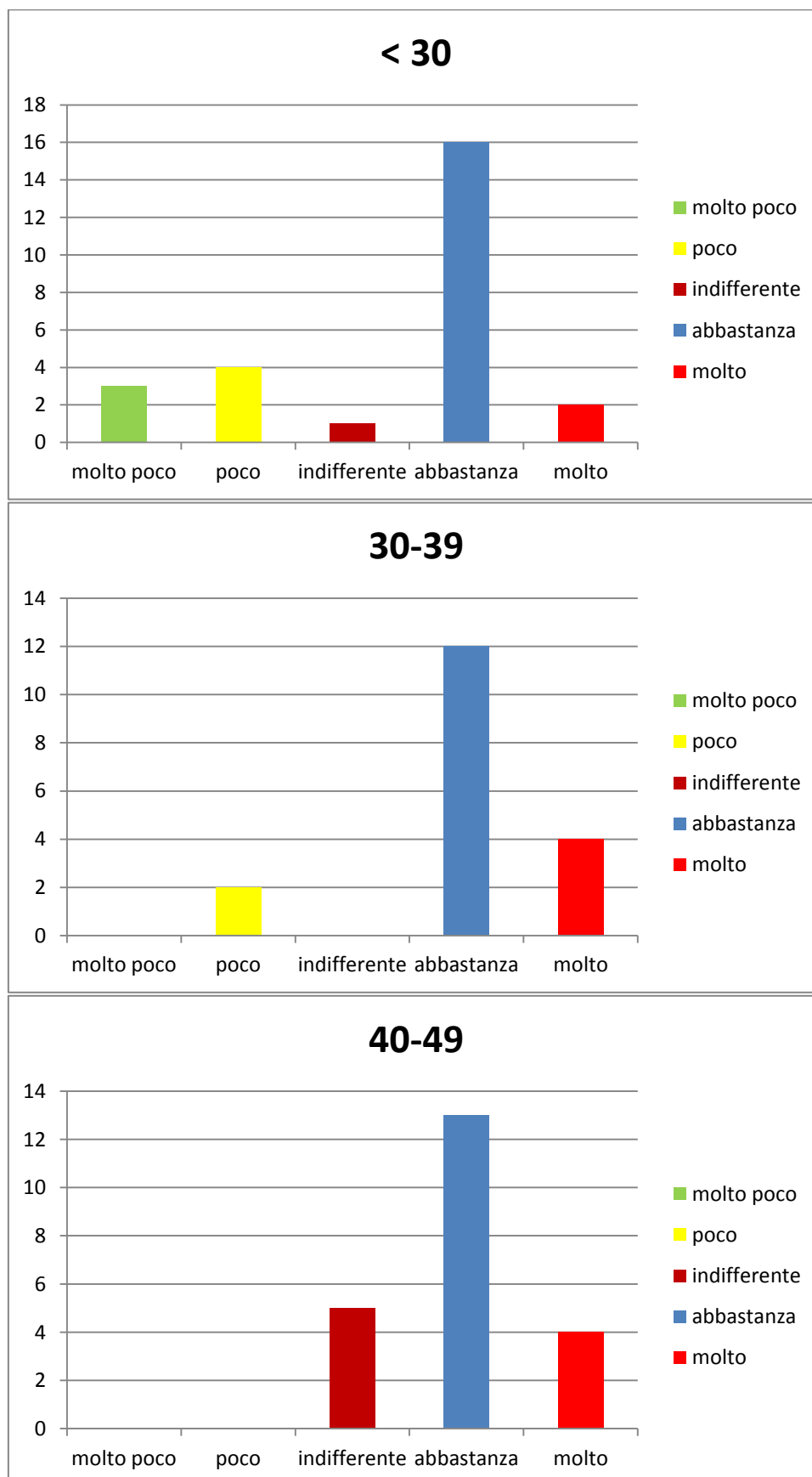


Figura 3.14: risultati al quesito 8.

Come si può ricavare dal grafico, il tempo influenza la scelta del percorso per spostamenti di piacere con la maggior parte degli intervistati (49) che hanno scelto l'opzione "abbastanza".

Ora illustreremo i risultati in base ai 4 criteri.

## RISULTATI PER FASCIA D'ETA'



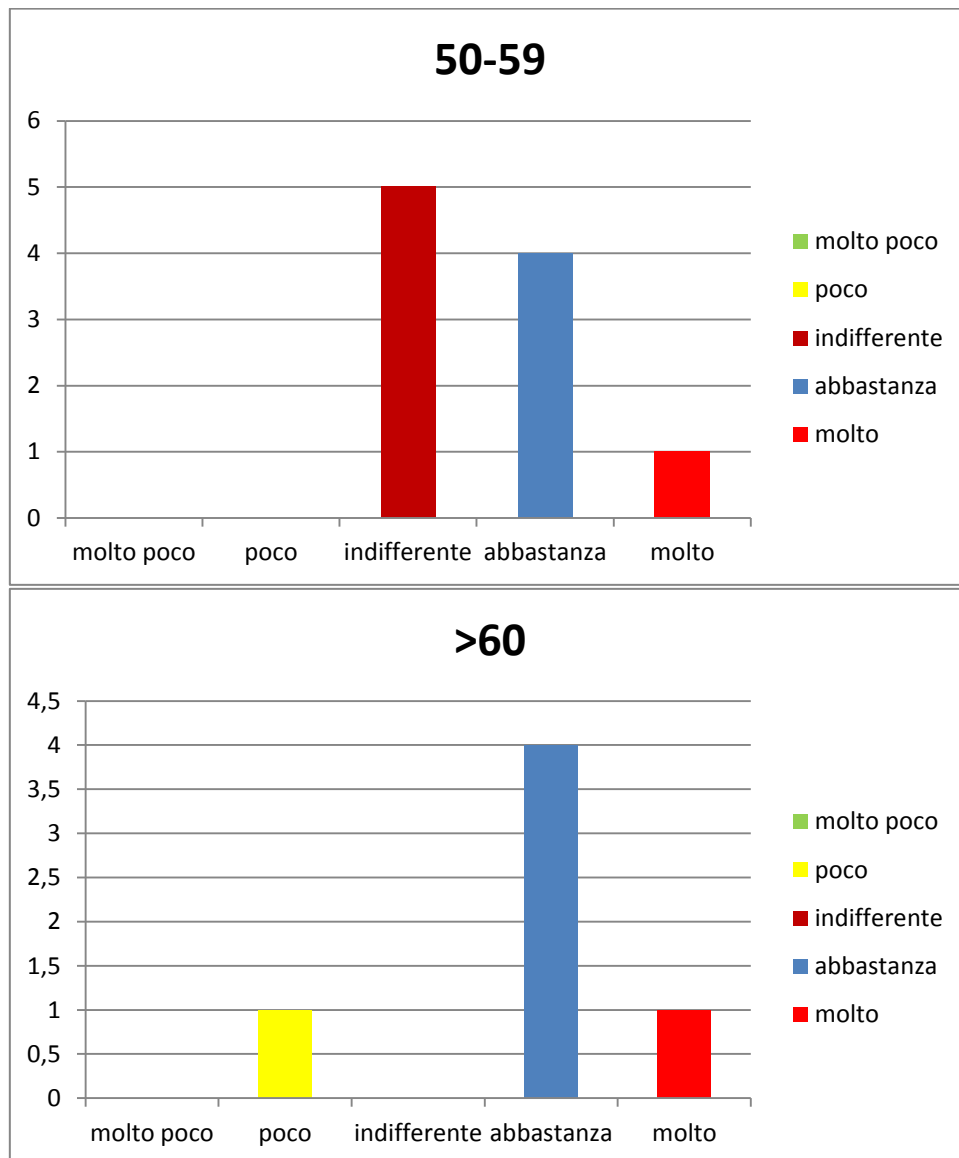


Figura 3.15: risultati correlazione tra l'età e il quesito 8.

Come evidenziato nei grafici, la maggior parte degli utenti ha scelto l'opzione "Abbastanza" come risposta a quanto il tempo influenza la scelta del percorso per spostamenti di piacere.

Nella fascia di età 50-59 anni la risposta più selezionata è stata "Indifferente" con 5 individui che l'hanno scelta su un totale di 10.

Anche per questo criterio è stato effettuato il test Chi Quadrato con valore del valore di  $\chi^2$  uguale a 30,39 e una significatività pari al 1,6% < 5%. Perciò è verificato che esiste una correlazione tra l'età e le risposte alla domanda 8.

## RISULTATI PER GENERE

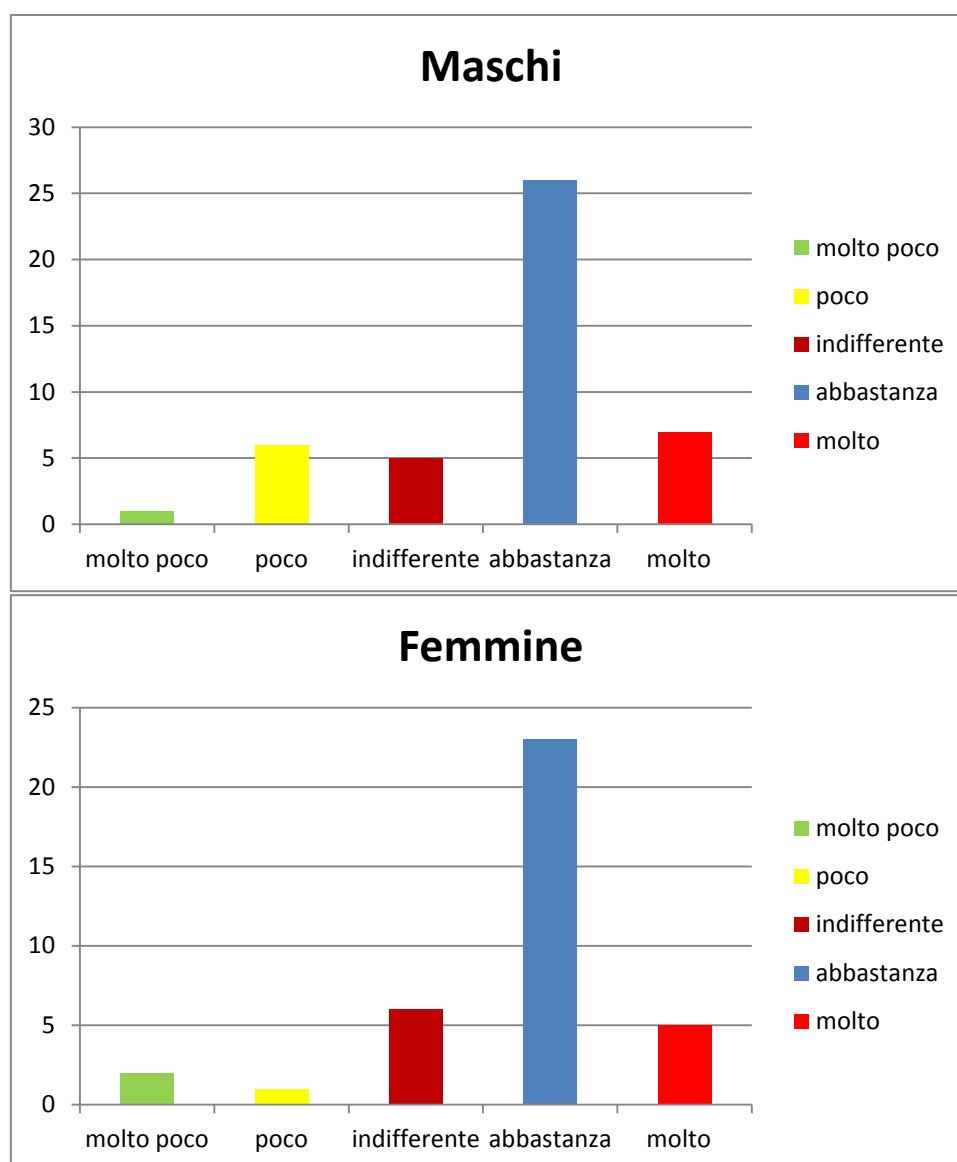


Figura 3.16: risultati correlazione tra il genere e il quesito 8.

Le risposte tra gli uomini e le donne di quanto il tempo influenzi la scelta del percorso per spostamenti di piacere sono abbastanza omogenee. Infatti come si vede dai grafici entrambi i generi hanno scelto prevalentemente la risposta "Abbastanza" rispettivamente 26 uomini su 45 e 23 donne su 37.

Il test Chi Quadrato è stato realizzato anche in questo caso ma non ha fornito risultati significativi.

## RISULTATI PER RESIDENZA

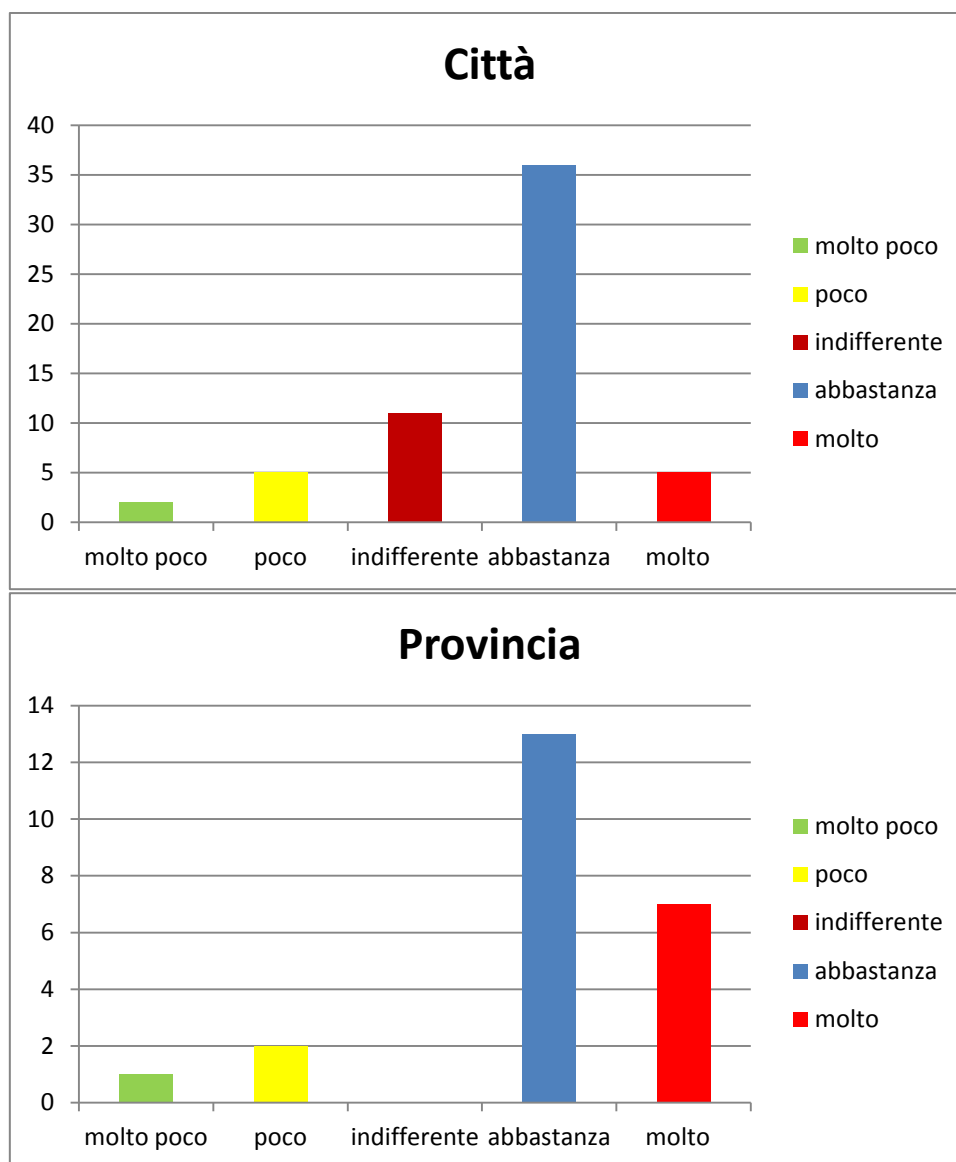


Figura 3.17: risultati correlazione tra residenza e quesito 8.

I cittadini in maggioranza hanno scelto l'opzione "Abbastanza" (36 su 59) mentre in 11 hanno risposto "Indifferente".

Qui è la sostanziale differenza con i residenti in provincia, dei quali nessuno ha scelto "Indifferente" come risposta e un terzo ha risposto "Molto".

Il test Chi Quadrato fornisce risultati interessanti in quanto verifica la correlazione tra la residenza e il tempo che influenza la scelta del percorso per spostamenti di piacere.

Il valore di  $\chi^2$  è uguale a 9,84 e una significatività pari al 4,3% < 5% perciò è verificato che esiste una correlazione tra la residenza e le risposte alla domanda 8.

#### RISULTATI PER ATTIVITA'

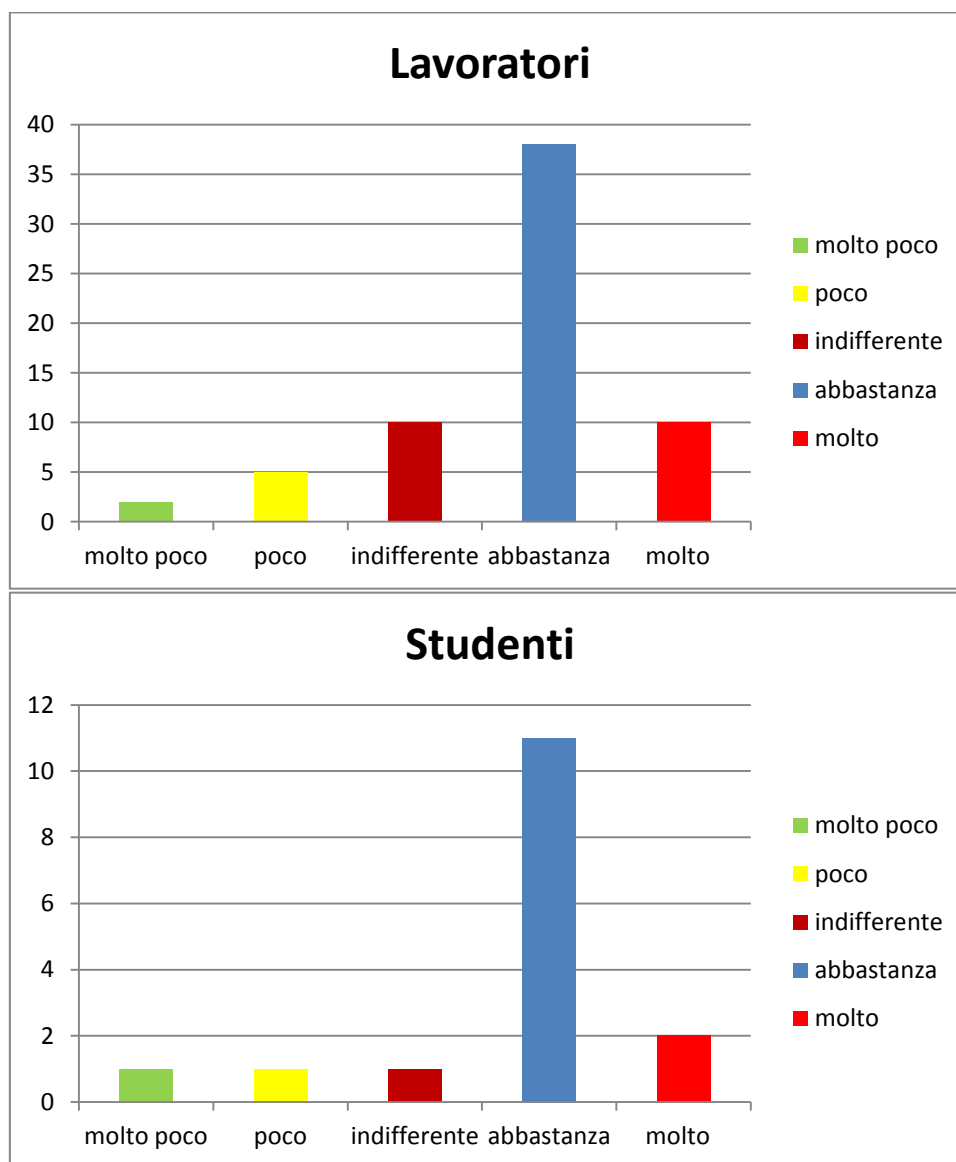


Figura 3.18: risultati correlazione delle attività con il quesito 8.

Per ultimo affrontiamo il criterio dell'attività. Possiamo vedere come i grafici tra lavoratori e studenti non presentino grosse differenze. In entrambi i casi la maggior parte delle risposte si sono concentrate sull'opzione "Abbastanza".

La differenza che si può notare è che la risposta "Indifferente" è stata selezionata da 10 lavoratori su 65 e in egual misura alla risposta "Molto" mentre queste due opzioni sono state scelte da poche unità tra gli studenti.

Il test Chi Quadrato è stato realizzato anche in questo caso ma non ha fornito risultati significativi e perciò non vi è una correlazione tra l'attività e le risposte a questo quesito.

**DOMANDA 9:** Per effettuare acquisti o commissioni quanto influenza la scelta del percorso il tempo?

I risultati totali della risposta sono rappresentati nel seguente istogramma.

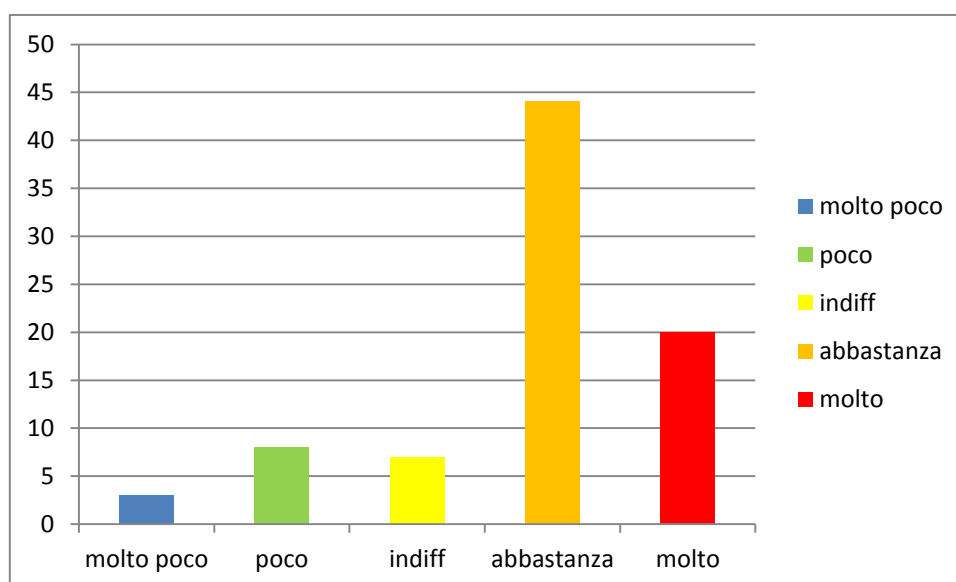
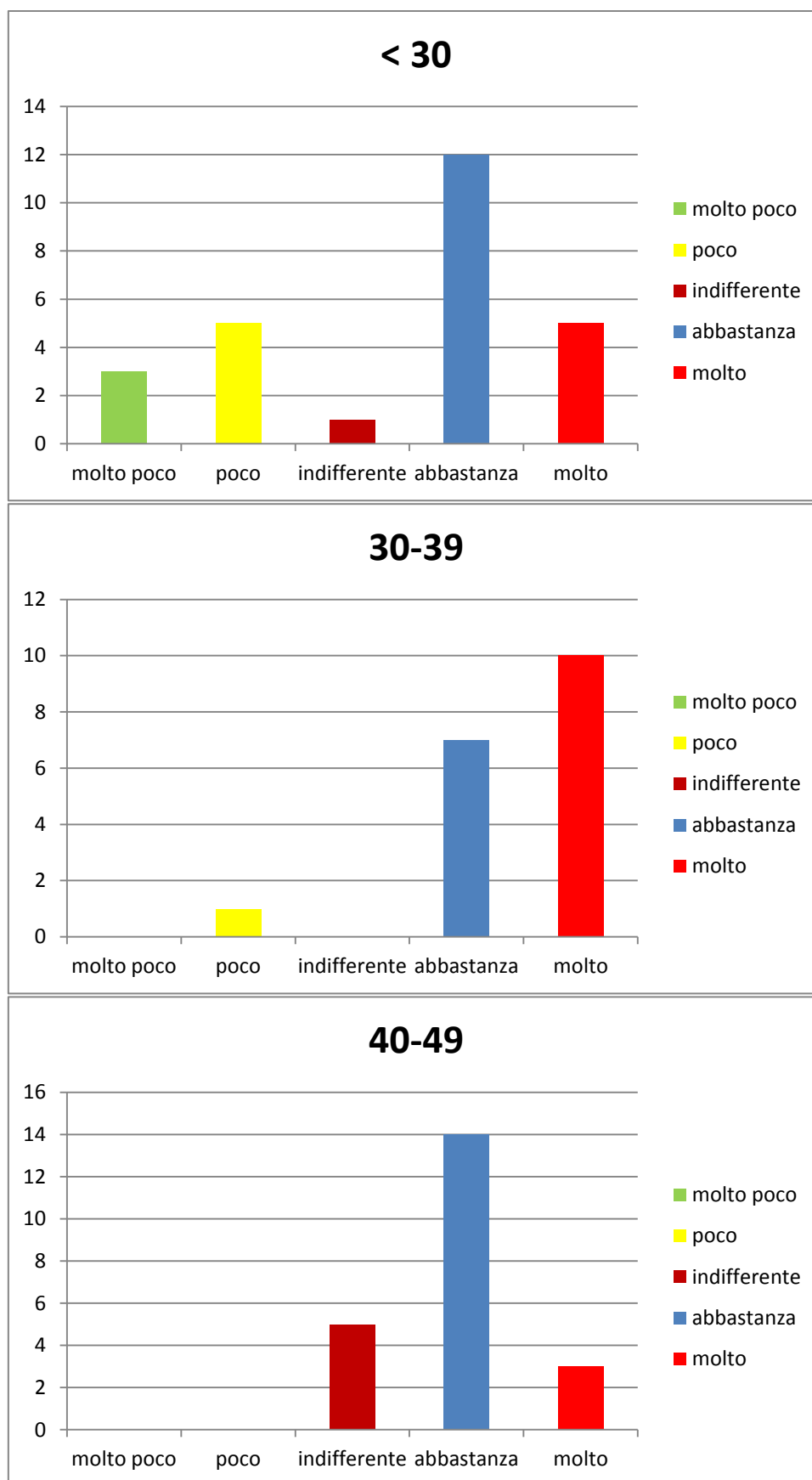


Figura 3.19: : risultati del quesito 9.

Come si può evincere dal grafico, il tempo influenza la scelta del percorso per spostamenti di piacere con la maggior parte degli intervistati (44) che hanno scelto l'opzione "abbastanza".

Ora illustreremo i risultati in base ai 4 criteri.

## RISULTATI PER ETA'



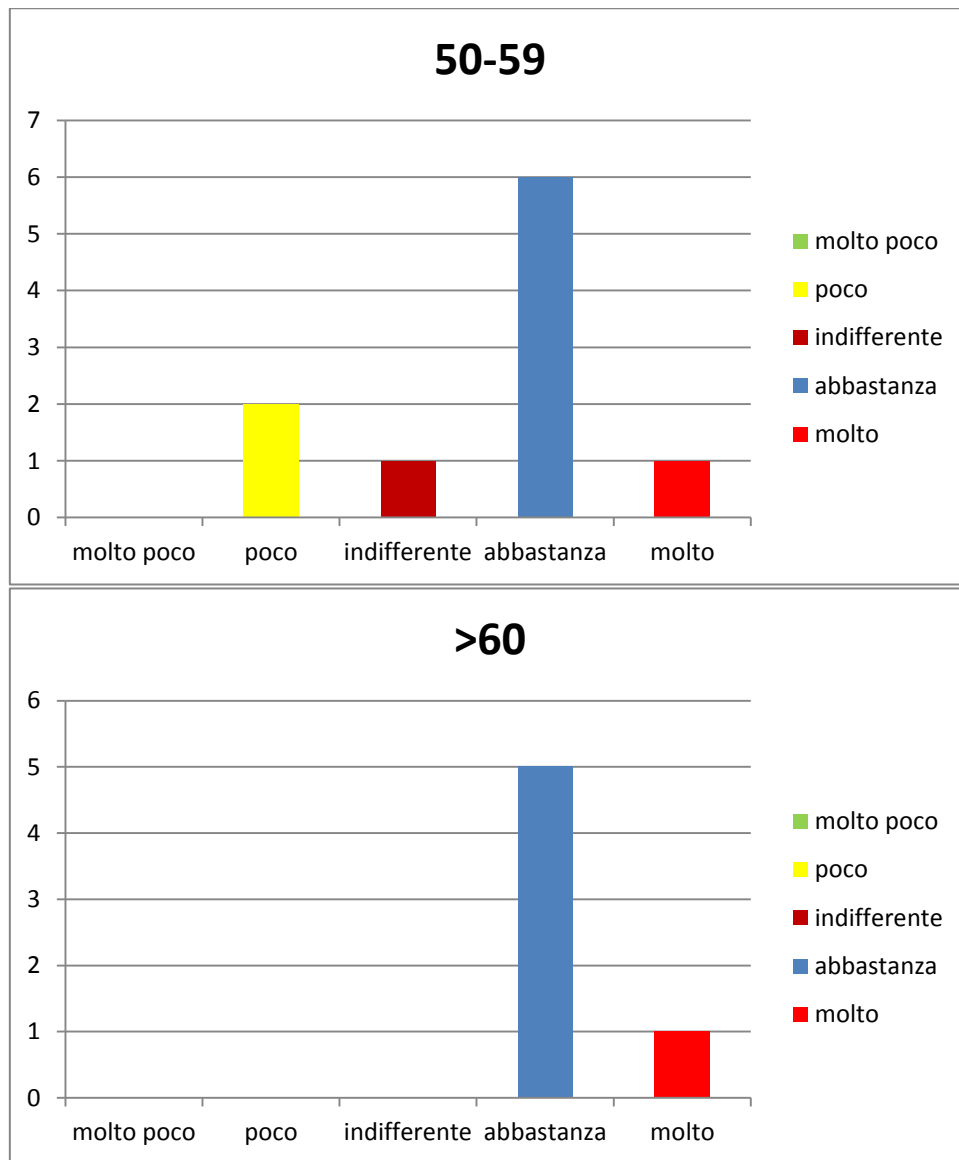


Figura 3.20: risultati correlazione tra età e quesito 9

La risposta “Molto” è la più selezionata tra i guidatori della fascia d’età dei 30-39 anni (10 su 18) e anche gli under 30 anni sono il secondo gruppo che ha selezionato maggiormente questa risposta.

Salendo con l’età l’opzione “Molto” cala in percentuale e la maggior parte degli intervistati tendono a scegliere “Abbastanza” come opzione.

Il test Chi Quadrato fornisce risultati interessanti in quanto verifica la correlazione tra l’età e l’influenza che ha il tempo sulla scelta del percorso per spostamenti per fare acquisti e commissioni.

Il valore di  $\chi^2$  è uguale a 32,88 e una significatività pari al 0,7% < 5% perciò è verificato che esiste una correlazione tra l'età e le risposte alla domanda 9.

#### RISULTATI PER GENERE

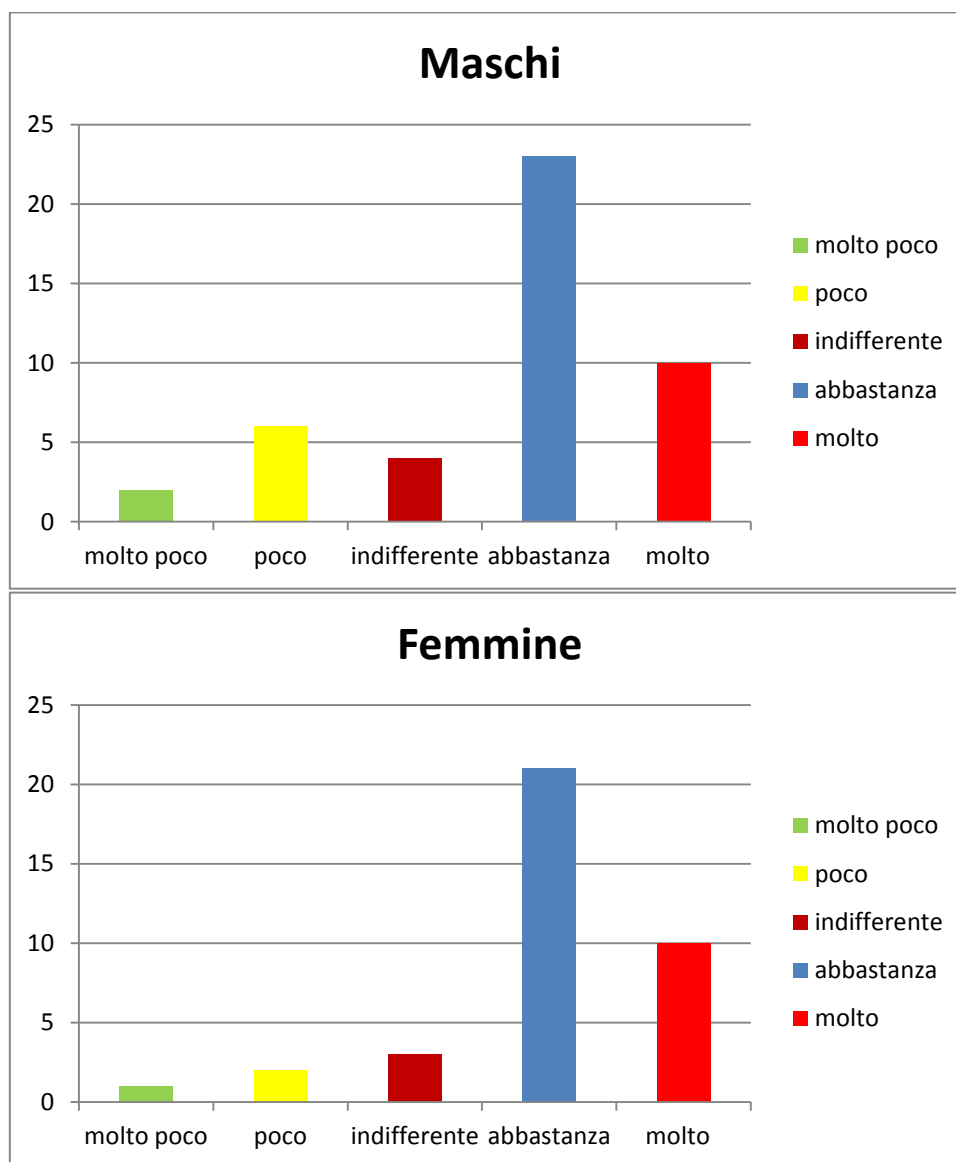


Figura 3.21: risultati correlazione tra il genere e il quesito 9

Come in altri casi visti in precedenza, i risultati che si desumono da questi due grafici sono molto simili. L'opzione "Abbastanza" è la più scelta rispettivamente 23 su 45 per gli uomini e 21 su 37 per le donne.

In egual misura viene scelta l'opzione "Molto" (10 individui per genere) con maggiore incidenza tra le donne.

Il test Chi Quadrato è stato realizzato anche in questo caso ma non ha fornito risultati significativi.

#### RISULTATI PER RESIDENZA

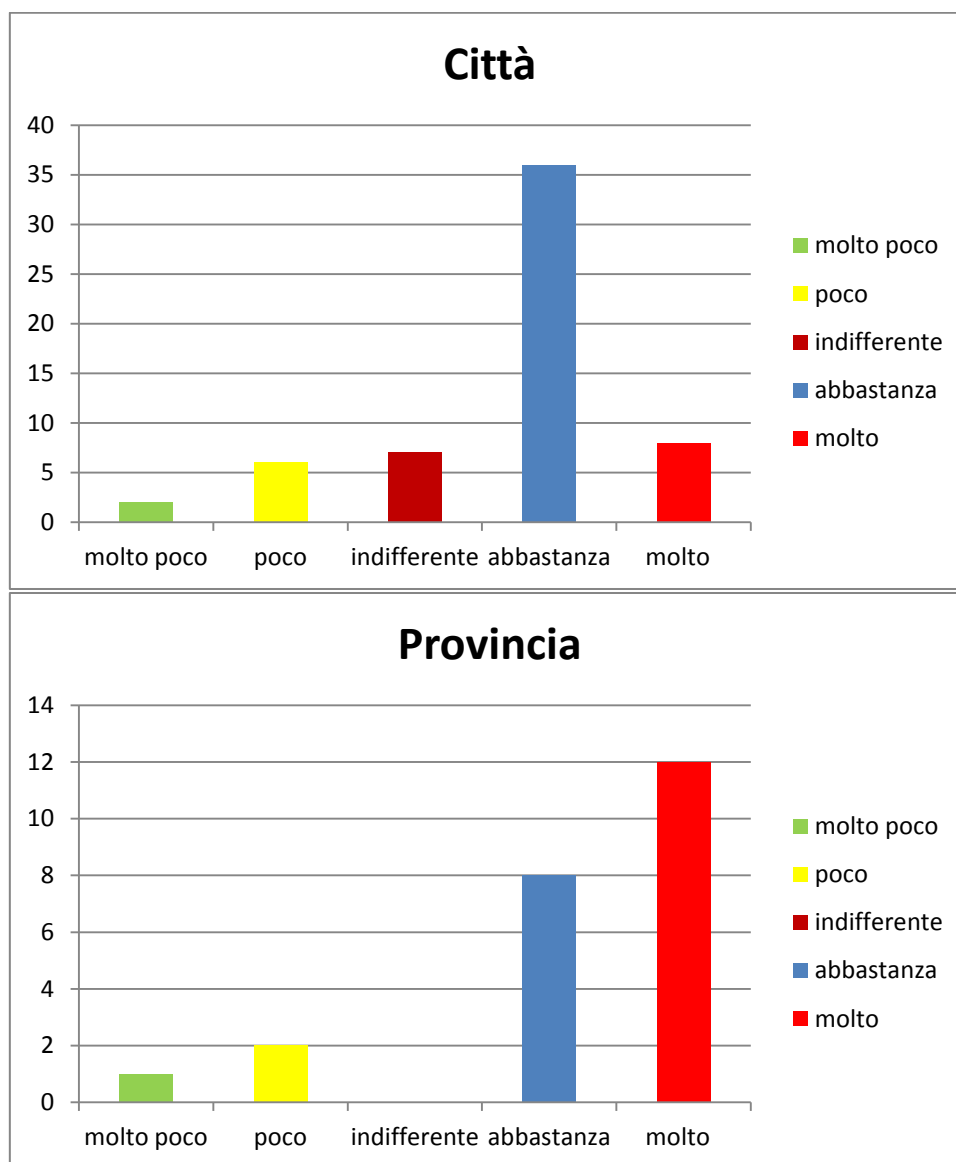


Figura 3.22: risultati correlazione tra residenza e quesito 9

Con immediatezza, si nota la differenza sostanziale tra i due gruppi. Infatti la maggior parte dei residenti in provincia ha scelto l'opzione "Molto" (12

su 23) mentre i cittadini hanno selezionato in maggioranza "Abbastanza" (36 su 59).

Anche per questo criterio è stato effettuato il test Chi Quadrato con valore del valore di  $\chi^2$  è uguale a 15,04 e una significatività pari al 0,4% < 5%. E' verificato che esiste una correlazione tra la residenza e le risposte alla domanda 9.

#### RISULTATI PER ATTIVITA'

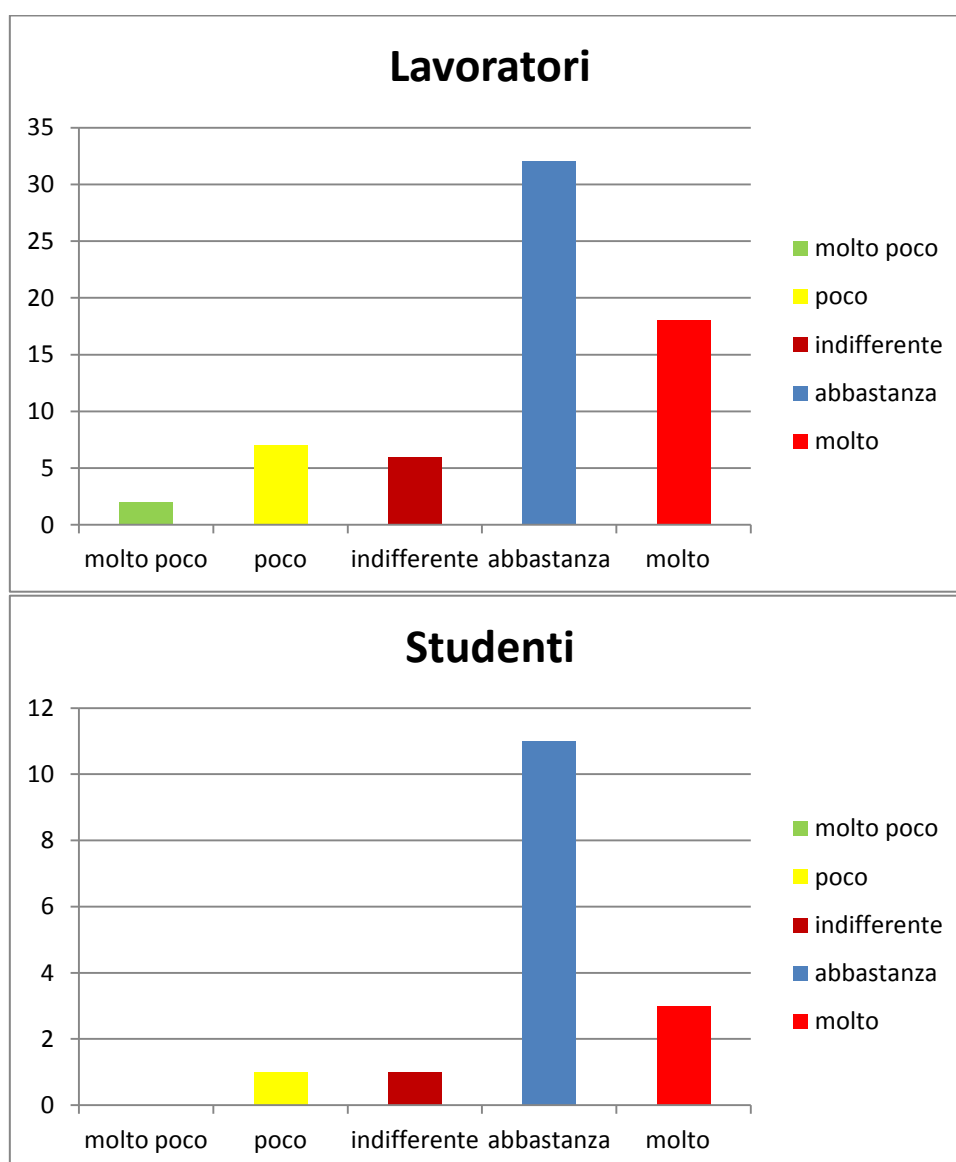


Figura 3.23: risultati correlazione delle attività con il quesito 9.

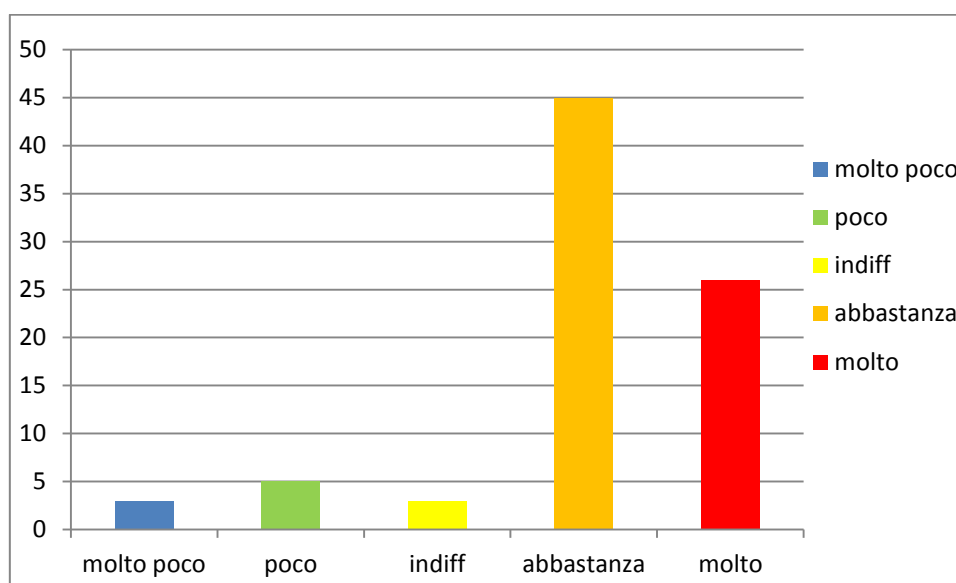
Per ultimo affrontiamo il criterio dell'attività dove si può vedere come i grafici tra lavoratori e studenti non presentino grosse differenze. In entrambi i casi la maggior parte delle risposte si sono concentrate sull'opzione "Abbastanza".

Le differenze si possono notare tra gli studenti dove nessuno ha scelto l'opzione "Molto poco" e inoltre l'incidenza della risposta "Molto" è diversa tra i due gruppi visto che tra i lavoratori è stata scelta da 18 su un totale di 65 individui mentre per gli studenti è stata scelta solo da 3 su 16.

Il test Chi Quadrato è stato realizzato anche in questo caso ma non ha fornito risultati significativi e perciò non vi è una correlazione tra attività e le risposte a questo quesito.

**DOMANDA 10:** Quanto risulta essere importante la sicurezza quando decide di scegliere un percorso per il suo spostamento?

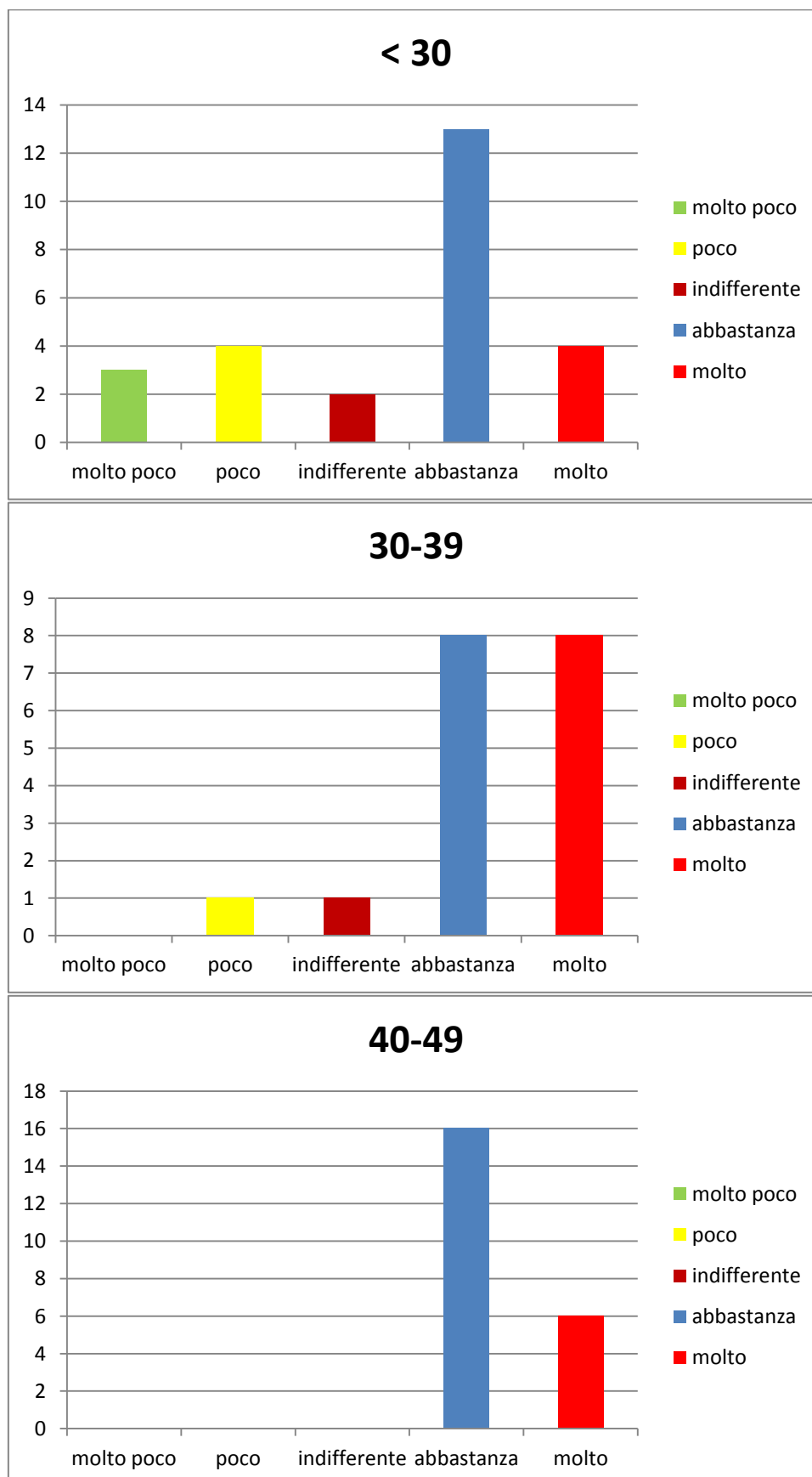
I risultati totali della risposta sono rappresentati nel seguente istogramma.



Come si può evincere dal grafico, la sicurezza influenza la scelta del percorso. La maggior parte degli intervistati (45) ha scelto l'opzione "abbastanza" e quasi il 30% degli automobilisti ha risposto addirittura "Molto".

Ora illustreremo i risultati in base ai 4 criteri.

## RISULTATI PER ETA'



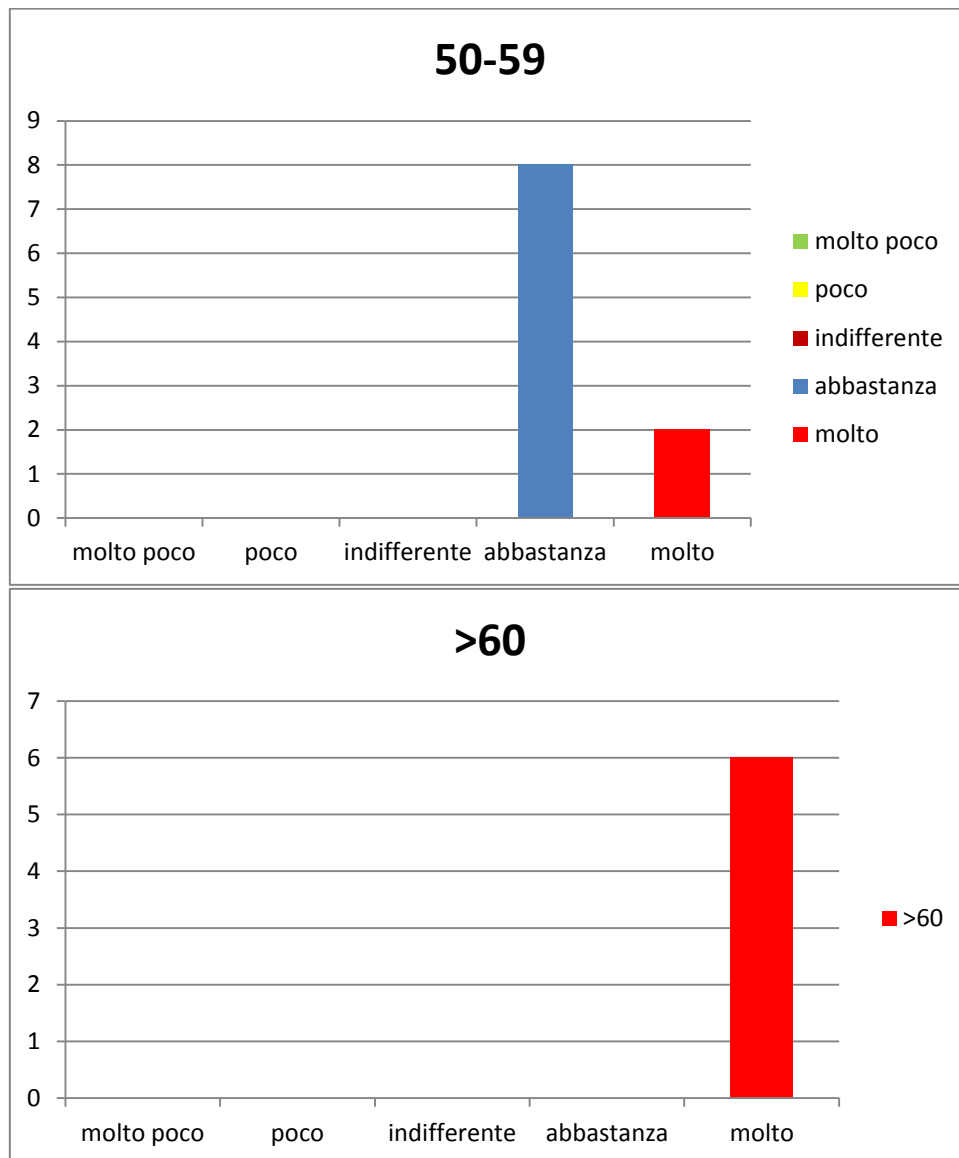


Figura 3.25: risultati correlazione tra età e quesito 10

La sicurezza, come si deduce dai grafici, è un aspetto molto importante in funzione dell'età. Infatti solo gli intervistati under 40 hanno selezionato le prime tre risposte e in un numero molto limitato. Le altre tre fasce d'età hanno risposto soltanto con "Abbastanza" e "Molto" (quest'ultima opzione è stata selezionata da tutti gli over 60 anni).

Il test Chi Quadrato fornisce risultati interessanti in quanto verifica la correlazione tra l'età e quanto la sicurezza influenzi la scelta del percorso. Il valore di  $\chi^2$  è uguale a 33,88 e una significatività pari al 0,05% < 5%

perciò è verificato che esiste una correlazione tra l'età e le risposte alla domanda 10.

#### RISULTATI PER GENERE

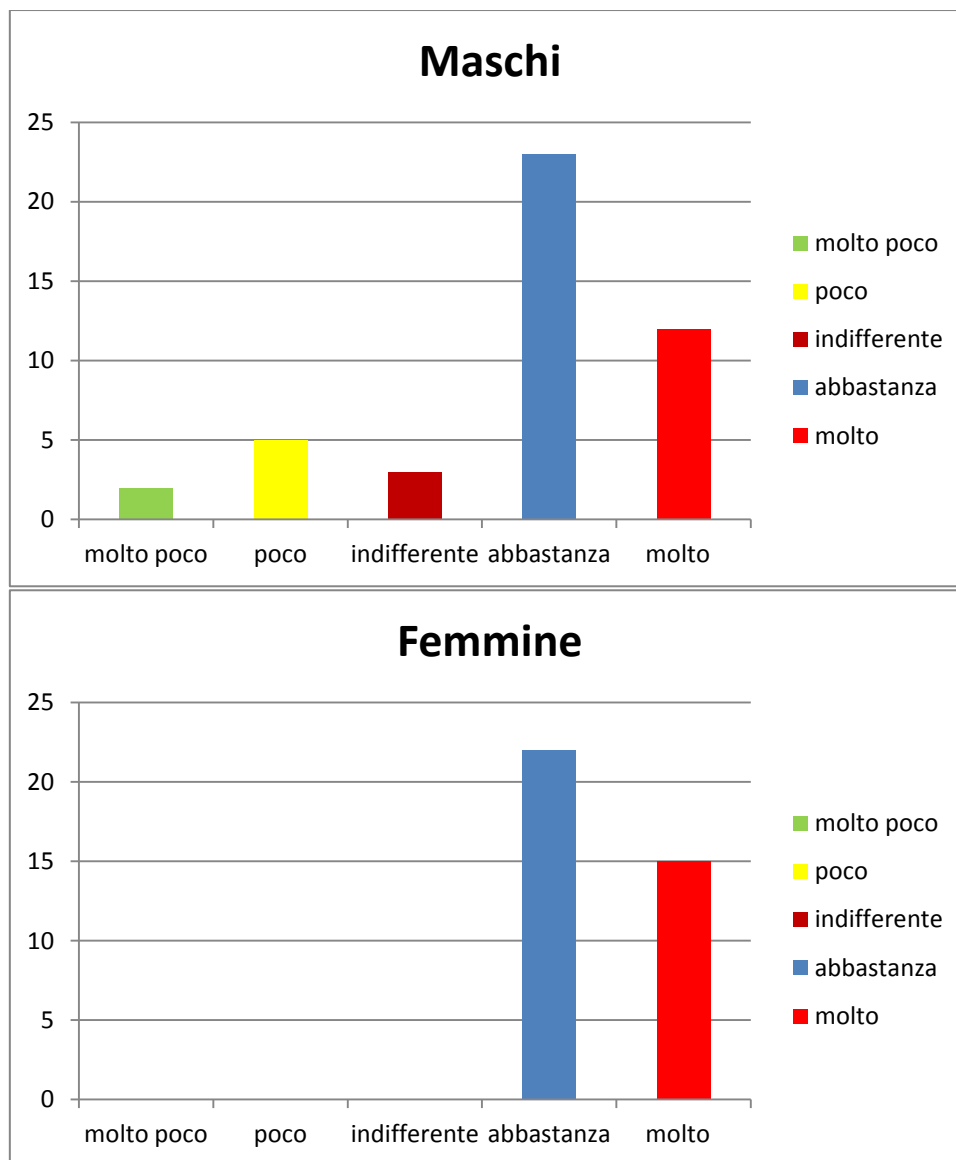


Figura 3.26: risultati correlazione tra il genere e il quesito 10

Come per l'età è facile vedere una correlazione tra il genere e quanto la sicurezza influenzi la scelta del percorso.

Nessuna delle intervistate ha selezionato una delle prime tre opzioni e le scelte sono cadute per 22 su "Abbastanza" e per su 15 "Molto".

Il test Chi Quadrato fornisce risultati interessanti in quanto verifica la correlazione tra il genere e quanto la sicurezza influenzi la scelta del percorso.

Il valore di  $\chi^2$  è uguale a 9,66 e una significatività pari al 4,64% < 5% perciò è verificato che esiste una correlazione tra genere e le risposte alla domanda 10.

## RISULTATI PER RESIDENZA

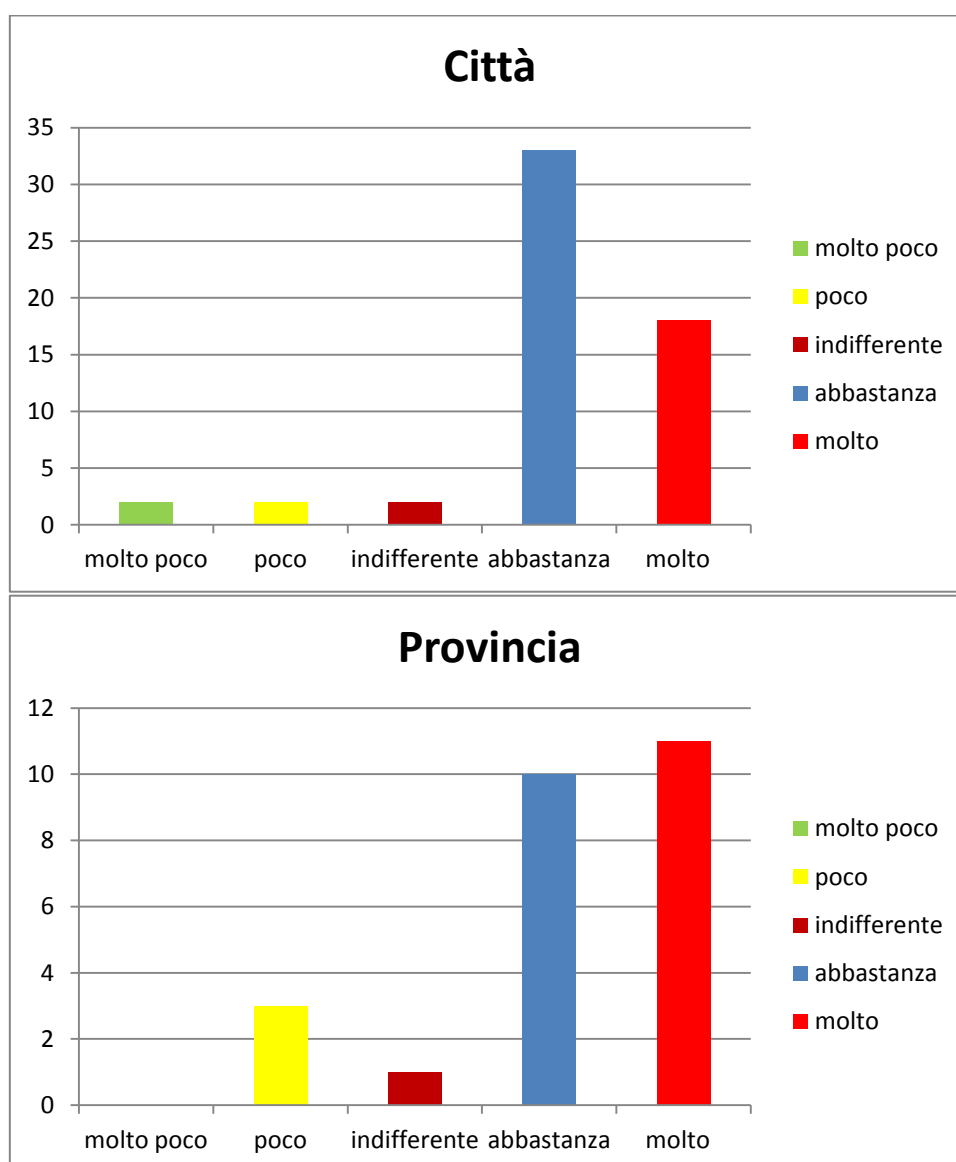


Figura 3.28: risultati correlazione tra residenza e quesito 10

La differenza sostanziale tra i residenti in città e quelli di provincia è il rapporto tra le risposte "Abbastanza" e "Molto".

Tra i cittadini, 33 su 57, hanno risposto "Abbastanza" e 18 su 57 "Molto".

La situazione si equilibra tra i residenti in provincia dove 11 su 25 hanno selezionato "Molto" e 10 su 25 "Abbastanza".

In ogni caso entrambi i gruppi danno importanza alla sicurezza ed è per questo che il test Chi Quadrato non ha fornito risultati significativi e non vi è una correlazione tra residenza e le risposte a questo quesito.

## RISULTATI PER ATTIVITA'

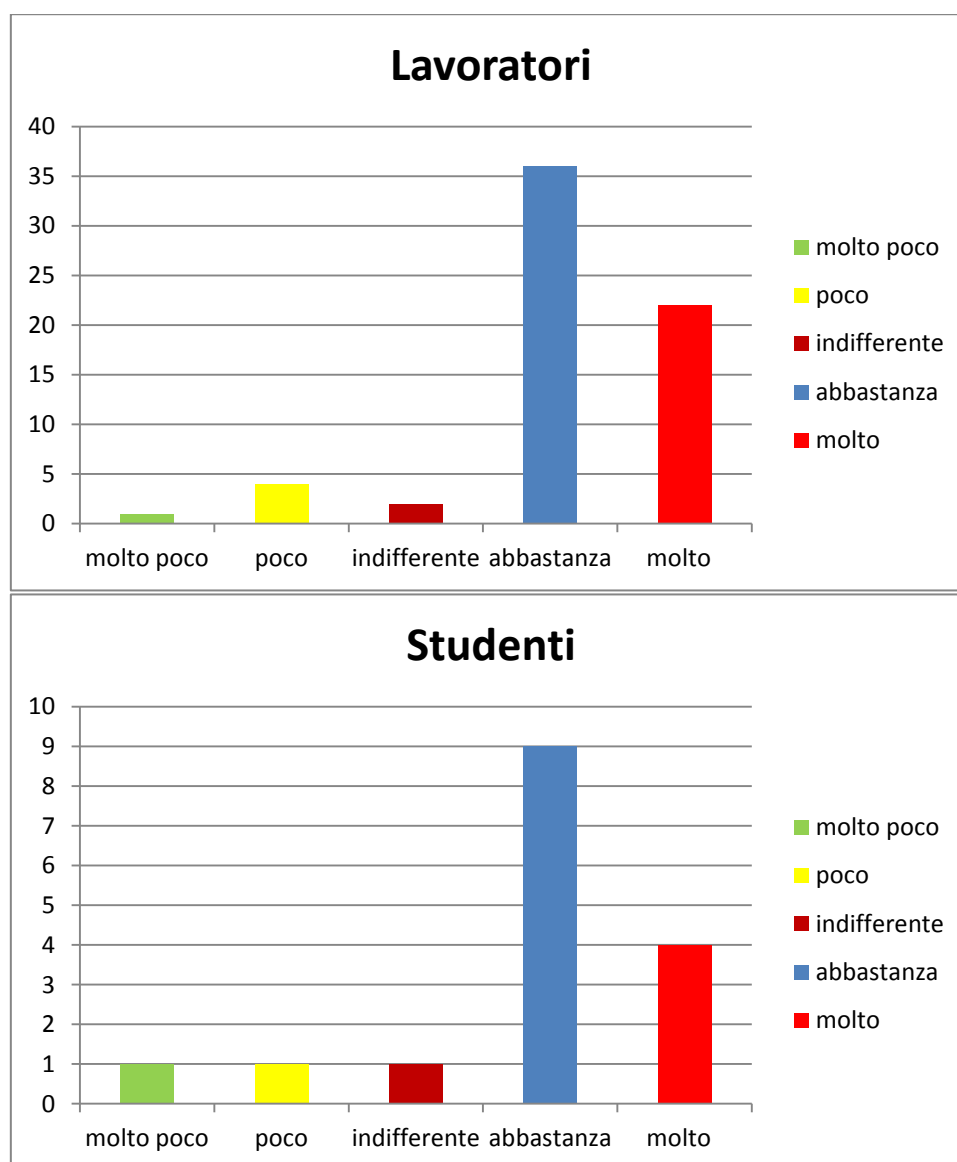


Figura 3.29: risultati correlazione delle attività con il quesito 10.

I due istogrammi sono pressoché identici e in entrambi la risposta più scelta è “Abbastanza”.

Il test Chi Quadrato è stato realizzato anche in questo caso ma non ha fornito risultati significativi non essendoci una correlazione tra attività e le risposte a questo quesito.

**DOMANDA 11:** Quanto è importante ai fini della scelta del percorso la qualità e lo stato in cui si trova la strada?

I risultati totali della risposta sono rappresentati nel seguente istogramma.

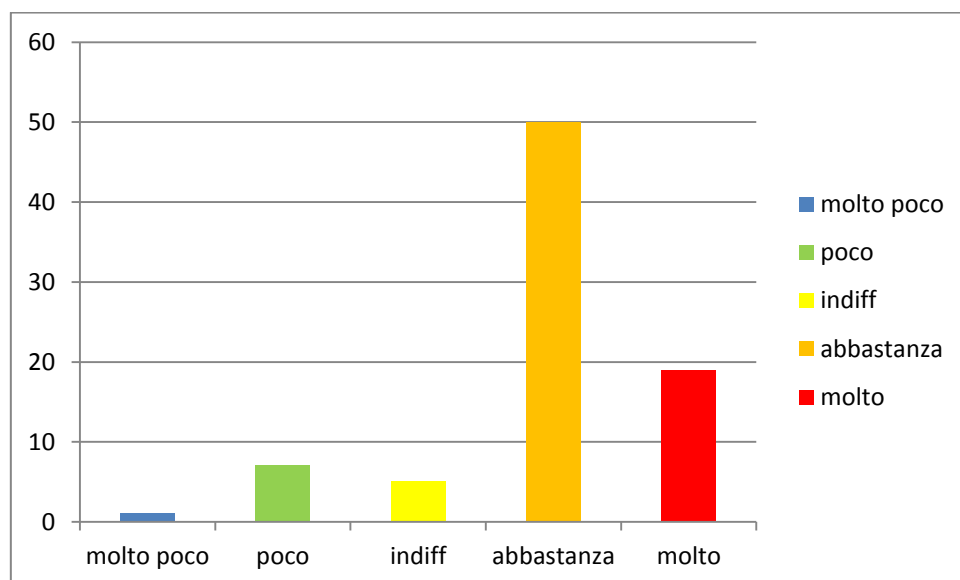


Figura 3.30: risultati del quesito 11

Come si può evincere dal grafico, la qualità dello stato in cui si trova una strada influenza la scelta del percorso: la maggior parte degli intervistati (50) ha scelto l’opzione “abbastanza” e anche altri 19 intervistati hanno risposto “Molto”.

Quindi 69 degli 82 intervistati totali hanno dato importanza a questo aspetto.

### DOMANDE 12 E 13:

- Per recarsi nel luogo di lavoro o di studio ha più di un'alternativa di percorso nello spostamento casa-lavoro o casa-studio?
- Se ha risposto sì alla domanda precedente, qual è il numero di alternative di percorso che Lei effettivamente considera?

Per quanto riguarda la domanda 12, se gli utenti hanno più di un'alternativa di percorso nello spostamento casa-lavoro o casa-studio, solo due intervistati hanno risposto "No" su un totale di 82.

Entrambi gli individui hanno un tempo di spostamento casa-lavoro inferiore ai 10 minuti e ciò può risultare coerente.

Perciò nelle domande 13 e 14 il campione si ridurrà ad 80.

I risultati della domanda 13 sono illustrati nell'istogramma sottostante.

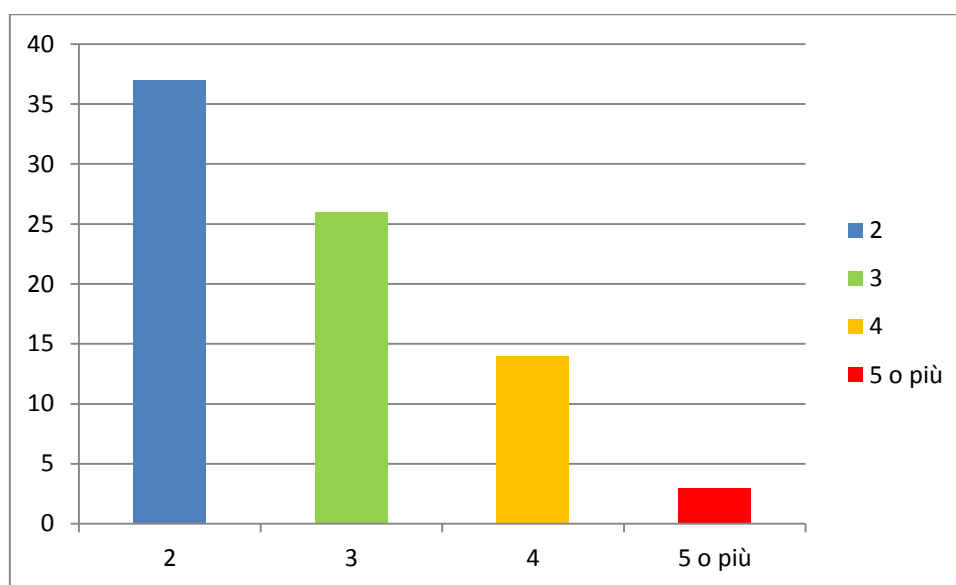


Figura 3.30: risultati del quesito 13

I dati raccolti evidenziano che 37 intervistati (la metà circa) considera solo 2 alternative di percorso, 26 ne considerano 3, 14 ne prendono in considerazione 4 mentre solo 3 individui ne considerano 5 o più.

Un aspetto molto importante di questa domanda è che vengono chiesti i percorsi "considerati" dall'utente. Infatti, come abbiamo visto nel capitolo precedente, è inutile chiedere agli intervistati le alternative totali in

quanto, pur trattandosi di spostamenti compiuti giornalmente, dove in linea teorica l'individuo ha molto esperienza, l'utente potrebbe non conoscere l'universo delle alternative di percorso.

Questo lo si può evincere dal fatto che la maggior parte degli intervistati ha detto di avere solo 2 alternative di percorso. Si tratta di un risultato al quanto difficile da credere se si considera che gran parte del campione è residente in città, dove le alternative sono molte.

**DOMANDA 14:** Se ha risposto "sì" alla domanda 13, segue abitualmente lo stesso percorso per andare a lavoro, scuola o università?

I risultati della domanda 14 sono illustrati nell'istogramma sottostante.

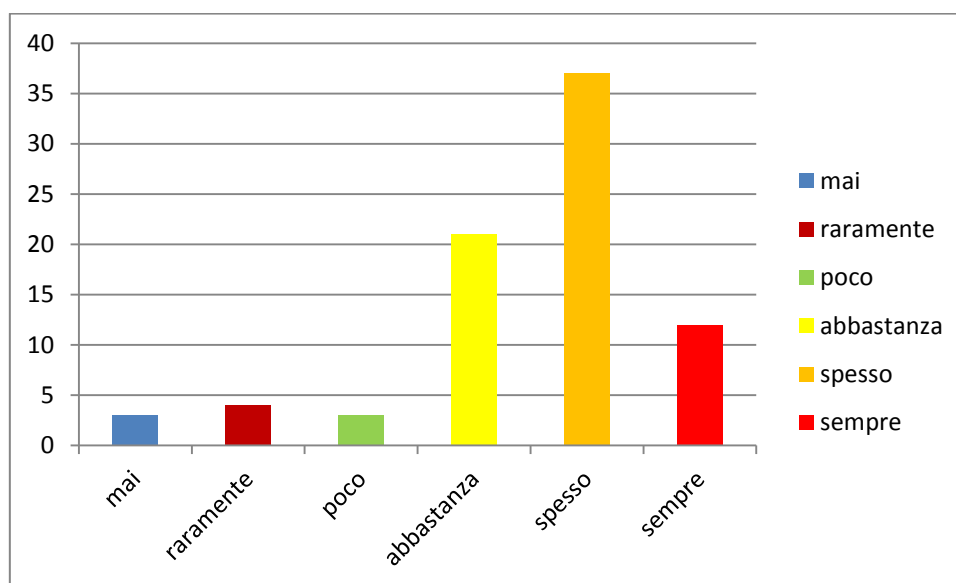


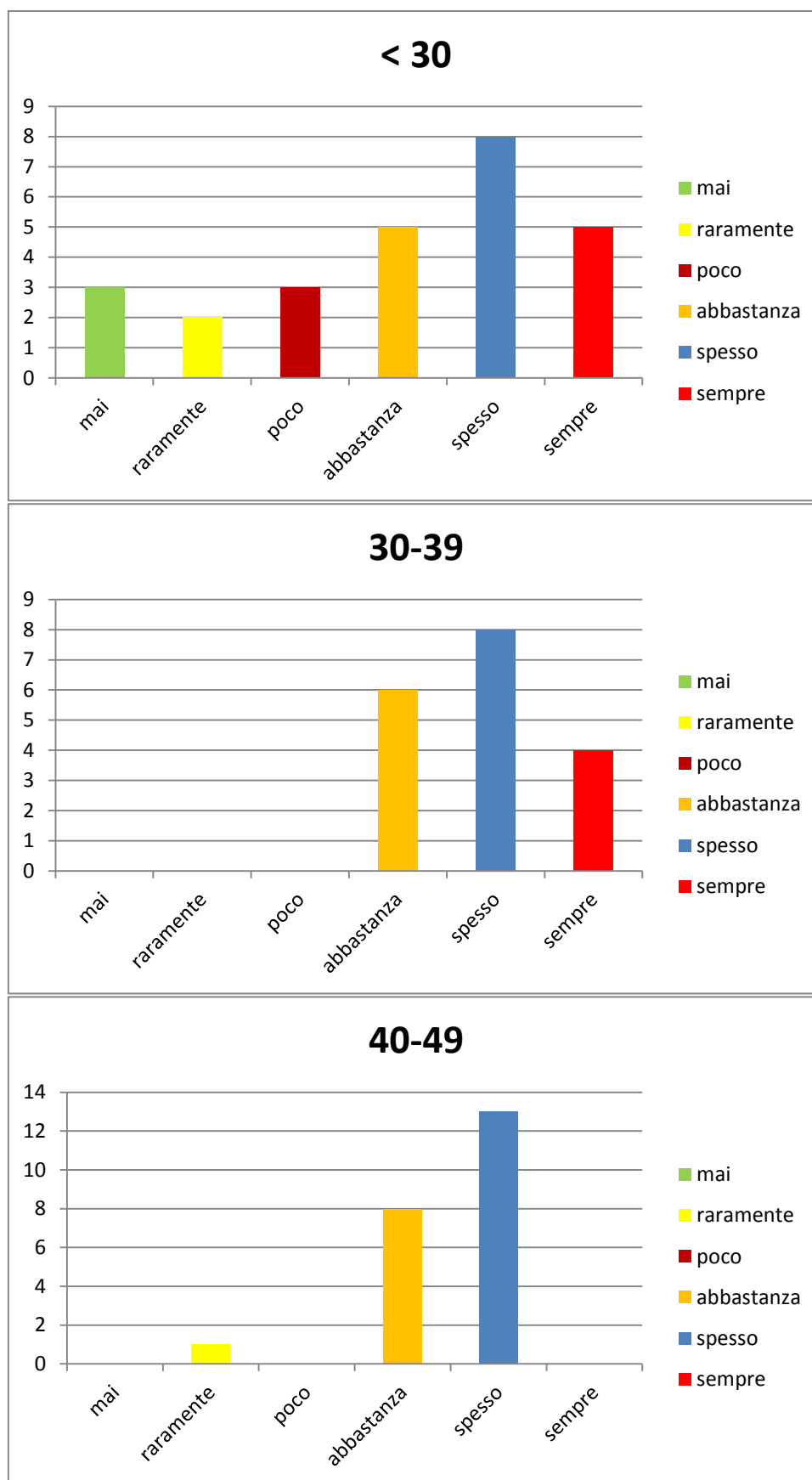
Figura 3.31: risultati del quesito 14.

Il grafico mostra che gli intervistati tendono ad utilizzare "Spesso" lo stesso percorso pur avendo almeno un'altra alternativa. Ben 37 degli 80 individui totali ha scelto l'opzione "Spesso".

Questo è tipico degli spostamenti abitudinari casa-lavoro/ studio.

Ora illustreremo i risultati in base ai 5 criteri.

## RISULTATI PER ETA'



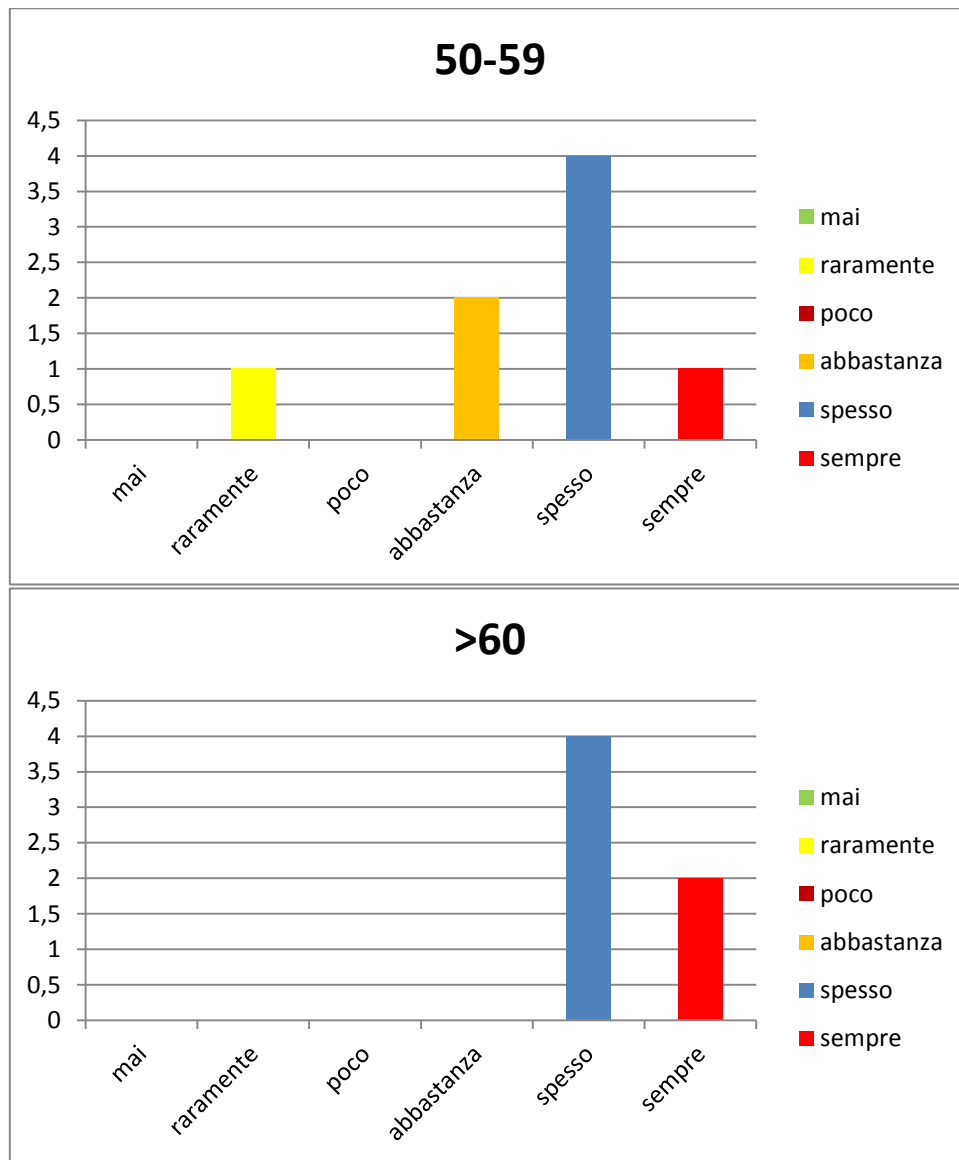


Figura 3.32: risultati correlazione età e quesito 14

Come si può vedere dai grafici, gli under 30 anni sono gli intervistati che tendono a essere meno abitudinari nella scelta del percorso mentre le altre fasce di età, tranne rare eccezioni (2 individui), tendono ad avere un comportamento abitudinario scegliendo le ultime tre opzioni. Nel caso degli over 60 anni vengono selezionate come opzioni solo "Spesso" e "Sempre".

Effettuando il test Chi Quadrato, il valore di  $\chi^2$  è uguale a 26,53 e una significatività pari al 14,8% > 5%. Ciò dimostra che non vi è una correlazione tra l'età e le risposte fornite a questa domanda.

## RISULTATI PER GENERE

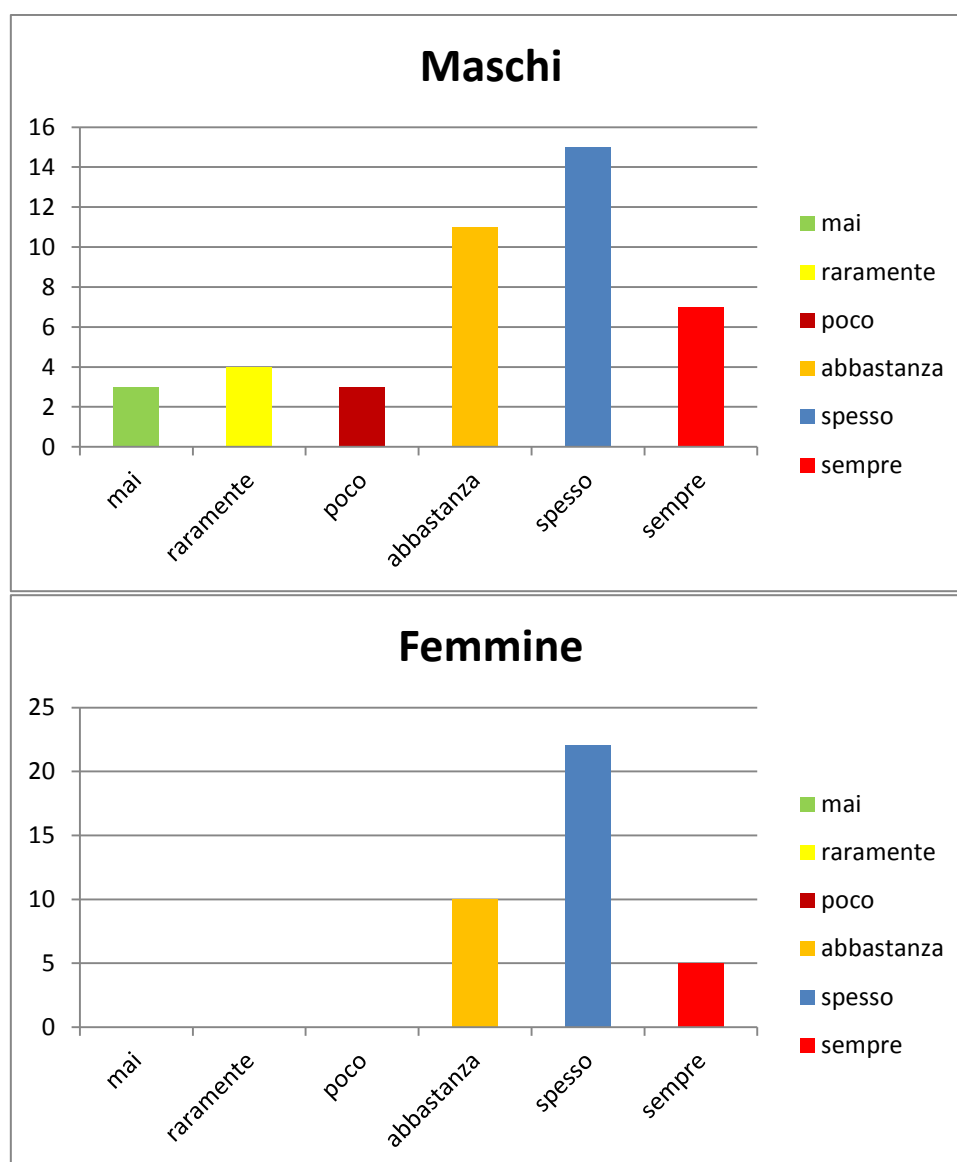


Figura 3.33: risultati correlazione sesso e quesito 14

Come risulta dai grafici, le donne sono abitudinarie rispetto agli uomini infatti la totalità delle intervistate sceglie le ultime tre opzioni alla domanda.

Ciò implica che vi è una correlazione tra il genere e l'abitudinarietà della scelta del percorso. In totale 10 individui di sesso maschile hanno selezionato le tre opzioni di non abitudinarietà.

Il test Chi Quadrato fornisce risultati interessanti poiché verifica la correlazione tra il genere e quanto l'abitudine influenzi la scelta del percorso.

Il valore di  $\chi^2$  è uguale a 11,31 e una significatività pari al 4,53% < 5% perciò è verificato che esiste una correlazione tra genere e le risposte alla domanda 14.

#### RISULTATI PER RESIDENZA

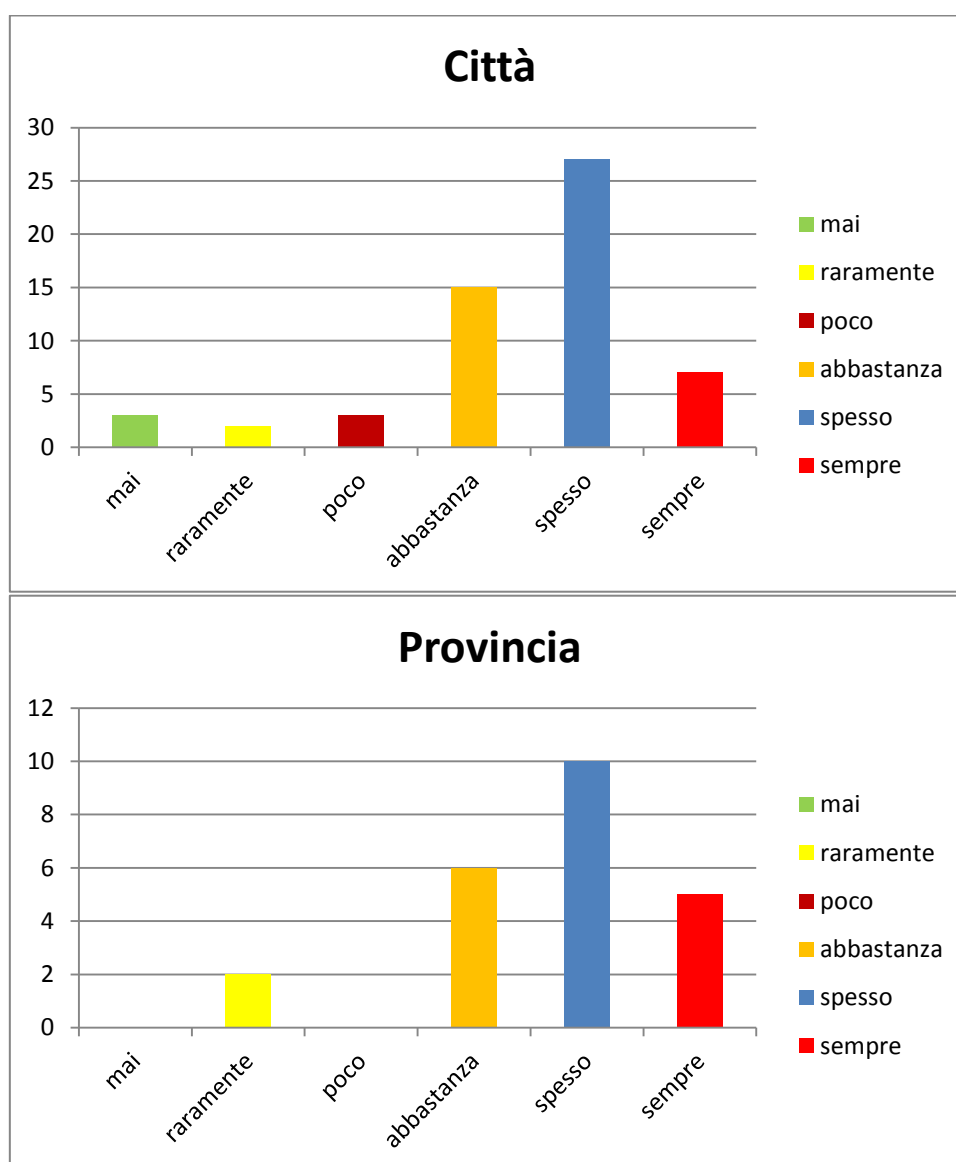


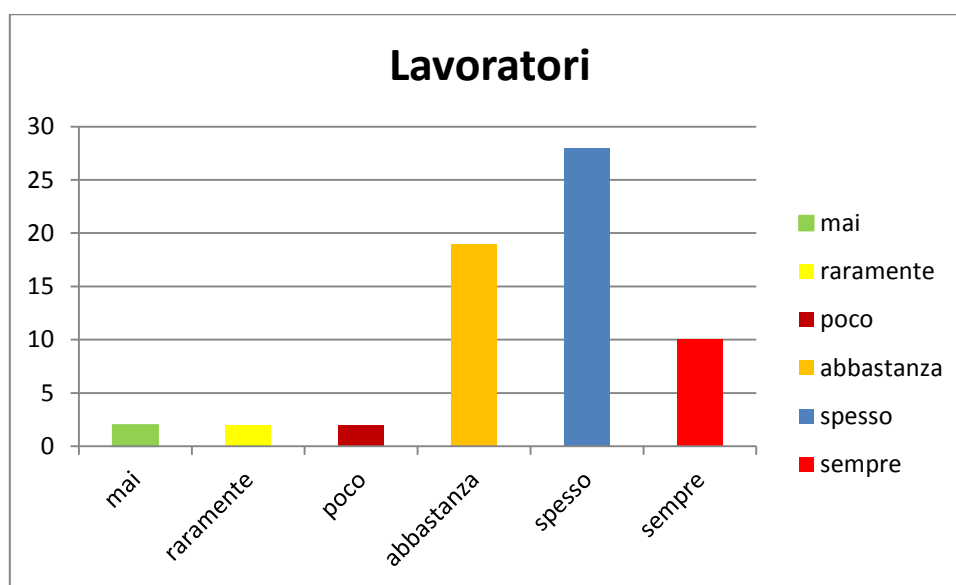
Figura 3.34: risultati correlazione residenza e quesito 14

I due istogrammi sono pressoché identici e in entrambi la risposta più scelta è "Spesso". I cittadini che hanno selezionato la voce "Spesso" sono 27 sui 57 totali mentre i residenti in provincia risultano essere 10 su un totale di 23.

Da notare che in proporzione sono di più i residenti in provincia rispetto a quelli che risiedono in città che hanno risposto "Sempre". Infatti i cittadini sono 7 su 57 mentre per i guidatori che provengono dalla provincia sono 5 su 23.

Il test Chi Quadrato è stato realizzato anche in questo caso ma non ha fornito risultati significativi e non vi è una correlazione tra residenza e le risposte a questo quesito.

#### RISULTATI PER ATTIVITA'



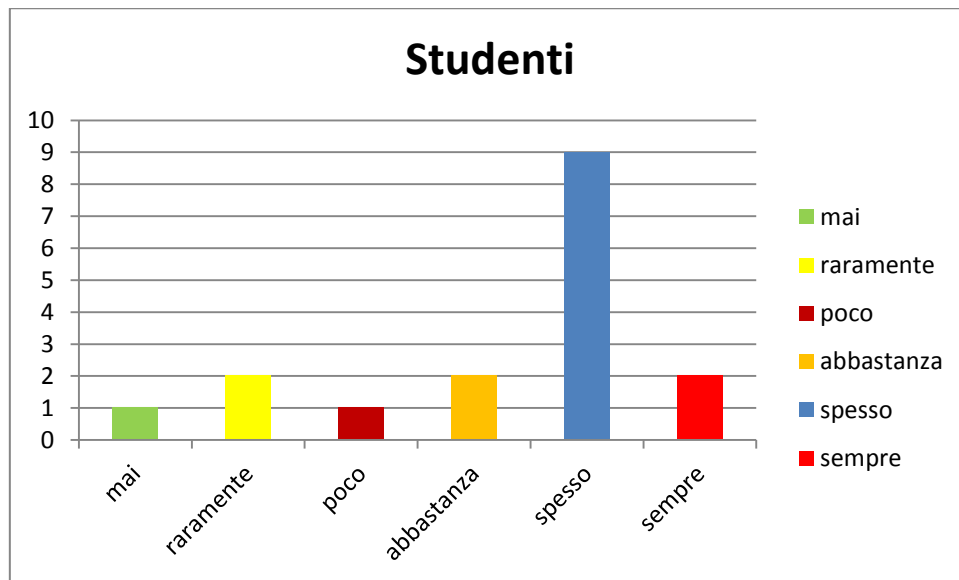


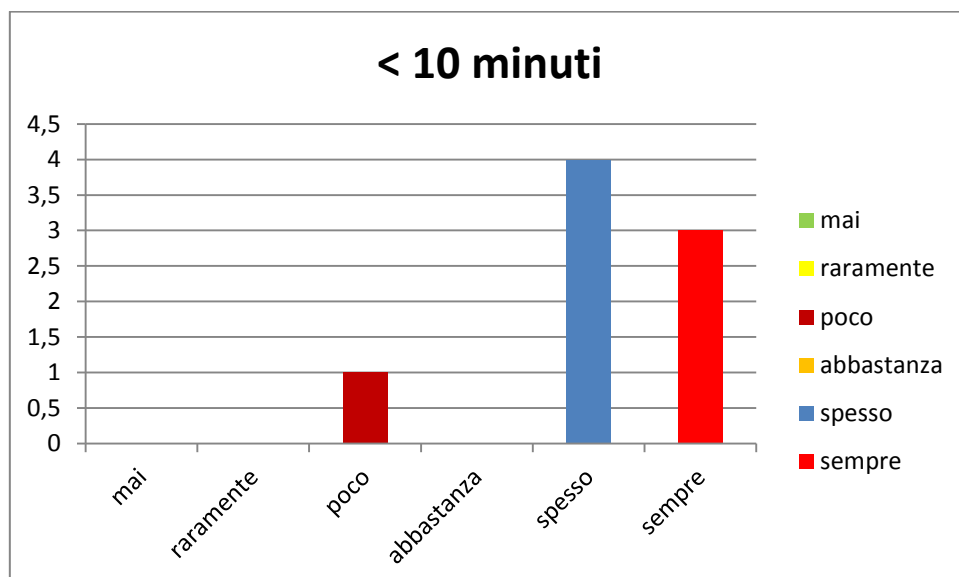
Figura 3.35: risultati correlazione attività e quesito 14

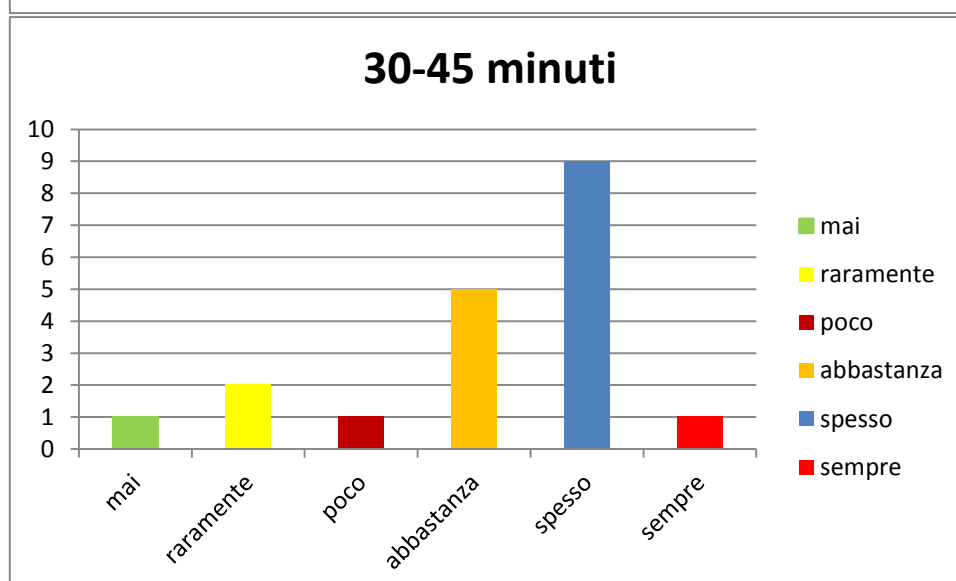
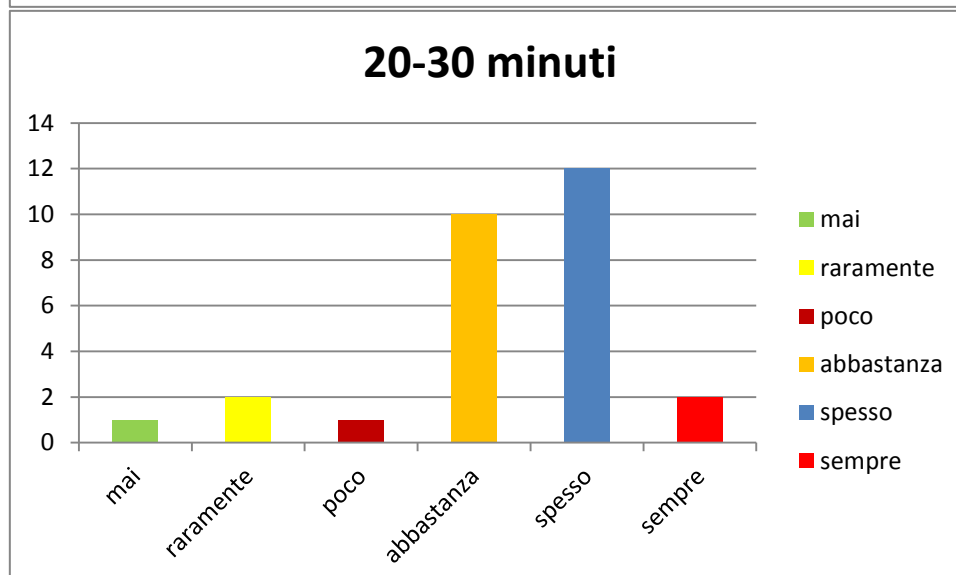
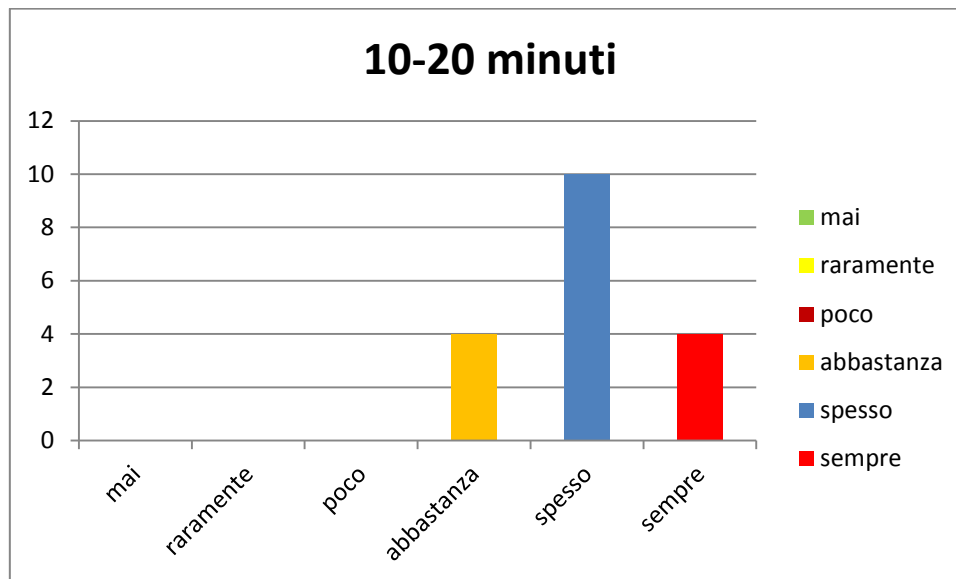
Come si può evincere dai grafici, la risposta più selezionata per entrambi i gruppi è "Spesso" scelta rispettivamente da 28 su 63 tra i lavoratori e da 9 su 17 tra gli studenti.

Mentre per gli studenti le altre opzioni sono suddivise più o meno equamente, per i lavoratori anche l'opzione "Abbastanza" è stata selezionata notevolmente per un totale di 19 risposte.

Il test Chi Quadrato è stato realizzato ma non ha fornito risultati significativi e perciò non vi è una correlazione tra attività e le risposte a questo quesito.

#### RISULTATI PER TEMPO DI VIAGGIO





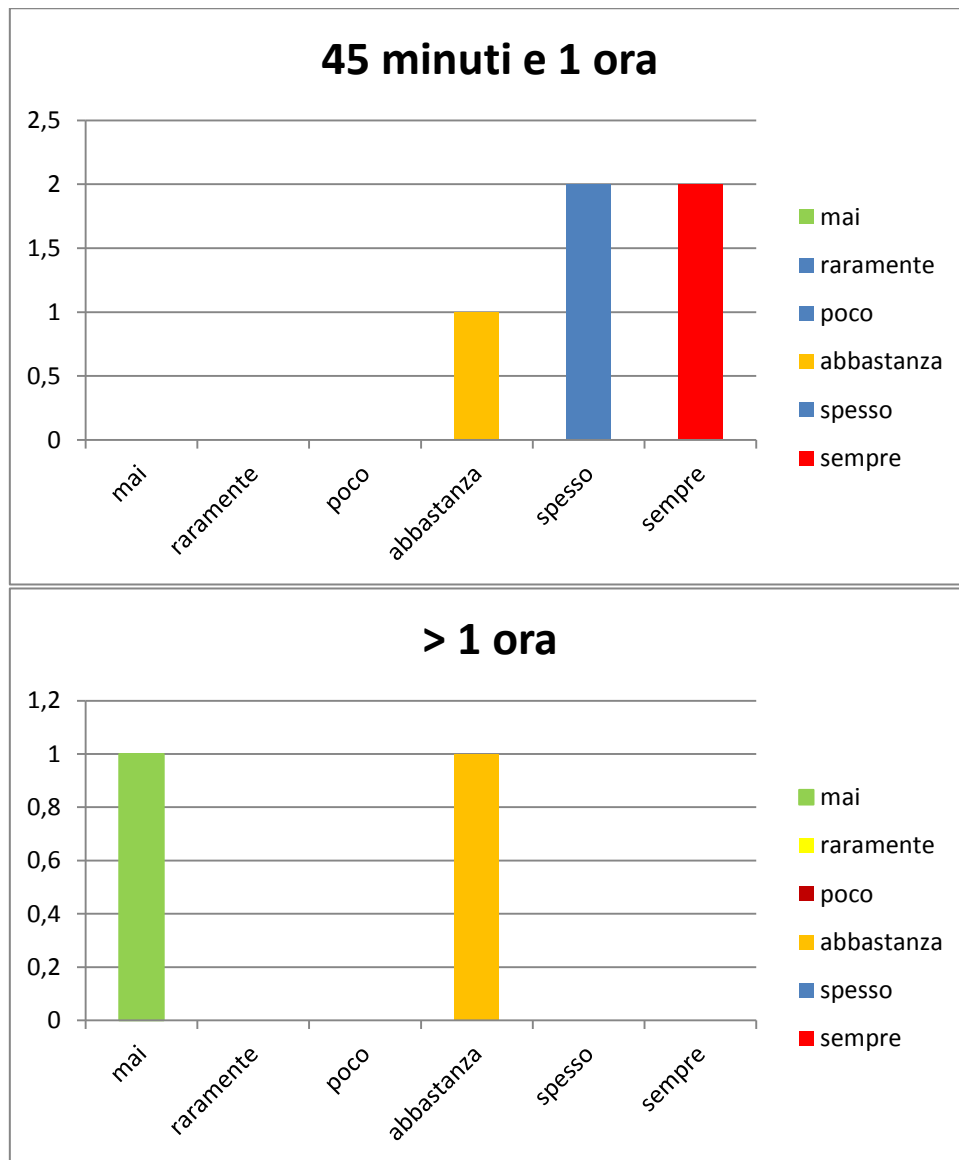


Figura 3.36: risultati correlazione tempo di viaggio e quesito 14

Le tre fasce di tempo tra i 10 e 45 minuti di viaggio negli spostamenti lavorativi o scolastici sono quelle che racchiudono la maggior parte dei guidatori. In tutte e tre le fasce la risposta maggiormente scelta è "Spesso" rispettivamente 10 su 18 per i viaggi di durata 10-20 minuti, 12 su 28 per i viaggi di durata 20-30 minuti e 9 su 19 per quelli di durata 30-45 minuti per un totale di 65 guidatori su 80.

Un'osservazione può essere fatta sul grafico del tempo di viaggio maggiore ad un'ora. Nessuno dei 2 intervistati ha scelto né l'opzione "Spesso" né "Sempre" anche se il campione è troppo piccolo per avere rilevanza.

Effettuando il test Chi Quadrato, il valore di  $\chi^2$  è uguale a 31,50 e una significatività pari al 17,04% > 5%. Ciò dimostra che non vi è una correlazione tra il tempo di viaggio negli spostamenti lavorativi o scolastici e le risposte fornite a questa domanda.

#### **DOMANDE 15 E 16:**

- E' preferibile scegliere percorsi che minimizzano la presenza di semafori
- E' più piacevole guidare su grandi viali, piuttosto che in vie minori.

I risultati totali delle risposte alla domanda 15 sono rappresentati nel seguente istogramma.

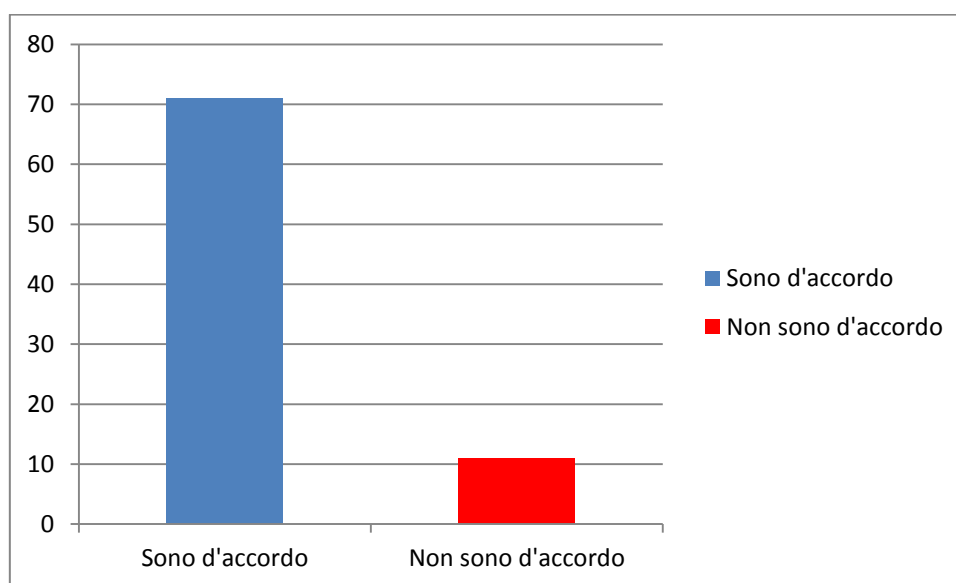


Figura 3.37: risultati del quesito 15

La regolazione semaforica è usualmente adottata per gli incroci caratterizzati da flussi rilevanti. Questo è il motivo che probabilmente sta dietro ai risultati di questo quesito.

Infatti 71 guidatori su gli 82 totali hanno detto che preferiscono minimizzare la presenza di semafori nella loro scelta di percorso.

Il tempo di attesa ad un semaforo è visto dai guidatori con sofferenza e spesso scelgono percorsi magari più lunghi ma che permettano un viaggio continuo senza soste.

11 guidatori hanno detto di preferire percorsi con semafori questo perché probabilmente gli incroci regolati da semafori forniscono una sicurezza maggiore rispetto ad intersezioni regolate da rotatorie, precedenza o stop.

Nel seguito sono illustrati i risultati ottenuti dalla domanda 16.

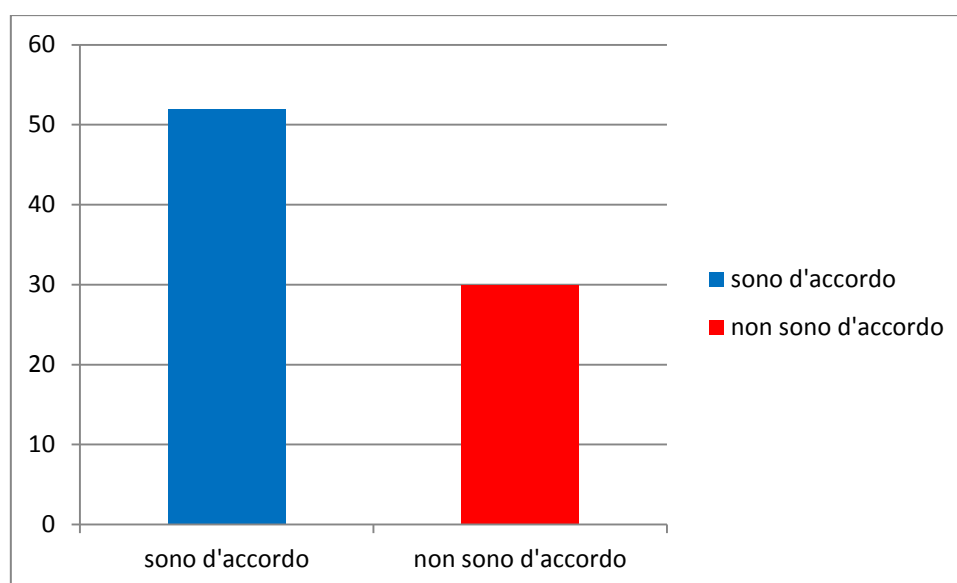


Figura 3.38: risultati del quesito 16.

Rispetto al quesito precedente, qui c'è più equilibrio tra le risposte. 52 degli intervistati hanno risposto che preferiscono guidare su grandi viali mentre in 30 hanno detto che prediligono vie minori.

Si è deciso di analizzare questo quesito sul criterio del genere ipotizzando una relazione tra il sesso e la scelta o meno di prendere viali di grandi dimensioni.

Dei 45 uomini 32 hanno risposto che sono d'accordo con il quesito mentre delle 47 donne ben 17 hanno risposto di preferire vie minori.

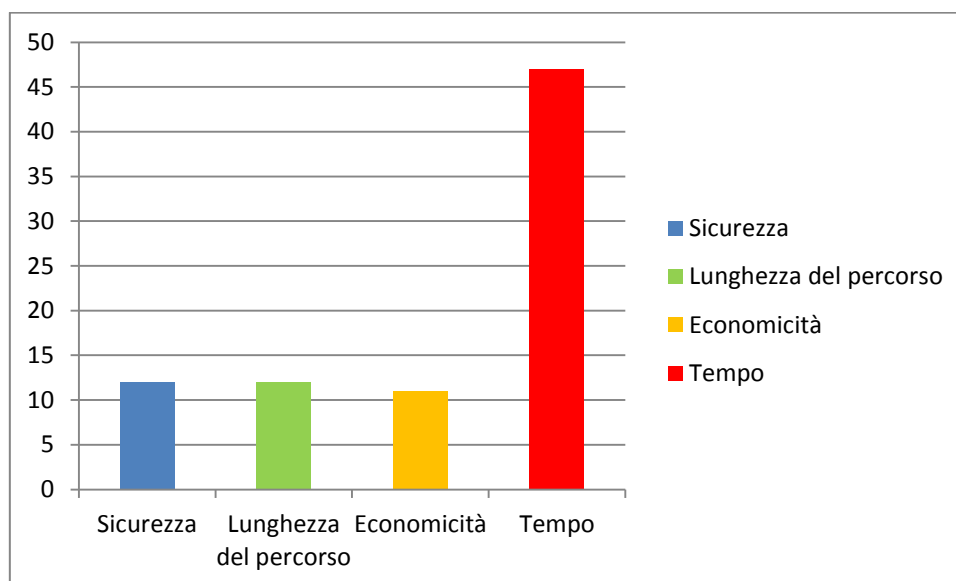
Il test Chi Quadrato effettuato su questo verifica che non esiste una correlazione tra il sesso e la scelta o meno di prendere viali di grandi dimensioni.

Il test ha un solo grado di libertà e il valore del  $\chi^2$  è di 0,58 e una significatività pari al 11,05% > 5%.

**DOMANDE 17, 18, 19:**

- Per spostamenti lavorativo/scolastici, quale di questi fattori influenza maggiormente la sua scelta di percorso?(1 sola risposta)
- Per effettuare commissioni o acquisti, quale di questi fattori influenza maggiormente la sua scelta di percorso?(1 sola risposta)
- Per spostamenti di piacere (attività sportive, divertimento...), quale di questi fattori influenza maggiormente la sua scelta di percorso?(1 sola risposta)

Questi tre quesiti verranno analizzati insieme e di seguito si mostreranno i risultati dell'indagine con l'uso degli istogrammi.



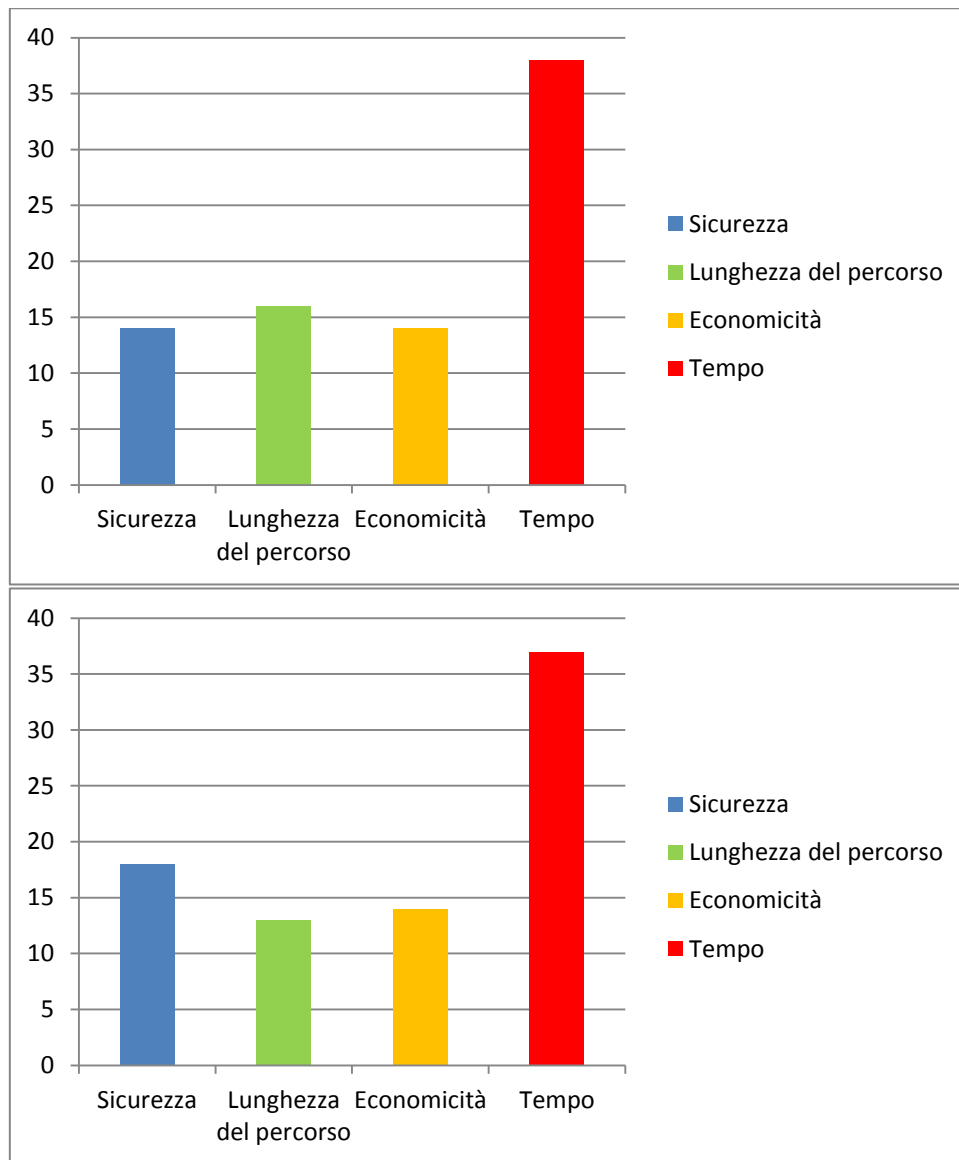


Figura 3.39: risultati dei quesiti 17,18,19.

I grafici illustrano come il tempo sia l'aspetto che più interessa i guidatori. Nella domanda 17 addirittura più della metà degli intervistati (47 su 82) hanno selezionato l'opzione "Tempo" mentre nelle domande 18 e 19 sono stati rispettivamente 38 e 37 i guidatori che hanno scelto questa risposta. Nella domanda 17, relativa agli spostamenti lavorativi o scolastici, in 12 hanno scelto la "Sicurezza", pari a chi ha scelto la "Lunghezza del percorso" e poco meno chi ha selezionato l'"Economicità" pari a 11. Nella domanda 18 per gli spostamenti di piacere, in 16 hanno scelto la "Lunghezza del percorso" mentre i restanti 28 hanno suddiviso esattamente a metà le risposte tra "Sicurezza" e "Economicità".

Nella domanda 19 per gli spostamenti relativi a commissioni e acquisti, in 18 hanno selezionato la "Sicurezza", in 14 l' "Economicità" e in 13 la "Lunghezza del percorso".

### **3.3 Conclusioni**

Da questa indagine, si può dedurre come il tempo sia il fattore ritenuto più rilevante al momento della scelta del percorso da parte dei guidatori.

Tramite l'utilizzo del test Chi Quadrato si è potuto verificare l'esistenza di alcune correlazione tra certe caratteristiche degli intervistati e i fattori che influenzano la scelta del percorso.

I risultati mostrano con immediatezza la correlazione tra il tempo di viaggio per spostamenti lavorativi o scolastici e quanto esso influenzi la scelta del percorso.

Il test Chi Quadrato risulta positivo e il valore di  $\chi^2$  è uguale a 41,55 e una significatività pari al 0,002% < 5% perciò è verificato che esiste una correlazione tra il tempo di viaggio per spostamenti lavorativi o scolastici e le risposte alla domanda in questione.

I risultati del test Chi Quadrato mostrano che vi è una connessione tra la residenza e quanto i vari spostamenti influenzino la scelta del percorso.

Per la domanda 7, sull'influenza degli spostamenti casa-lavoro/studio, il valore di  $\chi^2$  è uguale a 11,03 e una significatività pari al 2,6% < 5%.

Questa percentuale sta ad indicare che solamente nel 2,6 % dei casi le risposte date dal nostro campione risultano essere casuali, quindi possiamo affermare che esiste una legame tra la residenza e le risposte fornite a questa domanda.

Questo risultato è confermato anche dal test Chi Quadrato effettuato tra la residenza e il tempo di viaggio casa-lavoro/studio con il valore di  $\chi^2$  è uguale a 46,2 e la significatività pari a 0,0008%.

Il test Chi Quadrato fornisce risultati interessanti per la correlazione tra la residenza e quanto il tempo influenzi la scelta del percorso per spostamenti di piacere.

Il valore di  $\chi^2$  è uguale a 9,84 e una significatività pari al 4,3% < 5% perciò è verificato che esiste una correlazione tra la residenza e le risposte alla domanda 8.

Infine anche per spostamenti dovuti a commissioni o acquisti il test Chi Quadrato fornisce un valore di  $\chi^2$  uguale a 15,04 e una significatività pari al 0,4% < 5%: quindi è verificato che esiste un collegamento tra la residenza e le risposte alla domanda 9.

Si è dimostrata anche una correlazione tra l'età e quanto il tempo influisca sulla scelta degli spostamenti. Per la domanda 8, relativa agli spostamenti di piacere, il valore di  $\chi^2$  è uguale a 30,39 e una significatività pari al 1,6% < 5%.

Lo stesso vale per spostamenti dovuti a commissioni o acquisti della domanda 9, dove il valore di  $\chi^2$  è uguale a 32,88 e una significatività pari al 0,7% < 5% perciò è appurato che esiste una correlazione tra l'età e le risposte alla domanda 9.

L'abitudinarietà è un aspetto che è stato affrontato molto nella letteratura. In questo elaborato, il test Chi Quadrato non ha verificato risultati interessanti per quanto riguarda la correlazione tra l'età e quanto l'abitudine influisca nella scelta del percorso ma si è constatato un collegamento con il genere.

Il valore di  $\chi^2$  è uguale a 11,31 e una significatività pari al 4,53% < 5% perciò è verificato che esiste una correlazione tra genere e le risposte alla domanda 14.

Infine è stata analizzata l'importanza della sicurezza nei processi di scelta del percorso. Nelle domande 17,18,19, la sicurezza per alcuni utenti è risultata essere l'aspetto più importante quando decidono di compiere uno spostamento.

Il test Chi Quadrato fornisce risultati interessanti in quanto verifica la correlazione tra l'età e quanto la sicurezza influenzi la scelta del percorso. Il valore di  $\chi^2$  è uguale a 33,88 e una significatività pari al 0,05% < 5% perciò è verificato che esiste una correlazione tra l'età e le risposte alla tale domanda.

Oltre all'età, anche il genere è correlato a quanto la sicurezza influenzi la scelta del percorso. Il valore di  $\chi^2$  è uguale a 9,66 e una significatività pari al 4,64% < 5% perciò è verificato che esiste una correlazione tra genere e le risposte alla domanda 10.

## Conclusioni

L'intento della presente tesi è stato di esaminare la scelta del percorso nelle reti stradali con particolare attenzione alla definizione delle alternative e di analizzare alcuni aspetti dei comportamenti decisionali dal punto di vista degli automobilisti.

Nel primo capitolo si è spiegata l'importanza dell'analisi delle alternative di viaggio che serve per determinare la loro disponibilità, il numero, le caratteristiche, la varietà e la loro composizione.

Con vari metodi, come gli algoritmi di percorso più breve, nel corso degli anni numerosi autori hanno cercato di definire le alternative dell'insieme di scelta del percorso, evidenziando come le caratteristiche comportamentali degli individui influenzino la definizione dell'insieme di scelta e la scelta stessa.

Capire il comportamento decisionale degli automobilisti è fondamentale per poterne prevedere la risposta ad interventi sulla rete stradale o alla realizzazione di sistemi di infomobilità. La prima difficoltà riscontrata nell'affrontare la tematica in questa direzione è che i guidatori prendono le loro decisioni a livello individuale, mentre l'analista è spesso interessato a considerare il sistema dal punto di vista aggregato. Per effettuare delle analisi significative bisogna considerare gruppi di individui che abbiano caratteristiche simili come le stesse origini o destinazioni o che viaggino nella stessa area territoriale.

Nel secondo capitolo è stato illustrato come alcune variabili comportamentali possono essere inserite all'interno di modelli di scelta del percorso e come l'utilizzo delle nuove tecnologie (GPS) accoppiate a interviste o rilevazioni sul campo possano permettere di valutare meglio il comportamento degli automobilisti.

Per comprendere quali fossero i criteri di scelta principali a cui le persone fanno riferimento quando devono compiere una scelta di percorso, si è sviluppato un questionario che è stato sottoposto ad un campione di 89 individui residenti nella provincia di Verona.

I risultati ottenuti hanno evidenziato come il tempo di percorrenza sia l'aspetto che maggiormente interessa i guidatori. Inoltre tramite l'utilizzo del test Chi Quadrato si è potuto evidenziare come alcune risposte fossero influenzate, oltre che dal tempo di viaggio, anche dal luogo di residenza, dall'età e dal genere.

Un aspetto che meriterebbe un approfondimento ulteriore è quello della sicurezza. Dall'indagine è emerso che per alcuni automobilisti la sicurezza è considerata più importante dell'economicità e della lunghezza del percorso. Infatti si è visto che esiste una correlazione della valutazione dell'importanza della sicurezza sia con l'età che con il genere, trovando in particolare che sia le persone oltre i 40 anni che le donne in generale danno particolare importanza a questo aspetto.

Come la sicurezza influisca sulla scelta del percorso potrebbe essere un argomento di ricerca futura considerando che nell'Unione Europea, e soprattutto in Italia, la maggioranza della popolazione è di sesso femminile e di età superiore ai 40 anni (fonti Eurostat).

Potrebbe essere interessante in futuro replicare l'indagine svolta su un campione più ampio per notare se ci sono differenze nei risultati ed aggiungere domande che approfondiscano le cause dell'abitudinarietà o meno nelle scelte di percorso dei guidatori.

## **Bibliografia**

- ❖ *Abdel-Aty, Kitamura e Jovanis (1995), "New approach to route choice data collection: Multiphase, computer-aided telephone interview panel surveys using geographic information systems data base"*
- ❖ *Abdel-Aty, Kitamura e Jovanis (1997), Transportation Research: "Using stated preference data for studying the effect of advanced traffic information on drivers' route choice"*
- ❖ *Azevedo (1993): "An algorithm for the ranking of shortest path"*
- ❖ *Beckor, Ben-Akiva e Ramming (2006): "Evaluation of choice set generation algorithms for route choice models"*
- ❖ *Beckor e Prato (2008): "Methodological transferability in route choice modeling"*
- ❖ *Ben-Akiva e Boccara (1995): "Discrete choice models with latent choice sets"*
- ❖ *Ben-Akiva e Bolduc (1996): "Multinomial Probit with a Logit Kernel*  
*and a general parametric specification of the covariance structure"*
- ❖ *Ben-Akiva e Lerman (1985): "Discrete choice analysis"*
- ❖ *Ben-Akiva e Ramming (1998): "Lecture notes: Discrete choice models of traveler behavior in networks"*
- ❖ *Ben-Elia, Erev e Shiftan (2007): "The combined effect of information and experience on drivers' route-choice behavior"*
- ❖ *Bovy (2008): "On modelling route choice sets in transportation networks"*
- ❖ *Bovy e Stern (1990) "Route choice: Wayfinding in transport networks"*
- ❖ *Cascetta, Nuzzolo, Russo e Vitetta (1996): "A new choice logit model overcoming IIA problems: specification and some calibration results of interurban networks"*
- ❖ *Cascetta e Papola (2001), Transportation Research: "Random utility models with implicit availability/perception of choice alternatives for the simulation of travel demand"*

- ❖ Cascetta e Papola (2007): *"Dominance among alternatives in random utility models"*
- ❖ Cascetta, Russo, Viola e Vitetta (2000), *Transportation Research*: *"A model of route perception in urban road networks"*
- ❖ Daganzo (1977), *Transportation Science*: *"Multinomial Probit and qualitative choice: a computationally efficient algorithm"*.
- ❖ Dial (1971), *Transportation Research*: *"A probabilistic multipath traffic assignment algorithm which obviates path enumeration"*
- ❖ Fiorenzo-Catalano (2007): *"Choice set generation in multi-modal transportation networks"*
- ❖ Frejinger (2008): *"Route choice analysis: data, models, algorithms and applications"*
- ❖ Freunds Schuh (1992): *"Is there a relationship between spatial cognition and environmental patterns"*
- ❖ Gale, Pellegrino e Doherty (1990): *"The acquisition and integration of route knowledge in unfamiliar neighborhood"*
- ❖ Garling and Friman (1998): *"Psychological principles of residential choice"*
- ❖ Kaplan e Prato (2011). *"Closing the gap between behavior and models in route choice: The role of spatiotemporal constraints and latent traits in choice set formation"*
- ❖ Manski (1977), *Theory and Decision*: *"The structure of random utility models"*
- ❖ McFadden (1978): *"Modeling the Choice of Residential Location"*
- ❖ McFadden e Train (2000), *Journal of applied Econometrics*: *"Mixed MNL Models for Discrete Response"*
- ❖ Papinski, Scott e Doherty (2009), *Transportation Research*: *"Exploring the route choice decision-making process: A comparison of planned and observed routes obtained using person-based GPS"*
- ❖ Papinski, Scott e Doherty (2011), *Transportation Research*: *"A GIS-based toolkit for route choice analysis"*
- ❖ Park (1997): *"Identifying Multiple and reasonable Paths in transportatio networks"*

- ❖ *Paz e Peeta (2008): "Information-based network control strategies consistent with estimated driver behavior"*
- ❖ *Prato e Beckor (2005): "Methodology for exploratory analysis of latent factors influencing drivers' behavior"*
- ❖ *Ramming (2001): "Network knowledge and route choice"*
- ❖ *Simon (1955), Quarterly Journal of Economics: "A behavioral model of rational choice"*
- ❖ *Swait (1987): "Incorporating random constraints in discrete models of choice set generation"*
- ❖ *Swait e Ben-Akiva (1987), Transportation research: "Empirical test of constrained discrete choice model: Mode choice in Sao-Paulo, Brazil"*
- ❖ *van der Zijpp e Catalano (2005): "Path enumeration by finding the constrained K-shortest paths"*