



**SAPIENZA**  
UNIVERSITÀ DI ROMA

**Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale**

**Dottorato in Infrastrutture e Trasporti  
XXIII Ciclo  
Curriculum Ingegneria dei Trasporti**

# **Il progetto CITYMOBIL Il Dimostrativo di Roma**

Roma, 2010

Tutore: Prof. Francesco Filippi

Dottorando: Gabriele Giustiniani

## **Premessa**

La presente Tesi di Dottorato rappresenta il rapporto finale della ricerca dal titolo “Il progetto CITYMOBIL: Il Dimostrativo di Roma” che si integra con le attività che il Dottorando ha svolto nel quadro del progetto europeo CityMobil. Nello specifico il presente lavoro descrive l’analisi della domanda attesa per il Dimostrativo di Roma che sarà a breve installato nel parcheggio P1 della Nuova Fiera di Roma. Il Dimostrativo di Roma sarà un sistema di trasporto automatico a guida non vincolata che trasporterà gli utenti del parcheggio P1 della Fiera fino agli ingressi.

L’analisi della domanda svolta ha indagato i diversi fattori che incidono sulla stessa sia relativi alle caratteristiche trasportistiche del sistema come: i tempi di viaggio, i tempi di attesa alle fermate ed il comfort a bordo sia relativa ad aspetti tecnologici come l’assenza del conducente a bordo, cercando di comprendere quale potrebbe essere la reazione dell’utenza di fronte a questa innovazione. Tale aspetto è stato investigato sia confrontando il sistema proposto con un sistema di trasporto di tipo classico con conducente a bordo sia analizzando la relazione fra la domanda e gli attributi socioeconomici dell’utenza.

Il lavoro qui riportato è stato svolto dal Dottorando con la supervisione scientifica del Prof. Francesco Filippi, ed il supporto dell’Ing. Paolo Delle Site per gli aspetti relativi all’analisi della domanda.

# Indice

<b>Premessa .....</b>	<b>2</b>
<b>Indice .....</b>	<b>3</b>
<b>Indice delle Tabelle .....</b>	<b>5</b>
<b>Indice delle Figure .....</b>	<b>6</b>
<b>Introduzione.....</b>	<b>9</b>
<b>1 I sistemi di trasporto innovativi ed il progetto CityMobil .....</b>	<b>15</b>
1.1 I sistemi di trasporto innovativi: alcune definizioni .....	15
1.2 Il progetto CityMobil .....	16
1.2.1 I Dimostrativi di Heathrow e di Castellon.....	17
1.2.2 Il Dimostrativo di Roma.....	19
1.2.3 Le attività svolte nel Dimostrativo di Roma.....	41
1.3 L'obiettivo del lavoro di dottorato e le domande di ricerca.....	45
<b>2 Lo stato dell'arte nel campo dei sistemi di trasporto automatici .....</b>	<b>47</b>
2.1 Esempi di sistemi di trasporto automatici funzionanti.....	47
2.1.1 Morgantown Personal Rapid Transit.....	47
2.1.2 Rivium ParkShuttle .....	49
2.1.3 I sistemi forniti da Robosoft.....	50
2.2 Casi di studi e studi di domanda per sistemi di trasporto innovativi .....	53
<b>3 La progettazione e realizzazione delle indagini .....</b>	<b>56</b>
3.1 Definizione del disegno sperimentale.....	56
3.2 Definizione del questionario e somministrazione.....	59
3.3 Prime analisi sul campione raccolto .....	62
<b>4 Calibrazione dei modelli di domanda Logit Multinomiali .....</b>	<b>64</b>
4.1 Metodologia utilizzata .....	64
4.2 Calibrazione del modello "completo".....	66
4.3 Calibrazione del modello "finale" .....	68
4.4 L'analisi della domanda con il modello Multinomial Logit finale.....	69
4.5 La sensibilità della domanda con il modello Multinomial Logit finale al variare della distanza a piedi da percorrere .....	76

<b>5</b>	<b>Analisi dell'interazione fra la domanda e gli attributi socioeconomici ..</b>	<b>82</b>
5.1	Metodologia utilizzata .....	82
5.2	Applicazione dei modelli Mixed Logit alla domanda.....	83
5.3	Analisi delle interazioni fra la domanda e gli attributi socioeconomici con i modelli Mixed Logit.....	84
5.4	Modello Mixed Logit e interazione fra età e la domanda del CTS.....	90
5.5	Analisi della domanda con il modello Mixed Logit .....	91
<b>6</b>	<b>Analisi finali e conclusioni.....</b>	<b>98</b>
6.1	Confronto fra i risultati delle analisi svolte.....	98
6.2	Conclusioni e futuri sviluppi.....	102
<b>7</b>	<b>Bibliografia .....</b>	<b>111</b>
<b>Allegato A I questionari somministrati all'utenza</b>		
<b>Allegato B I modelli ML calibrati, script e risultati</b>		

## Indice delle Tabelle

Tabella 1 - Specifiche dei veicoli di Roma.....	30
Tabella 2 - Attributi e livelli per le diverse alternative.....	58
Tabella 3 - Valore dei parametri dei diversi attributi nel modello completo – relazione lineare fra i dati e gli attributi. ....	67
Tabella 4 - Valore dei parametri dei diversi attributi nel modello finale – relazione lineare fra i dati e gli attributi. ....	69
Tabella 5 - Gli scenari considerati al variare della distanza a piedi per raggiungere gli ingressi.....	70
Tabella 6 - Valore dei parametri dei diversi attributi nel modello ML senza interazione con gli attributi socioeconomici – sia $ASA_{CTS}$ che $ASA_{MINI}$ sono parametri stocastici con distribuzione triangolare. ....	85
Tabella 7 - Valore dei parametri dei diversi attributi nel modello ML senza interazione con gli attributi socioeconomici – solo $ASA_{CTS}$ è un parametro stocastico con distribuzione triangolare. ....	86
Tabella 8 - Modelli ML calibrati .....	87
Tabella 9 - Modello “ML_ASActs_sesso”, parametro stocastico $ASA_{CTS}$ con interazione con il fattore “sesso” con ipotesi di distribuzione normale. ....	88
Tabella 10 - Modello “ML_ASActs_edu”, parametro stocastico $ASA_{CTS}$ con interazione con il fattore “livello di istruzione” con ipotesi di distribuzione uniforme.....	89
Tabella 11 - Modello “ML_ASActs+mini_age_01”, parametro stocastici $ASA_{CTS}$ e $ASA_{MINI}$ con interazione con il fattore “age”, espresso come variabile binaria, con ipotesi di distribuzione normale. ....	89
Tabella 12 - Modello “ML_ASActs+mini_age_con”, parametri stocastici $ASA_{CTS}$ e $ASA_{MINI}$ con interazione con il fattore “age”, espresso come variabile continua, con ipotesi di distribuzione uniforme. ....	90
Tabella 13 - Modello “ML_ASActs_age_con”, parametro stocastico $ASA_{CTS}$ con interazione con il fattore “age” con ipotesi di distribuzione uniforme.....	91
Tabella 14 - Gli scenari considerati al variare dell’età dell’utenza data una distanza a piedi dagli ingressi di 400 m.....	92
Tabella 15 - Confronto fra i risultati ottenuti con il modello ML e Multinomial Logit.....	99

## Indice delle Figure

Figura 1 - Il sistema ULTra nella pista di prova di Cardiff (sinistra) e ipotesi di fermata (destra). .....	17
Figura 2 - Tracciato previsto presso Heathrow (sinistra) e vista aerea dell'area interessata dal Dimostrativo (destra). .....	18
Figura 3 - Tracciato complessivo proposto. ....	19
Figura 4 - Autobus ibrido in utilizzo nel Dimostrativo di Castellon. ....	19
Figura 5 - Localizzazione della nuova Fiera di Roma. ....	20
Figura 6 - Vista della nuova Fiera di Roma. ....	21
Figura 7 - Vista del Percorso del CTS. ....	21
Figura 8 - I diversi componenti del CTS. ....	23
Figura 9 - Esempio di fermata del CTS. ....	28
Figura 10 - La Cybercar di Roma vista da due diverse angolazioni. ....	29
Figura 11 - Le dimensioni della piattaforma. ....	32
Figura 12- Abitacolo visto dall'alto. ....	33
Figura 13 - Disposizione dell'abitacolo. ....	33
Figura 14 - Esempi di traiettorie del CTS. ....	34
Figura 15 - Individuazione degli ostacoli della Cybercar. ....	34
Figura 16 - Telecamera di sorveglianza nel veicolo. ....	35
Figura 17 - Possibili traiettorie per superare i veicoli fermi in stazione. ....	38
Figura 18 - Collocazione della IUM nel veicolo. ....	38
Figura 19 - Dettaglio della IUM nelle Cybercar. ....	39
Figura 20 - Dettagli dei pulsanti della IUM passeggeri. ....	39
Figura 21 - Interfaccia dell'Operatore. ....	40
Figura 22 - Foto del corso di formazione presso la sede di Robosoft. Come ricaricare il veicolo. ....	42
Figura 23 - Foto del veicolo presso la sede di Robosoft. ....	43
Figura 24 - Il veicolo durante i test presso il deposito della Magliana. ....	44
Figura 25 - Il veicolo durante i test presso il deposito della Magliana. In primo piano l'antenna base del GPS differenziale che permette il funzionamento del veicolo e la sua localizzazione. ....	44
Figura 26 - Relazione fra livello di domanda del CTS le sue caratteristiche e le caratteristiche socioeconomiche degli utenti. ....	46
Figura 27 - Immagine del PRT di Morgantown. ....	48

Figura 28 - Il veicolo utilizzato nel Rivium ParkShuttle.....	49
Figura 29 - Alcune immagini del CTS press oil Il Forte Simserhof. ....	51
Figura 30 - Il circuito del CTS di Vulcania.....	52
Figura 31 - Un immagine del veicolo utilizzato presso Vulcania. ....	52
Figura 32 - Il foglio fornito all'intervistato per visualizzare le due alternative proposte....	61
Figura 33 - Composizione di genere dei due campioni intervistati.....	62
Figura 34 - Ripartizione percentuale nei due campioni per titolo di studio. ....	62
Figura 35 - Ripartizione percentuale dei due campioni per fascia di età. ....	63
Figura 36 - Ripartizione percentuale delle scelte, in termini di modo di trasporto, effettuate nei due campioni.....	63
Figura 37 - Ripartizione modale nel P1 al variare della distanza a piedi in presenza di: giorno, sereno e posto a bordo garantito (Scenario 1).....	71
Figura 38 - Ripartizione modale nel P1 al variare della distanza a piedi in presenza di: buio con luce artificiale, sereno e posto a bordo garantito (Scenario 2).....	72
Figura 39 - Ripartizione modale nel P1 al variare della distanza a piedi in presenza di: giorno, pioggia e con posto a bordo garantito (Scenario 3).....	72
Figura 40 - Ripartizione modale nel P1 al variare della distanza a piedi in presenza di: giorno, sereno e con posto a bordo NON garantito (Scenario 4).....	73
Figura 41 - Ripartizione modale nel P1 al variare della distanza a piedi in presenza di: buio con luce artificiale, sereno e con posto a bordo NON garantito (Scenario 5)..	73
Figura 42 - Ripartizione modale nel P1 al variare della distanza a piedi in presenza di: buio con luce artificiale, pioggia e con posto a bordo garantito (Scenario 6). ....	74
Figura 43 - Ripartizione modale nel P1 al variare della distanza a piedi in presenza di: giorno, pioggia e con posto a bordo garantito (Scenario 7).....	74
Figura 44 - Domanda di trasporto nel P1 al variare della distanza a piedi in presenza di: buio con luce artificiale, pioggia e con posto a bordo NON garantito (Scenario 8).....	75
Figura 45 - Variazione della ripartizione modale per ogni 100 m. aggiuntivi in presenza di: giorno, sereno e posto a bordo garantito (Scenario 1).....	77
Figura 46 - Variazione della ripartizione modale per ogni 100 m. aggiuntivi in presenza di: buio con luce artificiale, sereno e posto a bordo garantito (Scenario 2). ....	77
Figura 47 - Variazione della ripartizione modale per ogni 100 m. aggiuntivi in presenza di: giorno, pioggia e con posto a bordo garantito (Scenario 3).....	78
Figura 48 - Variazione della ripartizione modale per ogni 100 m. aggiuntivi in presenza di: giorno, sereno e con posto a bordo NON garantito (Scenario 4).....	78
Figura 49 - Variazione della ripartizione modale per ogni 100 m. aggiuntivi in presenza di: buio con luce artificiale, sereno e con posto a bordo NON garantito (Scenario 5).....	79

Figura 50 - Variazione della ripartizione modale per ogni 100 m. aggiuntivi in presenza di: buio con luce artificiale, pioggia e con posto a bordo garantito (Scenario 6).	80
Figura 51 - Variazione della ripartizione modale per ogni 100 m. aggiuntivi in presenza di: giorno, pioggia e con posto a bordo garantito (Scenario 7).	80
Figura 52 - Variazione della ripartizione modale per ogni 100 m. aggiuntivi in presenza di: buio con luce artificiale, pioggia e con posto a bordo NON garantito (Scenario 8).	81
Figura 53 - Ripartizione modale nel P1 al variare della età dell'utenza in presenza di: giorno, sereno e posto a bordo garantito (Scenario 1) con una distanza a piedi dall'ingresso pari a 400 m.	93
Figura 54 - Ripartizione modale nel P1 al variare dell'età dell'utenza in presenza di: buio con luce artificiale, sereno e posto a bordo garantito (Scenario 2) con una distanza a piedi dall'ingresso pari a 400 m.	93
Figura 55 - Ripartizione modale nel P1 al variare dell'età dell'utenza in presenza di: giorno, pioggia e posto a bordo garantito (Scenario 3) con una distanza a piedi dall'ingresso pari a 400 m.	94
Figura 56 - Ripartizione modale nel P1 al variare della distanza a piedi in presenza di: giorno, sereno e con posto a bordo NON garantito (Scenario 4) con una distanza a piedi dall'ingresso pari a 400 m.	95
Figura 57 - Ripartizione modale nel P1 al variare dell'età dell'utenza in presenza di: buio con luce artificiale, sereno e con posto a bordo NON garantito (Scenario 5) con una distanza a piedi dall'ingresso pari a 400 m.	96
Figura 58 - Ripartizione modale nel P1 al variare dell'età dell'utenza in presenza di: buio con luce artificiale, pioggia e con posto a bordo garantito (Scenario 6) con una distanza a piedi dall'ingresso pari a 400 m.	96
Figura 59 - Ripartizione modale nel P1 al variare dell'età dell'utenza in presenza di: buio con luce artificiale, pioggia e con posto a bordo garantito (Scenario 7) con una distanza a piedi dall'ingresso pari a 400 m.	97
Figura 60 - Ripartizione modale nel P1 al variare della distanza a piedi in presenza di: buio con luce artificiale, pioggia e con posto a bordo NON garantito (Scenario 8) con una distanza a piedi dall'ingresso pari a 400 m.	97
Figura 61 - Confronto fra la ripartizione modale nel P1 nello Scenario 4 (giorno, sereno e con posto a bordo NON garantito) fra i modelli Multinomial Logit finale (sulla sinistra) e ML (sulla destra).	101
Figura 62 - Confronto fra la ripartizione modale nel P1 nello Scenario 6 (buio con luce artificiale, pioggia e con posto a bordo garantito) fra i modelli Multinomial Logit finale (sulla sinistra) e ML (sulla destra).	101

## Introduzione

Uno dei principali problemi delle grandi aree urbane risulta essere la congestione derivante dall'uso intensivo del veicolo privato con ricadute negative sui crescenti tempi di percorrenza, sull'ambiente in termini di inquinamento dell'aria ed acustico e consumo di suolo. Il trasporto pubblico non sempre riesce a dare una risposta efficace mancando della capacità di tenere insieme l'esigenze di mobilità di grandi masse di utenti e la specificità dei bisogni di mobilità di ogni singolo utente.

Il progetto europeo CityMobil mira a fornire delle possibili soluzioni a tale problema contribuendo a una più efficace organizzazione del trasporto urbano, per un uso più razionale del traffico motorizzato, una riduzione della congestione e dell'inquinamento, una guida più sicura, una migliore qualità della vita e una maggiore integrazione con lo sviluppo degli spazi. Per realizzare questi obiettivi sono stati elaborati concetti avanzati per veicoli stradali all'avanguardia e per i passeggeri. Inoltre, si introducono nuovi strumenti di gestione del traffico urbano e sono rimosse barriere che ostacolano l'introduzione di sistemi automatizzati.

Nel progetto CityMobil il sottoprogetto 1 si occupa delle attività di implementazione e dimostrazione di sistemi di trasporto innovativi. In particolare tre dimostrativi permanenti sono stati realizzati o sono in via di realizzazione con lo scopo di aprirli permanentemente al pubblico nei seguenti siti:

- L'aeroporto di Heathrow (Regno Unito) dove è stato inserito un Personal Rapid Transit (PRT nel seguito) che collega il parcheggio per le lunghe soste con il nuovo terminal dell'aeroporto. Il PRT è un sistema trasporto automatico in cui i veicoli con capienza di 4-6 passeggeri forniscono un servizio a domanda, senza soste intermedie, fra le fermate di una rete attrezzata e completamente segregata.
- Castellón (Spagna) dove è stato inserito un Advanced Bus Rapid Transit (ABRT nel seguito). Il sistema consiste in un bus, che grazie a sistemi di bordo, assiste il conducente nella guida. Il sistema in questa prima fase collega la zona universitaria con il centro della città.
- Nuova Fiera di Roma dove sarà inserito un Cybernetic Transport System (CTS nel seguito) nel parcheggio P1 per fornire agli utenti un servizio da e per gli ingressi della Fiera. Il CTS è un sistema composto da veicoli automatici, detti Cybercar, che possono fornire un servizio a domanda con o senza soste intermedie fra vari punti di una rete attrezzata. Le Cybercar possono operare in ambiente promiscuo con pedoni e ciclisti, sono muniti di sistemi di individuazione degli ostacoli e trasportano fino a 30 passeggeri.

Il presente lavoro di dottorato si integra con le attività del progetto CityMobil e completa e arricchisce le attività del Dimostrativo di Roma, di cui è prevista l'apertura al pubblico nell'autunno del 2011. Nello specifico l'obiettivo del presente lavoro è *stimare il livello di domanda al variare delle diverse condizioni operative del sistema*.

Tale obiettivo pone una serie di questioni perché sicuramente la domanda è collegata alla qualità del servizio offerto ma l'innovativa stessa del sistema può avere un impatto sulla domanda attesa e tale impatto può cambiare in base agli attributi socioeconomici dell'utenza.

In base all'obiettivo del presente lavoro e alla luce delle considerazioni sopra riportate le domande di ricerca a cui si è data una risposta nel presente lavoro sono:

- Come varia la domanda al variare della qualità del servizio?
- Quali sono le differenze di preferenze da parte dell'utenza fra un CTS e un sistema classico?
- Esistono relazione fra i diversi attributi socioeconomici degli utenti e la domanda?

Alla luce di tali domande di ricerca si è quindi analizzata lo stato dell'arte nel campo dei sistemi innovativi di trasporto sia per quanto riguarda sistemi simili attualmente operanti e aperti al pubblico sia analizzando gli studi di domanda relativi a tali sistemi di trasporto. I risultati emersi dall'analisi dei pochi studi effettuati in questo settore sono favorevoli ai sistemi di trasporto innovati evidenziando una capacità attrattiva nei confronti degli utenti di tali sistemi.

Un tratto comune di molti di questi studi è che, in assenza di disponibilità di dati sulla domanda reale di sistemi funzionanti, al fine di calibrare i modelli di domanda, si è utilizzato il metodo delle *Stated Preferences* (SP - Preferenze Dichiarate) che consiste nel sottoporre ai potenziali utenti degli scenari ipotetici di scelta.

Dato che il CTS di Roma non è stato ancora implementato e il metodo SP è stato utilizzato in condizioni simili, si è deciso di applicarlo anche nel presente lavoro. Definito tale aspetto si è proceduto a definire le alternative ed il relativo disegno sperimentale.

Le alternative proposte agli utenti del parcheggio P1 sono utilizzo del CTS per raggiungere gli ingressi della Fiera dal parcheggio P1 o raggiungere gli ingressi a piedi. Tale alternative sono state scelte perché queste saranno le alternative a disposizione degli utenti del P1 una volta installato il CTS.

Per quel che riguarda gli attributi sono state individuate tre categorie: (i) una relativa agli attributi di scenario cioè presenza o meno di luce e condizione meteo, (ii) una relativa all'alternativa CTS che è descritta con i seguenti attributi: distanza per raggiungere le

fermate, tempo di attesa alle fermate, tempo di viaggio a bordo e comfort a bordo (inteso come garanzia o no del posto seduto). (iii) l'ultima relativa all'alternativa tutto a piedi dove si è considerato il solo attributo distanza a piedi per raggiungere gli ingressi.

Definiti gli scenari di scelta e gli attributi si è passato a definire i questionari ed i tempi e i modi di somministrazione. In questa fase, al fine di evidenziare eventuali preferenze da parte dell'utenza verso sistemi di trasporto innovativo ovvero tradizionale, si è deciso di somministrare a due campioni di utenti del parcheggio P1 distinti e casuali due scenari di scelta e quindi due questionari. In uno veniva proposta la scelta per raggiungere gli ingressi fra il CTS vs tutto a piedi e nell'altra fra un Minibus elettrico (di quelli operanti nel centro di Roma) vs tutto a piedi. I due scenari di scelta avevano identici disegni sperimentali e quindi l'eventuale preferenza del CTS anziché del Minibus da parte dell'utenza si sarebbe esplicitata nei modelli di domanda attraverso gli Attributi Specifici dell'Alternativa (ASA) diversi nel caso del CTS o del Minibus.

I questionari sono divisi in tre sezioni. La prima, differente per la coppia di scelta CTS vs tutto a piedi e Minibus vs tutto a piedi, relativa alla descrizione dell'alternative e dei sistemi proposti. Una seconda sezione, comune ad ambedue i questionari, relativa agli attributi socioeconomici dell'intervistato. Infine una terza sezione, identica in termini di disegno sperimentale fra le due coppie di scelta, in cui a ogni utente veniva chiesto di scegliere fra CTS vs tutto a piedi o Minibus vs tutto a piedi in diversi scenari.

Al fine di ridurre il numero di scenari da sottoporre ad ogni intervistato si sono utilizzate in maniera sequenziale la tecnica del pieno fattoriale fratto e quello della scomposizione a blocchi. In questo modo si è passati da 288 scenari di scelta possibili, dati gli attributi ed i relativi livelli che potevano assumere, a 24 scenari suddivisi in 6 blocchi ognuno somministrato ad un ugual numero di intervistati.

Le interviste, di tipo frontale, sono state somministrate nel parcheggio P1 a due campioni distinti e casuali di utenti del parcheggio nei mesi di Novembre e Dicembre 2009. Sono state somministrate un totale di 476 interviste valide così distribuite fra i due campioni: CTS vs tutto a piedi (238 interviste), Minibus vs Tutto a piedi (238 interviste).

I risultati delle interviste sono stati utilizzati per calibrare modelli di domanda di tipo Multinomial Logit utilizzando congiuntamente i dati derivanti dai due questionari somministrati. Nel primo modello di domanda calibrato, definito modello completo è emerso che non tutti gli attributi sono statisticamente significativi. Nello specifico gli attributi relativi a: tempo a bordo, distanza a piedi per raggiungere le fermate e tempo di attesa alle fermate sono risultati statisticamente non significativi mentre è risultato statisticamente significativo e rilevante il comfort a bordo. Sono inoltre risultati statisticamente significativi e rilevanti sia gli attributi di scenario clima e luce, che la

distanza a piedi per raggiungere gli ingressi e gli Attributi Specifici delle Alternative del Minibus e del CTS.

Alla luce di questi risultati e al fine di analizzare l'andamento della domanda al variare della distanza a piedi per raggiungere gli ingressi nelle diverse condizioni operative si è proceduto a definire un modello Multinomial Logit finale in cui gli attributi risultati non significativi nel modello completo sono stati rimossi.

Una volta stimato, il modello Multinomial Logit finale ha evidenziato che tutti gli attributi risultavano statisticamente significativi e nello specifico:

- Gli attributi di scenario clima e luce risultavano i più rilevanti incidendo pesantemente sulla domanda.
- L'attributo comfort a bordo incide sulla domanda e la presenza di posto garantito a bordo risulta avvantaggiare i sistemi di trasporto;
- Per quel che riguarda l'attributo distanza a piedi al suo crescere la ripartizione modale dell'alternativa tutto a piedi diminuisce a favore di quella dei sistemi di trasporto;
- Riguardo agli ASA,  $ASA_{CTS}$  risulta essere tre volte più grande in termini assoluti rispetto a  $ASA_{MINI}$ . Questo indica che i sistemi innovativi di trasporto sono guardati con favore dall'utenza che probabilmente li ritiene più affidabili.

Calibrato il modello si è passati all'analisi della domanda in 8 scenari in cui variano gli attributi: clima, luce e comfort a bordo. Per ogni scenario l'andamento della ripartizione modale rispetto alla distanza a piedi.

Terminata l'analisi della domanda con il modello Multinomial Logit finale si è proceduto ad analizzare la presenza di correlazioni significative fra gli attributi socioeconomici del campione e la domanda con particolare riferimento ai seguenti attributi: sesso, livello di istruzione ed età.

Per svolgere questa analisi si sono utilizzati modelli di domanda di tipo Mixed Logit (ML nel seguito) che permettono, eliminando alcune ipotesi restrittive presenti nei modelli Multinomial Logit, di investigare possibili correlazioni fra residui aleatori di diverse alternative e di investigare la presenza di eterogeneità, rispetto ad un dato attributo come gli ASA nel presente caso, nella popolazione. In sostanza uno o più parametri del modello, invece di essere trattati come deterministici, sono trattati come stocastici e quindi sono rappresentati, ipotizzando una distribuzione (nel presente caso, uniforme, triangolare e normale), con una media ed una varianza ed un eventuale correlazione con dei parametri sottostanti (nel presente caso gli attributi socioeconomici).

Un primo modello ML è stato calibrato per investigare la possibilità che gli ASA presentassero delle eterogeneità e quindi si prestassero ad essere trattati come parametri stocastici anziché deterministici. L'analisi ha evidenziato che  $ASA_{CTS}$  si presta a essere rappresentato come parametro stocastico mentre  $ASA_{MINI}$  no.

A valle di questo risultato si è investigata la presenza di una relazione, statisticamente significativa, fra  $ASA_{CTS}$  e gli attributi socioeconomici del campione. L'analisi ha evidenziato che tale relazione è significativa solo nel caso dell'età rappresentata come variabile continua. Tale relazione è risultata positiva e quindi al crescere dell'età la domanda del CTS risulta crescere (mentre quella del Minibus è invariante con l'età). Inoltre, per qualunque fascia di età,  $ASA_{CTS}$  è sempre maggiore di  $ASA_{MINI}$ .

A valle della calibrazione del modello ML si è proceduto ad analizzare come varia la ripartizione modale del CTS al variare dell'età fra i 20 e i 65 anni. Sono stati analizzati gli stessi 8 scenari analizzati per il modello Multinomial Logit finale imponendo una distanza da percorrere a piedi pari a 400 m.

L'ultima analisi svolta ha riguardato il confronto degli scenari ottenuti con il Multinomial Logit finale e con il ML. Il confronto è stato effettuato in due scenari: lo Scenario 4 (giorno, sereno con posto a bordo NON garantito) che è risultato essere il più vantaggioso per l'alternativa tutto a piedi sia nel caso di CTS che di Minibus e nello Scenario 6 (buio con luce artificiale, pioggia e posto a bordo garantito) che invece è risultato il più vantaggioso per le alternative CTS e Minibus.

Il presente lavoro è strutturato in 6 capitoli. Nel Capitolo 1 è riportata una breve descrizione del progetto CityMobil dando particolare risalto al Dimostrativo di Roma e alle attività svolte all'interno di esso. Il Capitolo conclude riportando l'obiettivo del presente lavoro di ricerca e le domande di ricerca ad esso associate.

Nel Capitolo 2 viene riportata la descrizione dello stato dell'arte nel campo dei sistemi di trasporto innovativi sia descrivendo sinteticamente i sistemi di trasporto innovativi esistenti ed aperti al pubblico in questo momento sia riportando quegli studi di domanda svolti su questo tipo di sistemi e presenti in letteratura.

Nel Capitolo 3 viene descritto il disegno sperimentale, la metodologia utilizzata per mettere a punto i questionari e le modalità con cui questi sono stati somministrati all'utenza del parcheggio P1. Il Capitolo conclude con una prima analisi su quanto emerso dalla somministrazione dei questionari.

Nel Capitolo 4, dopo una breve descrizione del background teorico sottostante i modelli di domanda Multinomial Logit, si definiscono i modelli e si riportano i risultati emersi dalla stima degli stessi con l'ausilio del software NLOGIT 3.0. A valle della stima dei modelli si

analizza come varia la ripartizione modale delle diverse alternative ipotizzate nel parcheggio P1 al variare degli attributi: clima, luce e comfort a bordo per diverse distanze a piedi per raggiungere gli ingressi.

Nel Capitolo 5 si analizza la presenza di correlazioni fra la domanda ed e gli attributi socioeconomici del campione. Tale correlazione viene investigata con modelli di domanda di tipo Mixed Logit di cui è riportata anche una sintetica descrizione del background teorico. Nel Capitolo si riportano i risultati emersi dalla stima dei modelli e l'analisi della variazione della domanda al variare dell'età dell'utenza, l'unico attributo socioeconomico che ha mostrato correlazioni statisticamente significative con la domanda. Anche per il modelli Mixed Logit ci si è avvalsi del software NLOGIT 3.0 per la stima.

Concludendo, nel Capitolo 6, sono riportate le analisi conclusive dove i risultati ottenuti con il modello Multinomial Logit finale e con il modello ML sono messi a confronto ed analizzati. A seguire sono riportate le conclusioni e, dopo una sintetica descrizione della metodologia utilizzata nel presente lavoro, sono sintetizzati i risultati raggiunti, coerenti con l'obiettivo del presente lavoro ed indicati i possibili futuri sviluppi della ricerca nel campo della domanda dei sistemi di trasporto innovativi.

# 1 I sistemi di trasporto innovativi ed il progetto CityMobil

Nel presente capitolo saranno fornite le definizioni dei diversi sistemi di trasporto innovativi oggetto del lavoro di dottorato. A valle di questo sarà descritto il progetto europeo di ricerca CityMobil che mira a rimuovere gli ostacoli alla diffusione dei sistemi di trasporto innovativi anche attraverso la realizzazione e l'apertura al pubblico di dei seguenti Dimostrativi:

- L'aeroporto di Heathrow (Regno Unito) dove è stato inserito un Personal Rapid Transit (PRT nel seguito);
- Castellón (Spagna) dove è stato inserito un Advanced Bus Rapid Transit (ABRT nel seguito);
- Nuova Fiera di Roma dove sarà inserito un Cybernetic Transport System (CTS nel seguito).

I tre dimostrativi saranno descritti e particolare attenzione sarà data al Dimostrativo di Roma e alle attività fin'ora svolte all'interno di esso.

In conclusione, dopo aver fornito un adeguato inquadramento del contesto in cui sono state svolte le attività di ricerca si descriverà l'obiettivo del lavoro di dottorato e le domande di ricerca ad esso associate.

## **1.1 I sistemi di trasporto innovativi: alcune definizioni**

Nel presente lavoro si farà riferimento a sistemi di trasporto innovativo che prevedono la guida automatica o semiautomatica e non vincolata lungo un percorso assegnato. Nello specifico con il termine sistemi di trasporto innovativo si fa riferimento a tre diversi tipi di sistemi di seguito sintetizzati:

- Personal Rapid Transit (PRT). Consistono in sistemi di trasporto in cui i veicoli (generalmente indicati con il nome di Pod), senza conducente e di piccole dimensioni (generalmente 4-6 passeggeri), operano su una rete attrezzata e segregata rispetto agli altri sistemi di trasporto per fornire un servizio a domanda fra le fermate della rete stessa. Concettualmente l'idea matura negli anni 60 e un primo applicativo è stato realizzato a Morgantown (vedi 2.1.1) a metà degli anni settanta. Da allora, nonostante il miglioramento tecnico avvenuto negli ultimi 40 anni nel campo dell'automazione e della robotica, non sono stati implementati ed aperti al pubblico altri sistemi simili. Esistono invece diverse piste di prova dove diversi PRT sono in fase avanzata di test.

- Cybernetic Transport System (CTS). Consistono in veicoli (generalmente indicati come Cybercar), senza conducente e di medie dimensioni (generalmente 20-30 passeggeri) che operano su una rete attrezzata fornendo servizio a domanda o a frequenza fissa fra le fermate della stessa. I veicoli sono pensati e progettati per operare in ambiente promiscuo con altri sistemi di trasporto e quindi sono forniti di sistemi d'individuazione degli ostacoli come scanner laser e sensori a infrasuoni. Il concetto fu sviluppato a partire dai primi anni novanta anche grazie al forte sviluppo nel campo dell'automazione e della robotica e alcuni esempi di questi sistemi funzionanti ed aperti al pubblico sono riportati nel Capitolo 2.
- Advanced Bus Rapid Transit (ABRT). Tali sistemi rappresentano un miglioramento del concetto di Bus Rapid Transit grazie all'integrazione di sistemi robotizzati di supporto alla guida. In questo tipo di sistemi, al fine di garantire comunque la promiscuità con altri sistemi di trasporto, il conducente è a bordo ma è supportato nello svolgimento della propria mansione di guida da sistemi di guida automatica che gli consentono di lasciare i comandi e semplicemente supervisionare la marcia del veicolo. I vantaggi di questi sistemi sono in una riduzione delle sezioni trasversali delle corsie ad essi dedicati ed in un migliore allineamento fra il veicolo e la banchina nelle fasi di fermata.

## **1.2 Il progetto CityMobil**

Il progetto CityMobil è un progetto integrato co-finanziato dalla Commissione Europea che mira a rimuovere gli ostacoli alla diffusione dei sistemi di trasporto innovativi.

Nel progetto CityMobil il sottoprogetto 1 si occupa delle attività di implementazione e dimostrazione di sistemi di trasporto innovativi. In particolare tre dimostrativi permanenti sono stati realizzati o sono in via di realizzazione con lo scopo di aprirli permanentemente al pubblico nei seguenti siti:

- L'aeroporto di Heathrow (Regno Unito) dove è stato inserito un Personal Rapid Transit (PRT nel seguito) che collega il parcheggio per le lunghe soste con il nuovo terminal dell'aeroporto.
- Castellón (Spagna) dove è stato inserito un Advanced Bus Rapid Transit (ABRT nel seguito). Il sistema consiste in un bus, che grazie a sistemi di bordo, assiste il conducente nella guida. Il sistema in questa prima fase collega la zona universitaria con il centro della città.
- Nuova Fiera di Roma dove sarà inserito un Cybernetic Transport System (CTS nel seguito) nel parcheggio P1 per fornire agli utenti un servizio da e per gli ingressi della Fiera. Le Cybercar presenti nel Dimostrativo di Roma

sono munite di sistemi di individuazione degli ostacoli e trasportano fino a 30 passeggeri.

I tre siti sono stati selezionati dopo aver verificato la presenza di un adeguato supporto politico e finanziario, fattori considerati fondamentali per il successo dei dimostrativi e quindi del progetto e, per ognuno di essi, un consorzio locale formato da enti pubblici e società private è responsabile per l'implementazione, la gestione, i test e la raccolta dei dati.

Il progetto CityMobil, cominciato nel 2006 e con termine previsto nel 2011, vede coinvolti i principali centri di ricerca europei come il TNO, INRIA, IKA, DITS e l'ITS e il co-finanziamento da parte della Commissione Europea è pari a circa 11 milioni di euro.

### 1.2.1 I Dimostrativi di Heathrow e di Castellon

#### *Il Dimostrativo di Heathrow*

L'obiettivo del Dimostrativo di Heathrow è la realizzazione di un PRT presso l'aeroporto omonimo che serve Londra. Un aspetto fondamentale da valutare per il progetto CityMobil è l'efficacia e l'efficienza del PRT in questa applicazione.

Il PRT utilizzato in questo Dimostrativo è l'ULTra (Urban Light Transport – vedi Figura 1) progettato e costruito in previsione dello sviluppo dei PRT in ambito urbano.



Figura 1 - Il sistema ULTra nella pista di prova di Cardiff (sinistra) e ipotesi di fermata (destra).

Il sistema è basato su un piccolo veicolo senza conducente a trazione elettrica, leggero e ad alta efficienza energetica che si muove su una rete segregata fornendo agli utenti un servizio personale a domanda, senza fermate intermedie e con ridotti o nulli tempi di attesa. Il veicolo può portare fino a quattro passeggeri.

Il PRT com'è pensato offre gli stessi vantaggi della macchina combinati con quelli di una metro leggera ma con un investimento molto minore.

Lo sviluppo del primo prototipo è terminato con il test presso la pista di prova di Cardiff e con l'autorizzazione al trasporto passeggeri da parte del *HM Rail Inspectorate* (Her

*Majesty's Railway Inspectorate* è l'ente pubblico del Regno Unito che verifica la sicurezza delle ferrovie e delle reti tranviarie e ne autorizza l'esercizio).

Anche a seguito di tale successo nell'ottobre 2005 la BAA (*British Airport Authority*: la società che possiede l'aeroporto di Heathrow, [www.baa.com](http://www.baa.com)) ha annunciato l'impegno ad installare un PRT basato sul sistema ULTra nell'aeroporto di Heathrow. Il progetto pilota, ora in fase di test, consiste in una monorotaia di lunghezza complessiva di 3.9 km (vedi Figura 2) che collega il parcheggio con il nuovo Terminal 5 dell'aeroporto su cui opereranno 16 veicoli. In caso di successo il sistema verrà esteso progressivamente a tutta l'area aeroportuale (Benmimoun et Alii, 2009).



Figura 2 - Tracciato previsto presso Heathrow (sinistra) e vista aerea dell'area interessata dal Dimostrativo (destra).

### ***Il Dimostrativo di Castellon***

L'obiettivo del Dimostrativo di Castellon è quello di realizzare un sistema di trasporto ibrido che colleghi l'università, il centro città di Castellon con quella di Benecàssim e la costa.

Il sistema proposto è strutturato su due corridoi per il trasporto pubblico di lunghezza complessiva pari a 40 km la maggior parte su corsie preferenziali (vedi Figura 3).

Allo stato attuale è in prova un filobus a trazione elettrica/diesel con un sistema di guida ibrido (vedi Figura 4). Questa scelta permette di combinare le capacità di una metro leggera con la flessibilità, l'accessibilità e i costi ridotti di una linea di autobus. Il sistema di guida ibrido supporterà il conducente sostituendolo nelle tratte segregate consentendo così di avere corsie preferenziali di larghezza pari a soli 3 m. anziché a 3,75 m. o a 4 m. Inoltre il sistema di guida del veicolo consentirà manovre di accosto alla fermata più precise garantendo una migliore accessibilità al mezzo.

La possibilità di avere corsie preferenziali ridotte consentirà l'inserimento di tali infrastrutture anche in quei tratti di strada in cui allo stato attuale non è possibile aumentando l'affidabilità e le velocità commerciali del sistema stesso.



Figura 3 - Tracciato complessivo proposto.

Fuori dalle corsie preferenziali i veicoli potranno operare normalmente garantendo una copertura del territorio maggiore di quella ottenibile con una metro leggera.



Figura 4 - Autobus ibrido in utilizzo nel Dimostrativo di Castellon.

La prima linea, co-finanziata da CityMobil, in parte già realizzata ed in parte in via di realizzazione, sarà il corridoio nord che collega l'Università con il centro città, e in futuro raggiungerà la costa e Benicàssim un importante località turistica a circa 20 Km da Castellon (Benmimoun et Alii, 2009).

### 1.2.2 Il Dimostrativo di Roma

Roma ha costruito, nel 2006, il nuovo centro fieristico per sostituire il vecchio, che si trovava all'interno della città, presentava problemi di parcheggio e di trasporti pubblici e aveva un'area limitata per le esposizioni. La Nuova Fiera di Roma si propone di diventare una delle più importanti aree espositive d'Europa.

La Nuova Fiera di Roma si trova nei pressi dell'aeroporto di Fiumicino a occidente della città, a 3 chilometri di distanza dal raccordo anulare e a 16 dal centro della città, lungo l'autostrada e il collegamento ferroviario che va in direzione dell'aeroporto (vedi Figura 5). Per questo motivo la Nuova Fiera di Roma può essere raggiunta non solo in automobile ma anche con il treno che porta da Roma all'aeroporto di Fiumicino.

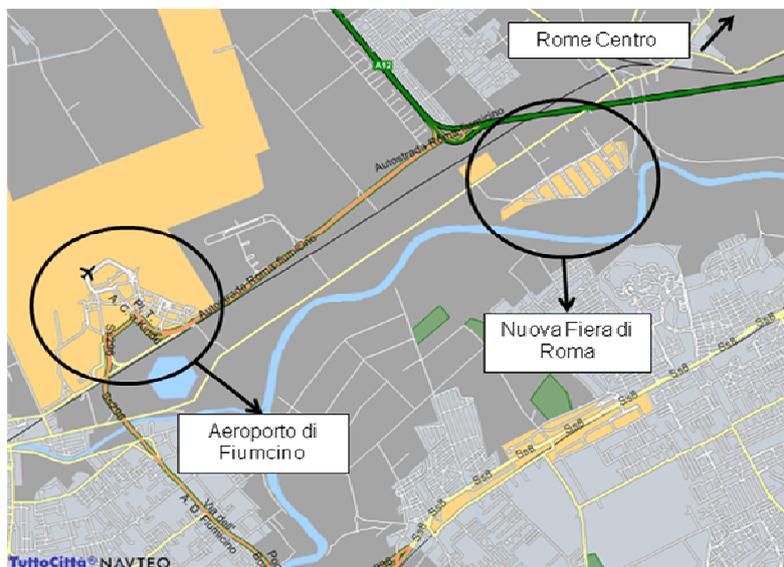


Figura 5 - Localizzazione della nuova Fiera di Roma.

Il sistema di trasporto alla base del Dimostrativo di Roma servirà il parcheggio principale (parcheggio P1), che si trova di fronte all'ingresso nord della Fiera (vedi Figura 6).

Gli obiettivi generali del Dimostrativo di Roma possono essere sintetizzati come segue:

- miglioramento del sistema di trasporto;
- maggiore accettazione dei servizi di trasporto pubblico da parte della cittadinanza;
- dare prova dell'economicità del CTS;
- dimostrazione della maturità tecnica di questa tecnologia;
- definizione di un quadro giuridico per l'omologazione di tali sistemi di trasporto.

Allo stato attuale il parcheggio P1 ha una capienza di 2,500 posti auto. I visitatori parcheggiano senza alcun ordine particolare, ma cercando semplicemente il posto all'arrivo. Tuttavia ci sono posti auto nel parcheggio che distano anche 900 metri dagli ingressi della Fiera. Ciò significa che in alcuni casi si deve camminare più di 10 minuti per raggiungere la Fiera e per ritornare alle automobili.



Figura 6 - Vista della nuova Fiera di Roma.

Per evitare questo problema, il parcheggio è stato ri-progettato in modo da inserire al suo interno un corridoio per le Cybercar, che possa raccogliere i passeggeri dopo che hanno parcheggiato e condurli ai punti d'ingresso della Nuova Fiera.

Il corridoio per la Cybercar proposto dai partner di Roma è lungo in tutto 1,620 metri. Tutto il sistema CTS comprende 11 fermate e la stragrande maggioranza dei posti auto nei parcheggi si trova in un raggio di cento metri dalle stesse. Il percorso è completamente isolato da una recinzione e le banchine hanno porte che si aprono una volta che le Cybercar entrano nella stazione. Due delle stazioni si trovano rispettivamente nei pressi degli ingressi est e nord della Nuova Fiera di Roma (vedi Figura 7).

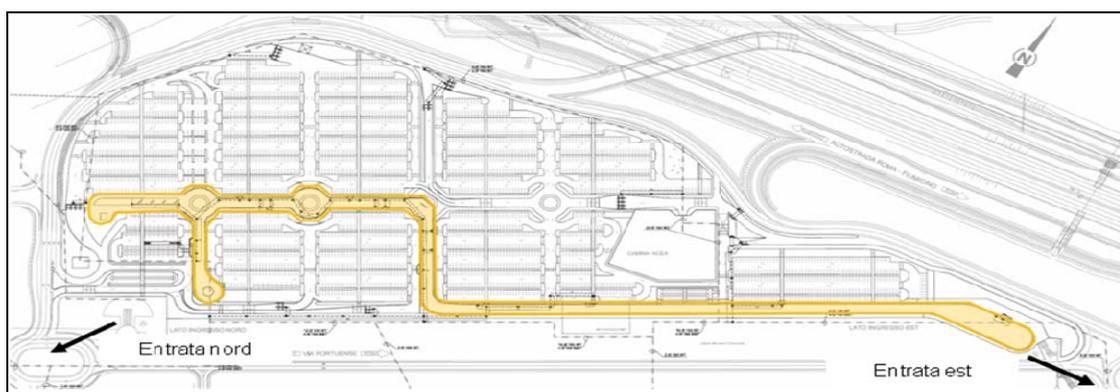


Figura 7 - Vista del Percorso del CTS.

Da un lato un CTS completamente isolato costituisce un limite. Infatti le Cybercar sono provviste di sistemi di individuazione di ostacoli che possono essere utilizzati in un ambiente misto con pedoni e ciclisti. D'altro canto nessun CTS è stato mai completamente

omologato in Europa e una prudente strategia che punta a un'omologazione graduale è probabilmente più efficace per la realizzazione di un CTS omologato e aperto al pubblico.

### ***Componenti del CTS***

Il CTS è stato progettato per essere in grado di fornire un servizio a domanda agli utenti in ingresso/uscita dalla Fiera di Roma in automobile. Il sistema nel complesso è formato da quattro componenti:

- Le Cybercar (i veicoli);
- Il sistema di controllo del CTS;
- Il sistema di informazione utenti;
- Le opere civili.

Ogni componente ha la sua funzione nell'economia generale di un CTS che fornisce un servizio di trasporto.

Le Cybercar sono veicoli a guida automatica in grado di muoversi lungo una traiettoria definita e sono provviste di un sistema di individuazione di ostacoli. Nel Dimostrativo di Roma le Cybercar si muovono lungo un percorso per trasportare passeggeri in viaggio da e verso la Nuova Fiera di Roma. Le Cybercar sono lunghe 5,42 m., larghe 2,43 m. e hanno un'altezza da terra di 0,50 m. La velocità massima delle Cybercar è di circa 24 km/h mentre l'accelerazione e la decelerazione massima è di  $1 \text{ m/s}^2$ , salvo che per le situazioni di emergenza, in cui la decelerazione è maggiore. Prima dell'omologazione sono state realizzate solo 2 Cybercar e, se si ottiene l'omologazione di un servizio di navetta, se il sistema si rivela tecnicamente e operativamente fattibile e verrà accettato dagli utenti, si valuterà l'acquisto di altre quattro Cybercar. A quel punto la flotta sarà composta da 6 Cybercar, un numero ritenuto ragionevole per il servizio previsto.

Il percorso (vedi Figura 8) complessivo sarà di circa 1,6 km e sarà completamente isolato da una recinzione alta circa 1,4 m. Il percorso è piatto e la superficie è d'asfalto. Ci sono 11 fermate e due di esse si trovano presso i due ingressi principali della Fiera. Ogni fermata è provvista di una porta aperta dal sistema di controllo del CTS quando le Cybercar si fermano nella stazione. Ci sono inoltre un deposito e un'area di manutenzione con posti per 7 Cybercar. Il deposito sarà utilizzato principalmente di notte, per ricaricare le Cybercar e per compiere lavori di manutenzione sulle stesse. La sala di controllo si troverà nei pressi dell'ingresso nord del parcheggio P1.

Il sistema di controllo del CTS è composto da hardware e software che si trovano nella sala controllo, una connessione Modbus, una Local Area Network (LAN) e una connessione wireless. Il sistema di controllo del CTS comunica con le Cybercar mediante la LAN e la rete wireless e con le porte di banchina mediante una rete Modbus e, se il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti italiano approva il sistema per un servizio a domanda,

coordinerà i movimenti delle Cybercar secondo le richieste degli utenti. Il sistema di controllo del CTS è in grado di immettere in un database speciale tutte le informazioni sull'operatività e sui malfunzionamenti del CTS. Queste informazioni saranno utili per le valutazioni tecniche e finanziarie finali.

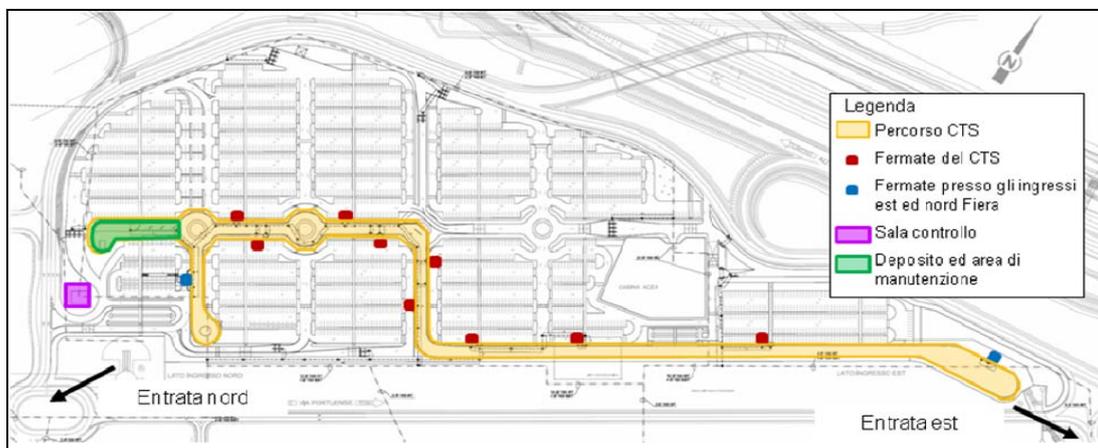


Figura 8 - I diversi componenti del CTS.

Un sistema specifico di informazioni per gli utenti sarà realizzato nell'area del parcheggio P1, alle fermate e a bordo per comodità dei passeggeri, per spiegare loro dove si trovano le fermate del CTS e come utilizzare il CTS. La prima informazione fornita agli utenti che entrano nel parcheggio P1 sarà l'indicazione della disponibilità del CTS. Ai gate di ingresso al parcheggio il sistema indicherà agli utenti il miglior settore per parcheggiare, che può essere o quello più vicino all'ingresso di un'esposizione in particolare (cioè ingresso nord o est) e/o quello più vicino a una fermata del CTS. Le informazioni sull'uso del CTS e sui tempi di attesa e di viaggio per giungere a destinazione saranno fornite alle fermate. Una volta a bordo se il servizio a domanda non è disponibile, l'utente aspetterà solo la sua fermata e ad essa scenderà. In caso contrario, se il servizio a domanda è disponibile, una volta a bordo l'utente sceglierà la destinazione su un pannello.

### ***Il processo d'omologazione***

Il CTS può fornire un servizio a domanda e in alcuni esperimenti le Cybercar sono state gestite in un ambiente misto, con pedoni e ciclisti. Comunque, per il Dimostrativo di Roma è stato scelto un processo di omologazione graduale che si articola in quattro stadi:

- 1° stadio. Percorso totalmente isolato, porte di banchina e servizio navetta. In questo stadio non è consentita l'interazione fra veicoli privati (compresi i pedoni) e le Cybercar e fra le Cybercar stesse. Questo significa che gli utenti arriveranno alla fermata e aspetteranno la Cybercar che si ferma in tutte le stazioni lungo il percorso. Se il sistema sarà omologato per un

servizio navetta, allora comincerà il processo di omologazione per il servizio a domanda.

- 2° stadio. Percorso totalmente isolato, porte di banchina ma servizio a domanda. In questo stadio l'interazione fra Cybercar sarà consentito solo fra Cybercar che procedono nella stessa direzione (nessuna sovrapposizione di traiettorie per le Cybercar che procedono in direzioni opposte). In questo stadio l'utente arriverà alla fermata, chiamerà la Cybercar e, una volta a bordo, deciderà la destinazione.
- 3° stadio. Percorso totalmente isolato, porte di banchina e servizio a domanda agli utenti. L'unica differenza rispetto al 2° stadio è data dal fatto che è consentita la sovrapposizione di traiettorie di Cybercar che procedono in direzioni opposte.
- 4° stadio. Inserimento di un attraversamento pedonale. In questo stadio si inserirà nel percorso del CTS un attraversamento pedonale.

Il Dimostrativo di Roma con 2 Cybercar è stato progettato per operare nei quattro stadi di cui sopra e la partnership mira ad omologarli tutti e quattro. All'interno del progetto CityMobil però l'obiettivo è quello di raggiungere il solo 1° stadio.

### ***Breve descrizione del CTS in modalità servizio di navetta e a domanda***

La seguente è una breve descrizione delle modalità d'uso del CTS una volta che il servizio di navetta è realizzato e omologato dal Ministero dell'Infrastrutture e dei Trasporti Italiano.

All'arrivo al casello d'ingresso del parcheggio P1, l'utente riceve un biglietto e le informazioni su dove può parcheggiare e sulla possibilità di utilizzare il CTS per raggiungere i principali ingressi della Nuova Fiera di Roma.

Una volta parcheggiato il veicolo, l'utente segue una segnaletica per la fermata del CTS più vicina e per l'ingresso principale della Fiera.

Una volta raggiunta la fermata del CTS, l'utente è informato sui tempi di attesa e riceve inoltre istruzioni sulle modalità d'uso del CTS e informazioni sulla tempistica per giungere ai due ingressi principali. Una volta che il veicolo si ferma proprio davanti alla fermata del CTS, la porta di banchina si apre e l'utente può salire a bordo o scendere alla fermata di destinazione.

Se il CTS opera nella modalità a domanda, l'utente che giunge alla fermata deve chiamare una Cybercar spingendo il bottone sulla destra della porta della fermata. Una volta che l'utente ha chiamato la Cybercar, il sistema di controllo del CTS invia quanto prima una Cybercar alla stazione della fermata. Una volta a bordo, l'utente spinge su un apposito pannello il bottone della fermata di destinazione.

### ***Percorso e opere civili***

L'integrazione del CTS nel progetto originario del parcheggio P1 non è stato un compito semplice. Sono state considerate diverse opzioni per ottimizzare il CTS e, al contempo, per conservare la massima capacità del parcheggio in termini di posti facilmente accessibili nonché per progettare opere civili dimensionate alle risorse disponibili.

I partner del Dimostrativo di Roma e i tecnici del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (MIT nel seguito) si sono incontrati diverse volte per finalizzare il progetto del CTS.

Il MIT ha fornito diversi suggerimenti informali per evitare al sistema dei chiari ostacoli a una possibile approvazione delle attività. È stata quindi una questione di buonsenso includere i suggerimenti nelle opere civili.

I paragrafi successivi forniscono una descrizione generale delle opere civili necessarie affinché il parcheggio P1 possa ospitare il CTS, le opere civili per realizzare le corsie, le fermate e una polifera per la preparazione dei sistemi e delle attrezzature da utilizzare nel CTS all'interno del parcheggio P1.

### ***Opere civili da realizzare***

La corsia della Cybercar è stata realizzata all'interno del parcheggio P1 seguendo principalmente l'attuale rete stradale del parcheggio, composta da un percorso veicolare di 8 metri di larghezza e comodi marciapiedi laterali.

Nei punti in cui la corsia incontra aree con diversa destinazione d'uso, quali parcheggi, spazi di manovra o zone verdi la sezione sarà portata alla dimensione necessarie al corretto funzionamento del CTS e sarà prevista una barriera, alta 1,4 m., ad esclusione dei tratti di fermata dove sarà più alta, che segregherà completamente il CTS dai movimenti degli altri utenti della strada.

Inoltre le opere civili prevedono anche la realizzazione delle attrezzature necessarie alla gestione e manutenzione del CTS cioè un capannone per il ricovero dei veicoli e un sala di controllo. Tutte queste strutture saranno localizzate all'interno del parcheggio P1.

Lungo il percorso del CTS saranno localizzate delle porte d'emergenza, allarmate per prevenire l'accesso in pista di estranei, che garantiranno l'uscita dalla pista degli utenti in caso di malfunzionamento del CTS.

### ***Percorso***

Nonostante le Cybercar necessitano di infrastrutture a terra molto leggere la superficie delle piste deve avere delle caratteristiche ben precise di seguito riportate:

- Materiale: asfalto;
- Pendenza trasversale 1,5%;
- Pendenza longitudinale max 3%;;
- Nessuno sbalzo sull'asfalto;
- Buchi con non più di 2 cm di diametro;
- Capacità di sostegno di una pressione permanente di 10 kg/cm<sup>2</sup> sulla corsia del veicolo;
- Le caratteristiche precedenti sono stabili ai cambiamenti di temperatura.

### ***Sala controllo***

Lo spazio destinato ad accogliere la Sala Controllo integrata per l'automazione del parcheggio e il sistema di controllo del CTS e delle relative attività sarà costituito da strutture metalliche prefabbricate da porre su una fondazione superficiale non invasiva.

La sala controllo, costantemente presidiata da due operatori, permetterà di supervisionare in tempo reale il funzionamento del CTS e di attuare, lì dove necessario, gli interventi necessari in caso di malfunzionamento del sistema.

Dalla sala controllo gli operatori potranno vedere cosa succede all'interno dei veicoli, grazie alle telecamere installate nelle Cybercar, e parlare con gli utenti a bordo. Dalla sala controllo sarà anche possibile monitorare lo stato delle porte di sicurezza e di banchina.

### ***Garage e area di manutenzione***

Un garage, adiacente al percorso, è necessario per il ricovero dei veicoli, oltre che per caricare le batterie e per effettuare la manutenzione.

Il garage sarà costituito da due parti: una dedicata alla manutenzione con 2 alloggiamenti e una dedicata al ricovero notturno con 5 alloggiamenti. Pertanto il garage sarà in grado di accogliere fino a 7 Cybercar, cosa che è completamente conforme con la configurazione finale prevista al momento, ossia fino a 6 veicoli con un alloggiamento di riserva.

### ***Stazioni***

Il percorso del CTS prevede 11 fermate. Le due principali sono poste alla fine del percorso pedonale collegato con l'ingresso nord e al ponte pedonale di Via Portuense collegato con l'ingresso est. Le altre 9 sono distribuite lungo il percorso.

Ogni fermata sarà attrezzata con una porta automatica che interagirà con il veicolo in modo da aprirsi solo quando il veicolo stesso è presente.

Il piano di calpestio delle fermate avrà un'altezza pari a 50 cm. dal piano di movimento del veicolo e quindi avrà la stessa altezza del pianale del veicolo. Degli scivoli consentiranno l'accesso alle fermate anche agli utenti diversamente abili.

Ci sono due porte scorrevoli, una nella stazione e una sul veicolo. L'apertura e la chiusura di entrambe le porte sono sincronizzate e supervisionate dal sistema di controllo posto nella sala controllo. Le porte delle stazioni garantiscono l'interfaccia fra la Cybercar e la stazione:

- isolando completamente il volume delle vie di corsa dalle banchine dove stazionano i passeggeri della linea, evitando così il pericolo di caduta di viaggiatori sulla via di corsa;
- non permettendo il transito dei passeggeri tra il veicolo e la banchina finché il veicolo non è fermo.

Le porte di banchina sono normalmente chiuse e bloccate e si aprono solo in presenza della Cybercar (vedi Figura 9). La Cybercar non entra in stazione e non può ripartire se le porte di banchina e quelle del veicolo stesso non sono controllate, chiuse e bloccate. Un segnale sonoro e luminoso avverte i passeggeri poco prima della chiusura delle porte.

In caso di malfunzionamento delle porte di banchina le Cybercar saranno bloccate ed un segnale di allarme sarà inviato alla sala di controllo.

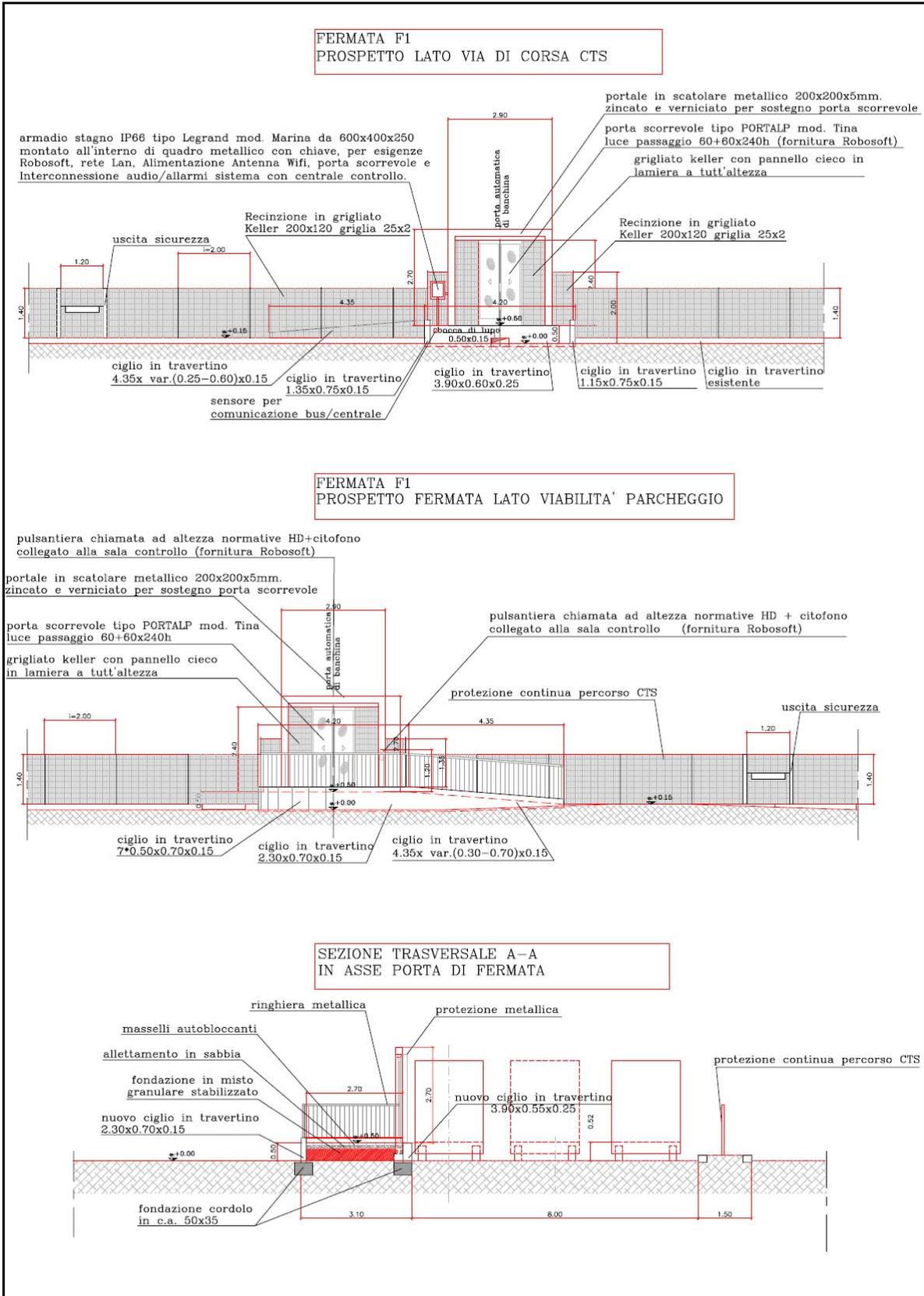


Figura 9 - Esempio di fermata del CTS.

## ***Le Cybercar***

Le Cybercar si basano sulla piattaforma RobuRIDE 28 di Robosoft ma sono adattate alle esigenze tecniche ed economiche del Dimostrativo di Roma. La Figura 10 riporta immagini del veicolo da due diverse angolazioni.



Figura 10 - La Cybercar di Roma vista da due diverse angolazioni.

Le Cybercar di Roma sono veicoli elettrici senza conducente, completamente autonome, dedicate al trasporto di passeggeri da una stazione all'altra utilizzando percorsi prestabiliti sia in modalità di servizio navetta o in modalità a domanda. Sulla destra dei veicoli si trova una porta scorrevole la cui apertura è sincronizzata con le porte delle stazioni.

Le Cybercar sono localizzate utilizzando un insieme di dati rilevati con GPS differenziale in RTK con precisione centimetrica, un'unità inerziale e gli odometri presenti sui veicoli. La localizzazione precisa serve per guidare il veicolo in modo da farlo procedere esattamente lungo il percorso predefinito.

Quando il veicolo è operativo, la velocità dello stesso è stabilita in anticipo, compatibilmente con la sicurezza e la comodità dei passeggeri. I veicoli possono essere utilizzati anche con modalità manuale e semi-automatiche, ma solo per scopi di manutenzione.

I veicoli sono tutti collegati mediante una rete LAN wireless con il sistema di controllo del CTS, che orchestra e sincronizza le Cybercar e le porte delle stazioni.

All'interno del veicolo sono disponibili opportune interfacce uomo-macchina per fornire informazioni ai passeggeri e per consentire a questi ultimi sia di selezionare la destinazione sia di viaggiare comodamente.

### **Specifiche tecniche dei veicoli**

Le specifiche finali del veicolo sono riportate nella Tabella 1. Brevemente, i veicoli sono elettrici, hanno 4 ruote motorizzate e usano batterie al piombo acido. La velocità e la direzione sono controllate da un software. Le velocità massima è di 24 km/h.

L'individuazione degli ostacoli avviene grazie a un laser range finder e un paraurti omologato che interrompe l'afflusso di corrente in caso di contatto. La localizzazione è fornita da una combinazione di GPS differenziale di tipo centimetrico (GPS-RTK) e sensori inerziali.

I veicoli comunicano con il sistema centrale di coordinamento e controllo mediante il sistema di comunicazione. Le porte della stazione e quelle delle Cybercar sono sincronizzate dal sistema di controllo.

Tabella 1 - Specifiche dei veicoli di Roma.

<b>Specifiche dei veicoli di Roma</b>		
<b>Caratteristiche meccaniche e dimensioni</b>		
Dimensioni esterne	5,59 x 2,82 x 1,91 m.	L x h x p
Dimensioni interne	4,9 x 2,14 x 1,81 m.	L x h x p = superficie disponibile: 8,6 m <sup>2</sup>
Peso del veicolo	2,9 T	Senza passeggeri
N. di passeggeri	30 persone	19 posti
Peso lordo	5 T Massimo	Con passeggeri
Sospensioni	No	Bloccaggi silenziosi conformi montati sull'asse anteriore e sulle ruote posteriori Chassis flessibile (torsione)
Massimo raggio di sterzata	6,8 metri a bassa velocità 10 m per i lavori civili	
Tipo di movimenti	Avanti, sterzante	Indietro solo in modalità manuale
Pneumatici	Gonfiabili, diam. Ca. 430 mm.	Pressione massima sul piano: 6 kg/cm <sup>2</sup>
Freni	Freni di stazionamento calibrati su ogni motore	Controllo elettronico della velocità
<b>Prestazioni</b>		
Velocità	Fino a 24 km/h	
Accelerazione	Limitata a 0,7 m/s <sup>2</sup>	
Decelerazione d'emergenza	0.5 g	Quando si spinge un pulsante d'emergenza o si incontra un'irregolarità sulla superficie

Pendenze	3%	5% a prestazioni ridotte per un periodo breve
<b>Potenza</b>		
Batterie	360 V. 110 Ah	1,2 T batterie a piombo
Autonomia	Ca. 60-70 km	
Tempo di ricarica	Ca. 10 ore	
<b>Controllo dei movimenti</b>		
Controllo manuale	Si	Utilizzando un gamepad senza fili
Modalità operative	Navetta a orario	Si possono aggiungere altre modalità operative su richiesta
Sistema di guida	Ibrido: Differenziale GPS + giroscopio + odometro	Non sono necessarie infrastrutture Flessibilità delle traiettorie
Accuratezza nel seguire il percorso	2 a 10 cm	Dipende dalla velocità
<b>Sicurezza</b>		
Riferimento dell'omologazione	Direttiva Macchine 98/37/EC	
Anticollisione	Laser scanner frontale Paraurti di sicurezza anteriore e posteriore	Il laser anticollisione non è omologato secondo la direttiva macchine
<b>Comunicazioni</b>		
Dati	LAN wireless	
Voce	Walkie-talkie	Trasmissione digitale della voce
<b>Varie</b>		
Software di controllo	robuBOX-CTS	Middleware proprietario di ROBOSOFT, basato su Microsoft Robotics Studio

### **Architettura dei veicoli**

Il veicolo si divide in due parti: la piattaforma e l'abitacolo personalizzato. La piattaforma rappresenta un'evoluzione della precedente piattaforma di ROBOSOFT già in uso in altri CTS. Il concetto è stato scelto per diverse ragioni:

- La piattaforma può essere generica, indipendentemente dalla carrozzeria che si può aggiungere sopra. Pertanto, la stessa può essere utilizzata per realizzare molti tipi di CTS o sistemi di trasporto merci.
- Il collocamento di tutti i componenti tecnici al di sotto della piattaforma consente di ottimizzare il volume disponibile e quindi di ottenere un 30% di spazio in più rispetto ai veicoli convenzionali;

- Questo è un progetto meccanico semplice e robusto, che prevede per la sterzata un asse frontale, la cui rotazione è data dalla differenza di velocità fra la ruota di sinistra e quella di destra;

Le principali dimensioni della piattaforma sono date nella Figura 11.

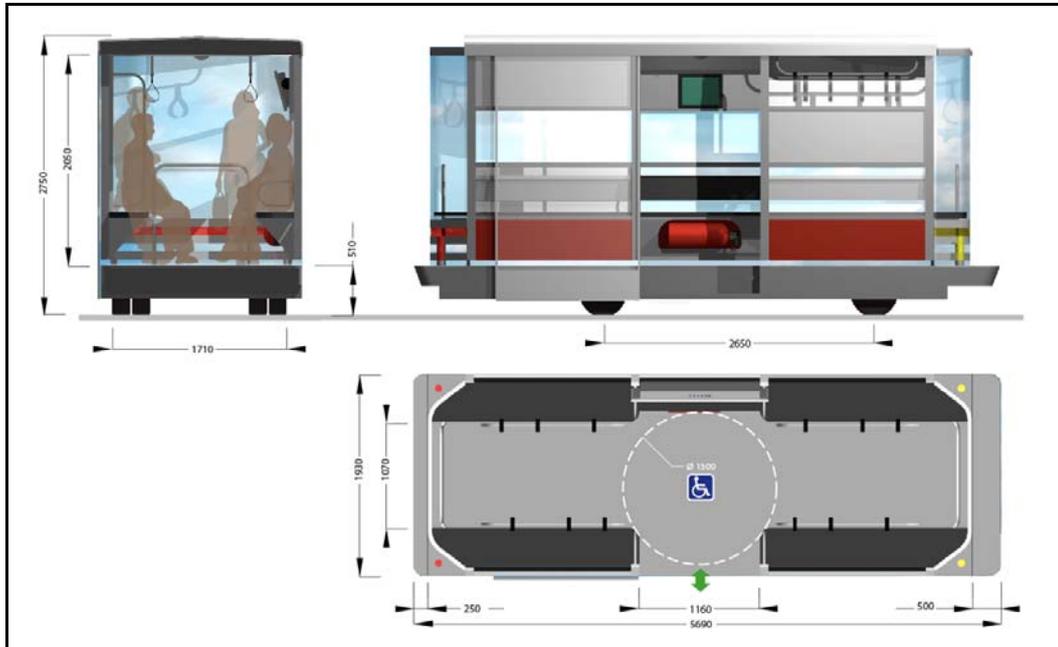


Figura 11 - Le dimensioni della piattaforma.

### ***La carrozzeria del veicolo***

Costruito come un tubo, aperto a entrambe le estremità, l'abitacolo consente una vista panoramica e rafforza il concetto innovativo di questa nuova generazione di veicoli automatici in relazione agli arredi urbani e lontano dai codici dei veicoli a motore, la sua forma comunica l'idea di disponibilità e di accessibilità.

Una porta scorrevole sulla destra del veicolo consente ai passeggeri di salire a bordo e di uscire alle stazioni. L'apertura e la chiusura delle porte è sincronizzata con le porte della stazione mediante il sistema di controllo del CTS.

Il veicolo ha una capacità di 30 persone: (4 x 4 + 3) persone sedute + fino a 11 persone in piedi (vedi Figura 12).

Poiché le distanze e i tempi di viaggio sono brevi, i posti a sedere sono delle semplici panchine piatte per 3 o 4 persone. Per chi resta in piedi durante il viaggio, ci sono maniglie sul soffitto e delle sbarre alle estremità dell'abitacolo (Figura 13).



Figura 12- Abitacolo visto dall'alto.



Figura 13 - Disposizione dell'abitacolo.

### ***Sistema di navigazione del veicolo***

Il sistema di navigazione realizzato sui veicoli consente di seguire traiettorie predefinite che collegano le stazioni e le aree di manutenzione.

Un esempio di tali traiettorie è fornito in Figura 14, con vista dall'alto del parcheggio della Fiera di Roma.

Per il sistema di navigazione del veicolo e per gli algoritmi di controllo, le traiettorie da seguire sono divise in segmenti di lunghezza variabile.

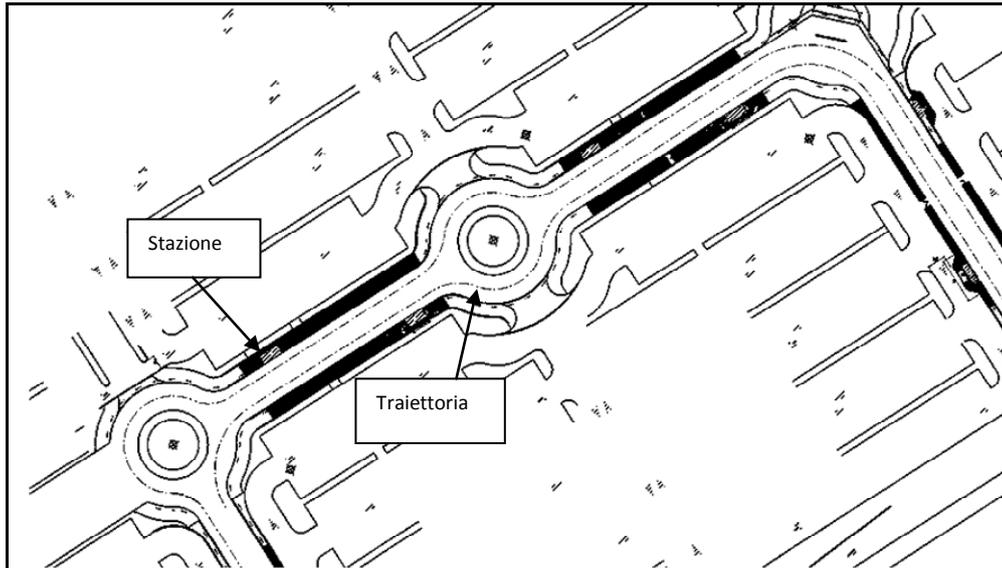


Figura 14 - Esempi di traiettorie del CTS.

### **Individuazione degli ostacoli**

Per evitare collisioni, il veicolo controlla il suo intorno utilizzando il laser range finder e calcola la posizione degli ostacoli e la velocità massima alla quale può viaggiare il vicolo nell'attuale direzione in condizioni di sicurezza.

La protezione è realizzata mediante una divisione dello spazio davanti al veicolo, considerando anche l'attuale angolo di sterzata per deformare le zone di individuazione degli ostacoli. A ogni zona è attribuito un valore di rischio parametrato alla presenza di un ostacolo.

La velocità del veicolo è quindi gestita direttamente da queste zone di rischio e dei relativi valori (vedi Figura 15). Quando viene individuato un ostacolo, il veicolo riduce la sua velocità e poi si ferma.

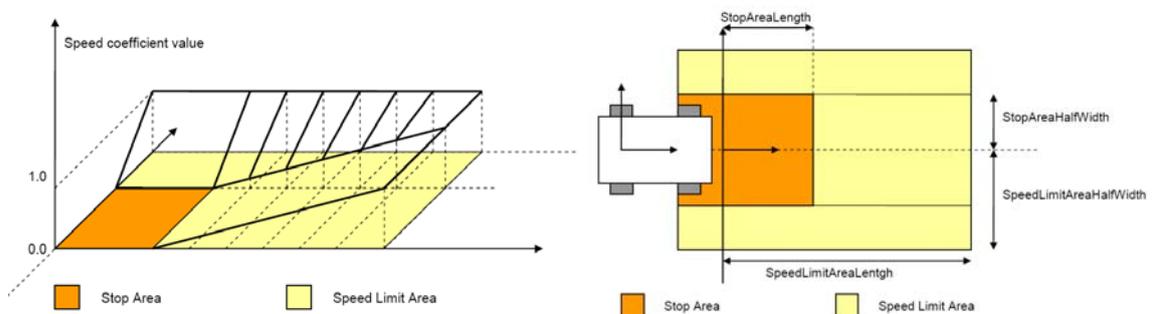


Figura 15 - Individuazione degli ostacoli della Cybercar.

Inoltre, la Cybercar è dotata di due paraurti di sicurezza omologati, uno anteriore e l'altro posteriore, che interrompono l'alimentazione della corrente ed attivano i freni di emergenza in caso di contatto con un ostacolo.

### ***Sicurezza dei veicoli e dei passeggeri***

La sicurezza del sistema CTS può essere composta da due aspetti:

- Sicurezza da potenziali aggressioni: questo rischio è monitorato mediante l'uso di telecamere di sorveglianza nel parcheggio e nei veicoli. La telecamera utilizzata è una Mobotix Hemispheric Q22, illustrata nella Figura 16.

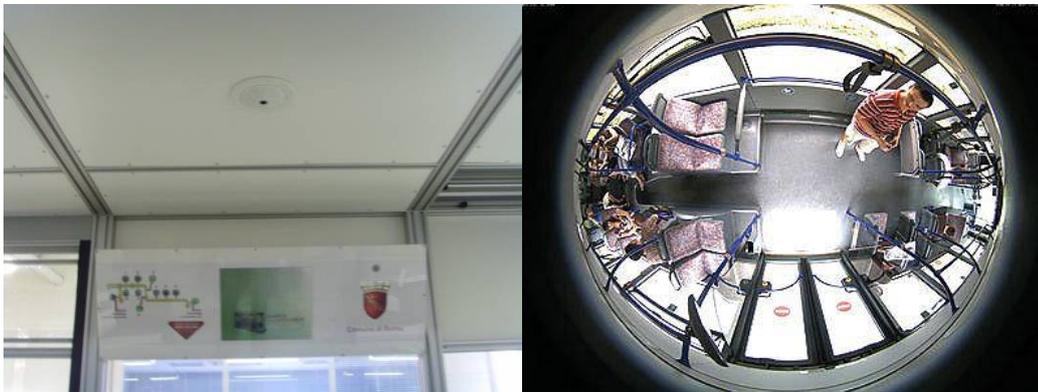


Figura 16 - Telecamera di sorveglianza nel veicolo.

- Sicurezza in relazione al sistema autonomo di trasporto. Questo tipo di sicurezza è stato preso nella dovuta considerazione e fra le salvaguardie adottate, si possono citare:
  - Sul sistema di Roma, i veicoli opereranno su un percorso segregato senza pedoni o utenti della strada;
  - Nel caso in cui la porta di una stazione è aperta manualmente con il pulsante di emergenza, o da un operatore, il sistema di gestione del CTS viene informato immediatamente di questa apertura, per poi generare un allarme e fermare i veicoli. I veicoli saranno autorizzati a rimettersi in moto quando l'operatore avrà riconosciuto l'allarme e autorizzato il sistema CTS a procedere.
  - I veicoli individuano gli ostacoli fermandosi davanti ad essi. C'è un laser scanner che consente al veicolo di ridurre la velocità quando si avvicina a un ostacolo. Questo sistema può contare anche, in caso di necessità, sul paraurti di sicurezza che interrompe il flusso di corrente del sistema in caso di contatto con un ostacolo;

- I veicoli realizzano la ridondanza per i sensori di sterzata dell'asse anteriore
- Il software di controllo realizza e monitorizza tutti gli allarmi relativi all'hardware provenienti dai sensori e dai dispositivi di fermando i veicoli qual'ora fosse necessario.

Tutte queste salvaguardie garantiranno la sicurezza dei passeggeri del veicolo. Per esempio, il sistema CTS robuRIDE di Robosoft che opera nel parco a tema Vulcania, in Francia, è stato in funzione tutti i giorni della stagione a partire dalla primavera del 2008 senza che si sia verificato alcun incidente, anche se trasporta passeggeri su un percorso non separato, circondato da pedoni da tutti i lati.

### ***Il sistema di controllo del CTS***

Il sistema di controllo e di vigilanza del CTS sarà realizzato nella sala controllo con il compito di monitorare continuamente lo stato dei veicoli, raccogliere richieste di trasporto provenienti dalle stazioni e dai veicoli e di coordinare la flotta delle Cybercar in modo che tutte le richieste di trasporto siano soddisfatte in piena sicurezza.

Il sistema di controllo del CTS si propone di gestire la flotta dei veicoli che esegue i servizi di trasporto fra il parcheggio e gli ingressi della Fiera di Roma. Ciò comporta l'ottimizzazione e la sincronizzazione della movimentazione e delle porte dei veicoli nelle stazioni.

I veicoli seguiranno traiettorie predefinite interconnesse che costituiscono una rete di percorsi disponibili. Ogni nodo di questa rete è o una stazione d'arresto per i passeggeri o per operazioni di manutenzione.

Nel CTS di Roma saranno realizzate due modalità di gestione:

- Modalità navetta in cui i veicoli si fermano ad ogni stazione a intervalli regolari;
- Modalità a domanda, in cui i veicoli operano come ascensori orizzontali. A seconda delle richieste effettuate in ogni stazione e dai passeggeri a bordo, i veicoli si fermeranno solo alle stazioni con chiamate.

La principale differenza fra le due modalità è quindi l'attribuzione dei compiti da parte dello schema di gestione della flotta di veicoli, ossia come viene assegnato ai veicoli il prossimo nodo da raggiungere per realizzare il servizio auspicato.

### ***Processo di gestione e coordinamento del CTS***

Il sistema di gestione del CTS, che si trova nella sala controllo del parcheggio, sarà in contatto costante con i veicoli mediante la LAN e l'estensione della stessa in modalità

wireless. Il sistema sarà anche in contatto costante con le stazioni tramite un bus seriale Modbus.

Quindi il sistema di gestione del CTS riceverà dalle stazioni le informazioni sulle richieste dei veicoli, sullo stato delle porte di stazione e di quelle di emergenza (aperte, chiuse, allarmi...). Il sistema invierà alle porte anche ordini di apertura e di chiusura.

Nel frattempo il sistema di supervisione del CTS raccoglierà informazioni da tutti i veicoli sulle richieste di destinazione e sullo stato del veicolo (porte scorrevoli aperte/chiuse, livello delle batterie, posizione attuale, attuale esecuzione della traiettoria, allarmi...).

Grazie all'insieme di queste informazioni, il sistema di gestione del CTS sincronizzerà i veicoli e le stazioni per operare in maniera sicura.

Per esempio la sincronizzazione delle porte sarà gestita come segue:

- Quando entrerà in una stazione, il veicolo completerà il movimento basato sulla traiettoria e si fermerà davanti alla stazione;
- Dopo aver ricevuto le relative informazioni, il sistema di controllo ordinerà al veicolo di aprire la porta scorrevole;
- Il sistema di controllo viene informato dell'avvenimento "porta del veicolo aperta" e quindi ordinerà alla stazione di aprire la sua porta;
- Dopo un certo periodo di tempo, il sistema ordinerà alla stazione di chiudere la sua porta;
- Una volta ricevuto lo stato di porta di stazione chiusa, il sistema di controllo ordinerà al veicolo di chiudere la porta;
- Una volta confermato lo stato di chiusura della porta del veicolo, il sistema di gestione invierà al veicolo l'ordine di procedere alla stazione seguente.

Un altro esempio. Per la modalità a domanda, come illustrato nella Figura 17, le traiettorie potrebbero essere modificate per consentire a una Cybercar di superare un'altra Cybercar in attesa in una stazione.

Quindi, nell'avvicinarsi a una stazione il veicolo ha la possibilità o di ridurre la velocità e fermarsi in stazione o continuare sul percorso principale. La decisione sarà presa dal sistema di controllo del CTS, in considerazione delle richieste del veicolo in ogni stazione nonché la richiesta di destinazione di ciascun veicolo. Il processo sarà gestito come segue:

- Il sistema di controllo del CTS è aggiornato continuamente con le richieste delle stazioni e dei veicoli;

- Nell'avvicinarsi a un'intersezione, ogni veicolo notificherà il sistema di controllo del CTS per richiedere la destinazione successiva (stazione o prossima intersezione);
- Il sistema di controllo del CTS prenderà la decisione e invierà la richiesta di adattamento del moto al corrispondente veicolo;
- Il veicolo imbrocherà la direzione corretta all'intersezione.

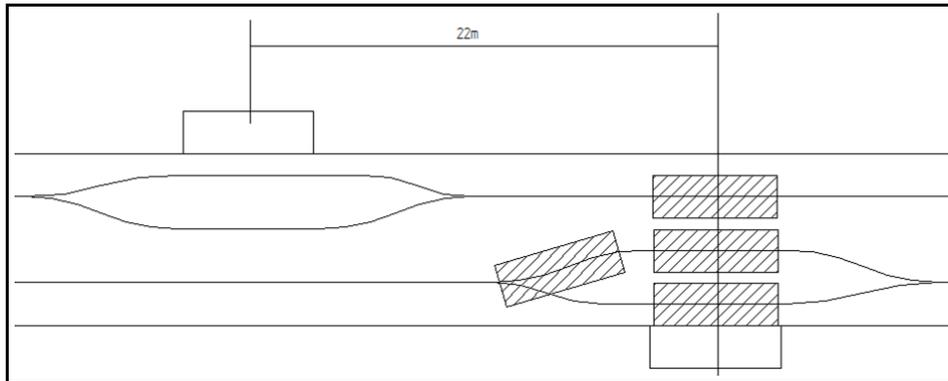


Figura 17 - Possibili traiettorie per superare i veicoli fermi in stazione.

### ***Interfaccia Uomo Macchina a bordo i veicoli***

L'Interfaccia Uomo Macchina (IUM) a bordo del veicolo si trova proprio davanti alla porta d'ingresso, vicino al soffitto, in modo da poter essere visto chiaramente da tutti i passeggeri nel veicolo, come illustrato nella Figura 18. Il pannello IUM sia per gli operatori che per gli utenti è illustrato in Figura 19.

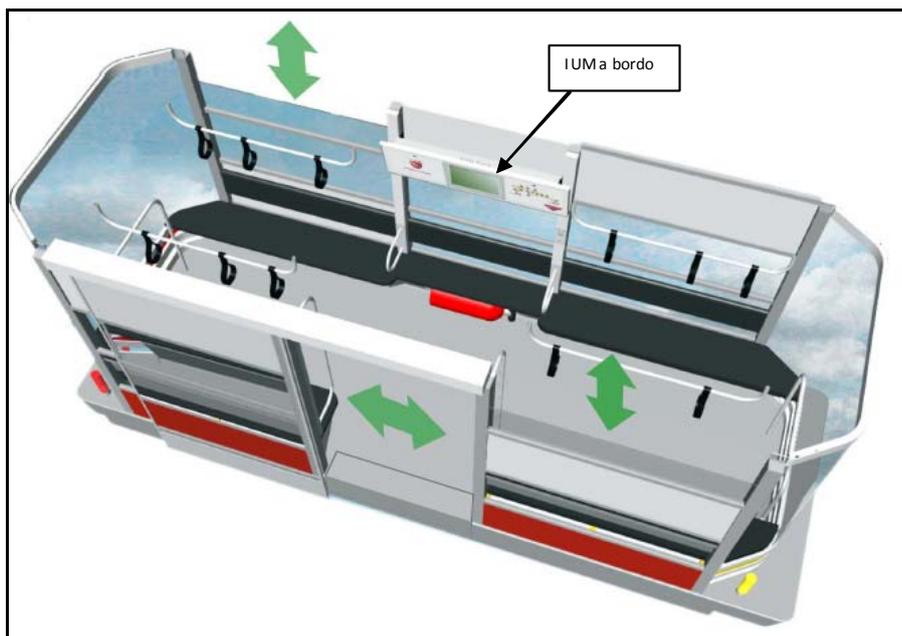


Figura 18 - Collocazione della IUM nel veicolo.

## Interfaccia Uomo Macchina per i Passeggeri

La IUM dei passeggeri (illustrata in Figura 19 ed in Figura 20) è composta da un pannello con le destinazioni, un pannello con i pulsanti di selezione delle destinazioni, uno schermo per mostrare varie informazioni e un pulsante per le chiamate d'emergenza che allerta la sala di controllo (che può usare la telecamera di sorveglianza, i microfoni e gli speaker per interagire con i passeggeri).

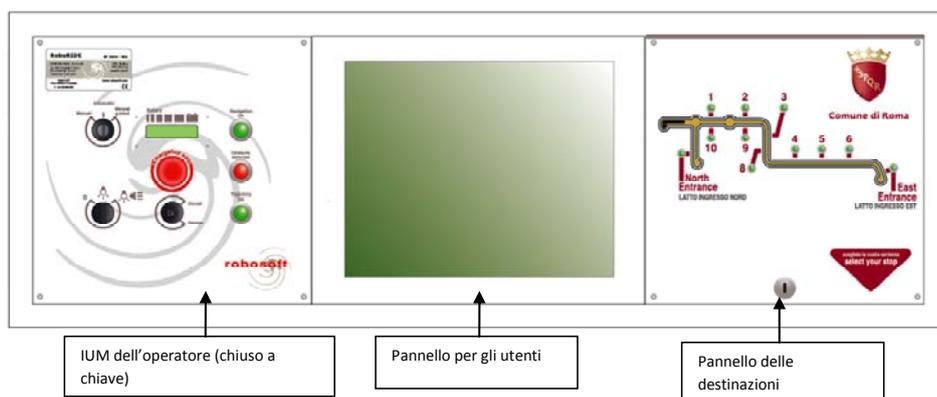


Figura 19 - Dettaglio della IUM nelle Cybercar.

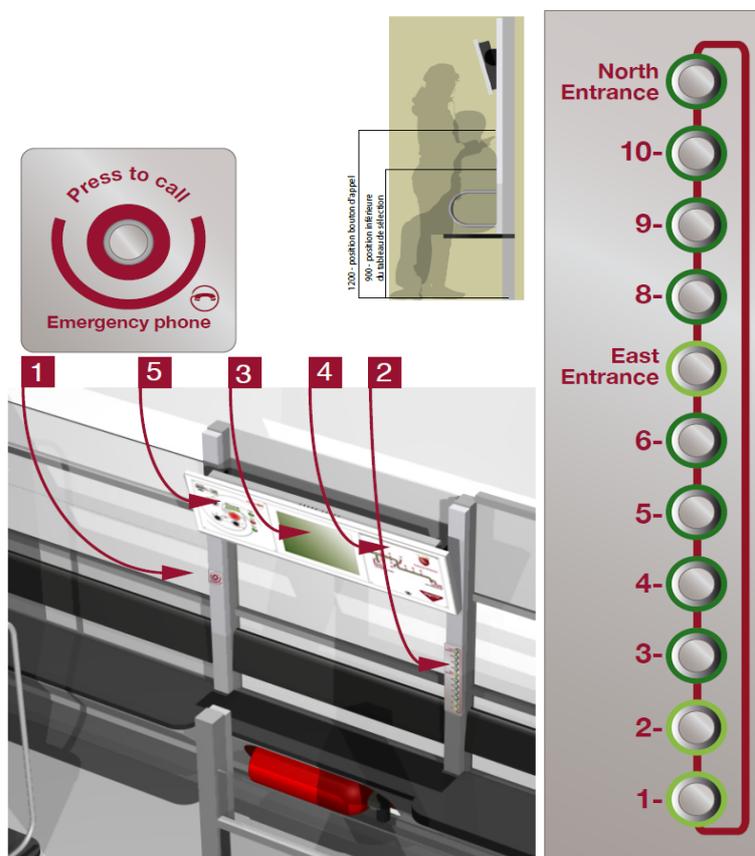


Figura 20 - Dettagli dei pulsanti della IUM passeggeri.

Sullo schermo saranno mostrate informazioni sull'attuale modalità della CTS (navetta/a domanda) e sulla fermata successiva, nonché informazioni sul CTS e come usarlo.

Sul pannello con le destinazioni, le stazioni sono indicate utilizzando un segnale luminoso. Le destinazioni in cui il veicolo si fermerà sono continuamente illuminate. Nella modalità a domanda si userà il pannello dei pulsanti di selezione della destinazione e quando si spinge un pulsante si accenderà la corrispondente selezione di destinazione.

### **Interfaccia Uomo Macchina per l'operatore**

IUM per l'operatore, utilizzato solo per scopi manutentivi (vedi Figura 21), comprende un pulsante per le Fermate d'Emergenza, l'interruttore delle luci sotto chiave e selezionatore di circuito nonché un indicatore dei livelli della batteria.

Questo pannello contiene anche delle luci verdi e rosse per fornire informazioni quali la disponibilità del sistema di navigazione (GPS disponibile), la corretta posizione del veicolo secondo la traiettoria e la presenza di ostacoli.

Questo pannello IUM consente anche di aprire il pannello di selezione delle destinazioni normalmente sotto chiave, consentendo così di attivare la fermata d'emergenza a distanza e il dispositivo di azionamento a distanza quando il veicolo non è in manutenzione.

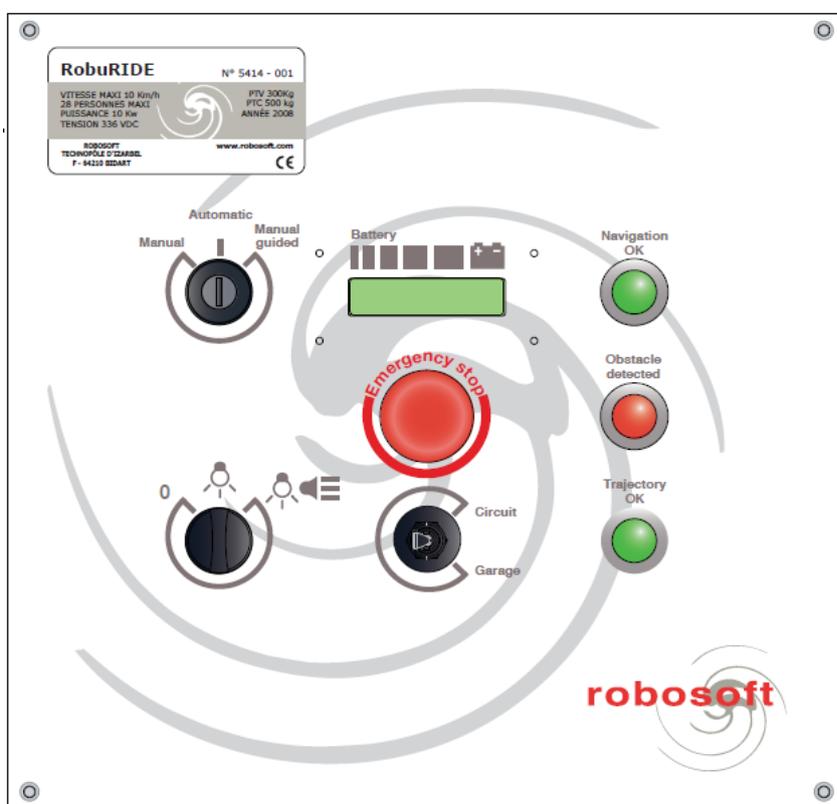


Figura 21 - Interfaccia dell'Operatore.

### **1.2.3 Le attività svolte nel Dimostrativo di Roma**

Le attività del Dimostrativo di Roma sono cominciate con l'inizio del progetto CityMobil e, nonostante la complessità tecnica del progetto, le principali problematiche riscontrate negli ultimi 5 anni sono, nella maggior parte dei casi, di carattere politico amministrativo evidenziando come, per questo tipo di progetto un adeguato e continuo supporto politico sia fondamentale.

Il primo passo è stato quello, nel 2006, di definire le specifiche tecniche del sistema. A valle di questo lavoro è cominciato un lungo e laborioso lavoro di progettazione del sistema inteso come opere civili, veicoli, i sistemi di controllo e comunicazione con l'utenza (di cui il paragrafo 1.2.2 è solo una breve sintesi). Tale processo ha visto coinvolti diversi soggetti:

- ATAC quale gestore ed esecutore dei lavori civili necessari all'inserimento del CTS nel parcheggio P1;
- Comune di Roma con responsabilità prevalentemente di carattere politico e amministrativo;
- Robosoft come fornitore dei veicoli e del sistema di controllo del CTS;
- IT "Ingegneria dei Trasporti" (IT nel seguito), che ha svolto il ruolo di coordinatore di tutta l'operazione, ha supportato la progettazione e ha mantenuto i contatti fra i partner ed il consorzio CityMobil

In tale processo ha svolto un ruolo centrale il MIT che è stato consultato su le diverse questioni fornendo in maniera non ufficiale una serie di indicazioni che il buon senso a consigliato di inserire nel progetto.

Il progetto emerso da questo processo è stato consegnato allo stesso Ministero nel Luglio del 2009 iniziando così ufficialmente il processo di omologazione del sistema. Il Ministero ha successivamente richiesto varie integrazioni al materiale fornito e complessivamente si stima che siano stati consegnati ufficialmente allo stesso circa 2000 pagine di rapporti ed elaborati dal Luglio 2009.

Sulla base del progetto definito è stato possibile anche effettuare la Failure Mechanism Effects and Criticalities Analysis (FMECA), un'analisi che ha permesso di analizzare tutte le possibili modalità di malfunzionamento del sistema e l'eventuali conseguenze sull'utenza. L'analisi ha richiesto circa 2 mesi di lavoro ed è stata svolta da un panel di esperti di Robosoft, IT e ATAC per gli aspetti legati alle opere civili. L'analisi è stata coordinata dal TNO Olandese ed ha evidenziato che, a meno delle porte del veicolo che sono state in seguito modificate, il sistema presenta un livello di sicurezza adeguato. L'analisi è stata fornita ufficialmente al MIT nel settembre 2009.

A seguito della consegna del materiale sopra descritto o dopo aver fornito ulteriori chiarimenti sul funzionamento del sistema il 17 dicembre 2010 la commissione interministeriale del MIT ha approvato preliminarmente il progetto proposto senza richiedere ulteriori modifiche alle opere civili e chiedendo modifiche minori alla parte tecnologica del sistema (veicoli e sistema di controllo).

In parallelo alle attività di progettazione e al rilascio del nulla osta per il Dimostrativo di Roma da parte del MIT, Robosoft ha cominciato la costruzione delle due prime Cybercar terminata nel Gennaio del 2010. Una volta terminata la costruzione delle Cybercar sono state organizzate le attività di formazione per il personale della IT che sarà responsabile della gestione del sistema una volta implementato. Il primo corso si è svolto nell'aprile del 2010 presso la sede di Robosoft (Bidart, Francia) ed è durato una settimana (dal 19 al 23 aprile). Il corso per il personale di IT ha toccato i seguenti temi: meccatronica del veicolo, operazioni di gestione e manutenzione ordinaria in remoto e *on-site* e esercitazioni pratiche nell'uso e nella messa in esercizio del veicolo (vedi Figura 22, in Figura 23 una foto del veicolo presso la sede di Robosoft).



Figura 22 - Foto del corso di formazione presso la sede di Robosoft. Come ricaricare il veicolo.



Figura 23 - Foto del veicolo presso la sede di Robosoft.

Nel maggio del 2010 ATAC ha messo a disposizione il deposito autobus della Magliana per cominciare i test con un veicolo e nel luglio 2010 la prima Cybercar è stata trasportata a Roma. Dal settembre fino al dicembre 2010, utilizzando un'area del deposito della Magliana messo a disposizione da ATAC, il personale di IT ha testato la funzionalità del veicolo operante in modalità automatica (vedi Figura 24 e Figura 25). Durante i test il veicolo ha coperto circa 800 km ed i test hanno confermato che il veicolo è sicuro ed è conforme alle caratteristiche riportate nel progetto.

Per quello che riguarda le opere civili, la gara è stata pubblicata nel gennaio del 2010 ed aggiudicata nel marzo dello stesso anno. Alcune problematiche di carattere finanziario ed economico stanno rallentando la realizzazione delle opere civili ma la loro fine al momento è prevista a Luglio 2011.



Figura 24 - Il veicolo durante i test presso il deposito della Magliana.



Figura 25 - Il veicolo durante i test presso il deposito della Magliana. In primo piano l'antenna base del GPS differenziale che permette il funzionamento del veicolo e la sua localizzazione.

### **1.3 L'obiettivo del lavoro di dottorato e le domande di ricerca**

Il presente lavoro integra attività svolte dal Dottorando all'interno del progetto CityMobil. Per quel che riguarda il Dimostrativo di Roma, è previsto che nell'autunno del 2011 il sistema apra al pubblico ed è necessario stimare, per le diverse condizioni operative quale è la domanda attesa per il CTS. In quest'ottica l'obiettivo del presente lavoro è *stimare il livello di domanda al variare delle diverse condizioni operative del sistema*.

Tale obiettivo, per quanto semplice, pone una serie di questioni che necessariamente vanno affrontate perché sicuramente la domanda attesa del CTS è collegata alla qualità del servizio offerto che può essere espresso sinteticamente, come avviene in molti studi su sistemi di trasporto classico, in tempi di accesso al servizio e a bordo oppure in termini di comfort a bordo delle diverse alternative. Ma è anche vero, come poi sarà evidenziato nell'analisi dello stato dell'arte, che l'innovativa stessa del sistema può avere un impatto, che va misurato, sulla domanda attesa e che tale impatto può cambiare in base agli attributi socioeconomici dell'utenza. Queste considerazioni allargano l'orizzonte del semplice studio di domanda del Dimostrativo di Roma e permettono anche di analizzare aspetti che potranno risultare utili nelle valutazioni sull'implementazioni o meno di sistemi di trasporto innovativo in altri siti rendendo più generalizzabili ed utili alla comunità scientifica i risultati del presente studio. A titolo di esempio l'eventuale presenza di una correlazione fra l'età dell'utenza e la domanda del presente sistema potrà fornire utili indicazioni sull'opportunità o meno di inserire tale sistema in aree con una popolazione molto anziana (o viceversa molto giovane).

In base all'obiettivo del presente lavoro ed alla luce delle considerazioni sopra riportate le domande di ricerca a cui si è data una risposta nel presente lavoro sono:

- Come varia la domanda al variare della qualità del servizio (distanza dalla fermate, tempo di attesa, tempo a bordo e comfort a bordo)?
- Quali sono le differenze di preferenze da parte dell'utenza fra un CTS e un sistema classico?
- Esistono relazione fra i diversi attributi socioeconomici degli utenti (età, sesso, livello di istruzione) e la domanda?

In Figura 26 sono sinteticamente riportate le domande di ricerca a cui si è risposto utilizzando modelli di domanda che permettessero di legare il livello di domanda alla presenza del CTS, alle sue caratteristiche trasportistiche, ed alle caratteristiche socioeconomiche degli utenti del parcheggio P1 della Nuova Fiera di Roma.

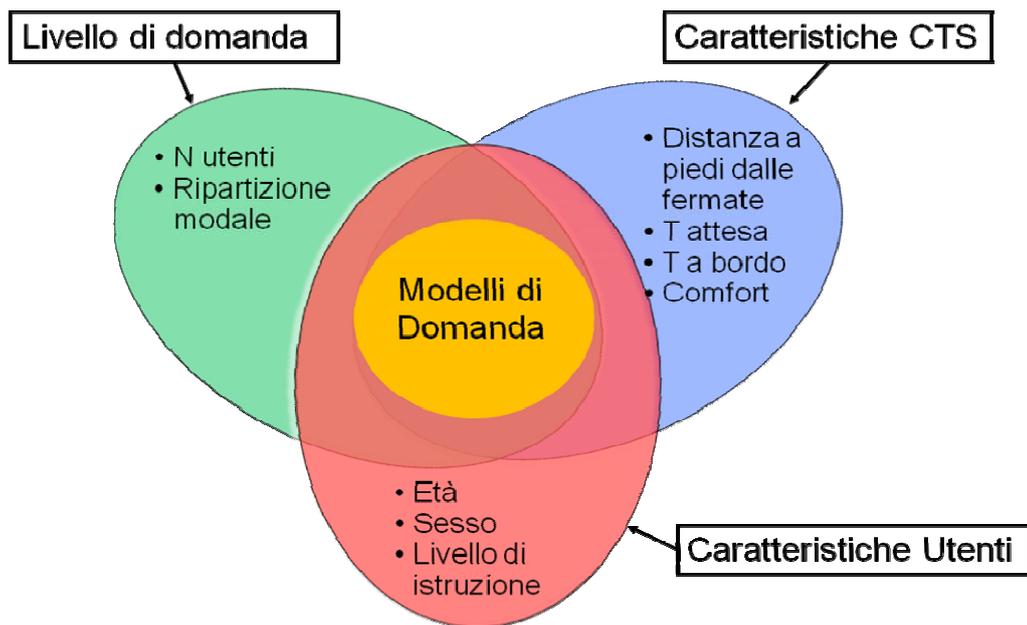


Figura 26 - Relazione fra livello di domanda del CTS le sue caratteristiche e le caratteristiche socioeconomiche degli utenti.

## **2 Lo stato dell'arte nel campo dei sistemi di trasporto automatici**

Nel presente capitolo sarà fornita una panoramica sintetica dello stato dell'arte sia per quel che riguarda i sistemi di trasporto innovativi operanti sia per quel che riguarda gli studi e le analisi svolti sulla domanda potenziale di questi sistemi.

Per quel che riguarda i sistemi operanti saranno riportati i pochi esempi di sistemi operanti e aperti al pubblico al momento. Di ciascun sistema saranno riportati la localizzazione, il contesto in cui sono inseriti, l'anno di apertura al pubblico e saranno descritte le principali caratteristiche tecniche e trasportistiche.

Per quel che riguarda analisi o studi della domanda saranno riportati i principali risultati di quelle analisi o studi sulla domanda potenziale dei sistemi di trasporto innovativi che sono prevalentemente discesi da progetti co-finanziati dalla Commissione Europea e nello specifico CyberMove, NETMOBIL, CyberCars e EDICT.

### ***2.1 Esempi di sistemi di trasporto automatici funzionanti***

Nel presente paragrafo si riporta una panoramica sintetica dei sistemi di trasporto innovativo al momento funzionanti in Europa e in Nord America. Nello specifico si riportano:

- Il PRT di Morgantown (USA). Il sistema che, anche se vetusto e considerato a volte negli ambienti tecnici e scientifici un people mover, è stato in assoluto il primo a fornire un servizio a domanda ed è in funzione dal 1975;
- Rivium ParkShuttle (Paesi Bassi) è un vero e proprio CTS, in funzione fin dal 1999 nei sobborghi di Rotterdam. E' stato attivato assieme a una sperimentazione di un sistema simile nel parcheggio dell'aeroporto di Schiphol (Paesi Bassi) non più in funzione. In ambedue i casi la ditta fornitrice del sistema e dei veicoli è la FROG/2getthere che al momento sta fornendo anche il PRT per la città di Mazdar (Emirati Arabi Uniti);
- I sistemi del Forte Simserhof e di Vulcania (Francia) ambedue dei CTS forniti da Robosoft e localizzati in dei parchi a tema in due diverse località francesi.

#### **2.1.1 Morgantown Personal Rapid Transit**

Morgantown è una piccola città di 30.000 abitanti degli Stati Uniti con una popolazione aggiuntiva di circa 28.000 studenti e ricercatori dovuti alla presenza della West Virginia University. La città è localizzata in una valle lungo il fiume Monongahela. Durante gli anni 60, ha causa della conformazione della valle, l'espansione dell'università ha portato

costruire un secondo campus a circa 3 km dal vecchio centro della città. Al fine di collegare i due campus fu istituito un servizio di bus navetta che però, dovendo passare per il centro, causò una forte congestione della rete viaria.

Per superare tale problema si decise di ricorrere alla realizzazione di un PRT, i cui primi esemplari erano allora in sperimentazione negli USA, che collegasse i due campus e il centro città. Il sistema, dopo varie vicissitudini, entrò in funzione nel 1975 e da allora, a meno di una breve interruzione per permetterne l'espansione nel 1978, non ha smesso di funzionare.

Il sistema è completamente automatico e può fornire servizio a domanda o a frequenza (nelle ore di punta) lungo i 13,9 km di linea e le 5 stazioni ed è completamente segregato. La flotta è composta da 73 minibus (lungi 472 cm, alti 267 cm e larghi 203 cm) che possono ospitare fino a 20 passeggeri di cui 8 seduti e hanno una velocità massima di 50 km/h (vedi Figura 27). I minibus sono vincolati meccanicamente al percorso e hanno le porte su ambedue i lati.

Il sistema è utilizzato mediamente da 16.000 passeggeri al giorno con picchi che arrivano a 31.000 passeggeri al giorno e risulta molto affidabile con un tempo di disponibilità del servizio pari al 98% del tempo totale previsto.



Figura 27 - Immagine del PRT di Morgantown.

Il sistema di Morgantown, rispetto ai prototipi e i sistemi ora in realizzazione, è vetusto sia in termini di sistemi di controllo che rispetto ai veicoli. Inoltre la guida vincolata meccanicamente fa sì che nella comunità scientifica non sempre lo individui come un PRT.

Nonostante questo, i lunghi anni di esercizio e i buoni risultati in termini di passeggeri trasportati ed il fatto che sia l'unico people mover che possa fornire servizio a domanda lo rendono caso di studio interessante.

### 2.1.2 Rivium ParkShuttle

Il ParkShuttle è un CTS che collega la stazione della metro di Rotterdam "Kralingse Zoom" con il Rivium Business park localizzato nei sobborghi della città. La decisione di realizzare questo collegamento fu presa nel 1995 e il primo pilota cominciò le operazioni nel Febbraio 1999. Nel dicembre del 2005 fu realizzato il sistema completo con una pista di circa 1,8 km e cinque fermate.

Allo stato attuale il sistema, che opera con un permesso temporaneo del Ministero dei Trasporti Olandese, ha 6 veicoli da 20 posti ciascuno. I veicoli (vedi Figura 28) sono stati molto migliorati nell'ultima fase utilizzando molte competenze provenienti dall'industria automobilistica. Durante le ore di picco il sistema opera a frequenza fissa con un intervallo fra due veicoli successivi di circa 2,5 minuti mentre nelle ore di morbida opera con servizio a domanda.



Figura 28 - Il veicolo utilizzato nel Rivium ParkShuttle.

I veicoli utilizzati sono della Cybercar, quindi senza conducente, e seguono la traiettoria assegnata utilizzando sia delle mappe digitali a bordo, un odometro e dei magneti annegati nell'asfalto che permettono al veicolo di correggere costantemente l'errore sulla traiettoria. Tale principio di guida denominato Free Ranging On Grid è stato sviluppato da FROG/2getthere che è anche l'azienda produttrice dei veicoli e garantisce un errore laterale rispetto alla traiettoria assegnata inferiore ai 4 cm fino a velocità di 80 km/h

Tale sistema di guida, ad esclusione dei magneti interrati, non richiede nessun altro intervento permettendo quindi una facile installazione del sistema. I veicoli, dato l'obiettivo finale di operare in promiscuo almeno con pedoni e ciclisti, sono muniti di due

sistemi di rilevazione degli ostacoli. Il primo sistema di detenzione degli ostacoli funziona con ultrasuoni ed è per gli ostacoli più vicini mentre uno scanner laser permette l'individuazione di ostacoli più lontani. In caso di ostacoli prossimi al veicolo lo stesso attiva un allarme sonoro (molto simile al suono di un clacson) e riduce la velocità al fine di evitare l'urto.

In caso di presenza permanente di un ostacolo il veicolo si ferma e, una volta rimosso lo stesso (per esempio una persona che sta attraversando) riprende automaticamente la marcia.

### **2.1.3 I sistemi forniti da Robosoft**

Robosoft è la ditta francese che fornisce le Cybercar ed il relativo sistema di controllo per il CTS del Dimostrativo di Roma. Allo stato attuale opera due sistemi CTS aperti al pubblico in due parchi a tema in Francia. Tali sistemi vengono operati e sono aperti al pubblico grazie alla certificazione rilasciata dall'APAVE (ente certificatore indipendente) in base alla direttiva macchine 98/37/CE recepita dalla normativa francese nell'articolo R 233-84 del "Code du Travail". Va detto che, come espressamente riportato nella direttiva macchine, quest'ultima non si applica a macchinari o veicoli per il trasporto di persone ed è stato possibile utilizzare tale direttiva per certificare la sicurezza di tali sistemi grazie alla modalità con cui è stata recepita nella normativa Francese. Inoltre va sottolineato che ambedue i sistemi operano con personale a bordo, che in caso di malfunzionamento del sistema, può attivare la frenata di emergenza.

#### ***Il Forte Simserhof***

Il Forte Simserhof è uno dei principali Forti della Linea Maginot ed è stato aperto al pubblico nel Luglio 2002 al fine di preservare la memoria di quei soldati che vi combatterono durante la seconda guerra mondiale.

Il Forte è visitabile grazie ad una flotta di 5 Cybercar che viaggiano su un circuito di circa 1 km seguendo dei cavi induttivi annegati nel pavimento. Il servizio è stato aperto al pubblico nel luglio 2002, in concomitanza dell'apertura al pubblico del forte stesso, ed è utilizzato da circa 70.000 passeggeri l'anno e la visita dura circa 30 minuti. Il sistema è stato uno dei primi completamente robotizzati installati da Robosoft in Francia e ogni veicolo può trasportare 22 persone più un eventuale disabile su sedia a rotelle. L'operatore, che rimane a bordo del veicolo per tutto il tragitto, coordina le operazioni di salita e discesa degli utenti dal sistema, terminate le quali il veicolo parte automaticamente seguendo il percorso assegnato. La posizione e lo status dei veicoli sono continuamente comunicati al sistema di supervisione che ha anche il compito di gestire la priorità dei veicoli in quei tratti dove solo un veicolo alla volta può operare (il tratto in Figura 29 fra il Punto B ed E) ed intervenire in caso di malfunzionamento.

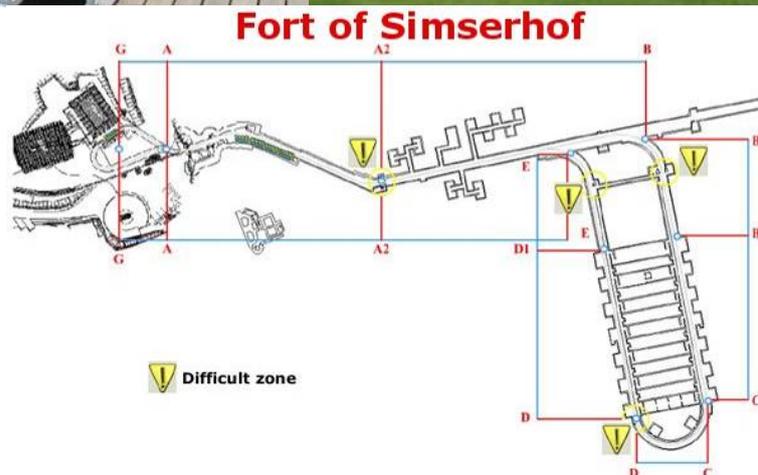


Figura 29 - Alcune immagini del CTS presso il Forte Simserhof.

### ***Vulcania***

Vulcania (<http://www.vulcania.com>) è un parco a tema sui vulcani di carattere divulgativo e scientifico. Il parco, molto esteso, può essere visitato utilizzando una flotta di 3 Cybercar che sono operative fin dal 2008 (vedi Figura 30). Le Cybercar utilizzate da Robosoft in questo parco sono del tipo robuRIDE, (quelle utilizzate nel Dimostrativo di Roma sono anch'esse robuRIDE ma più evolute). Le Cybercar hanno una capacità ciascuna di 28 passeggeri, una larghezza di 2,4 m ed una lunghezza di 5,4 m. La velocità massima è pari a 10 km/h anche per permettere i visitatori di osservare il parco durante il giro. Le Cybercar si muovono su un percorso di lunghezza pari a 1 km e la corsia ha una larghezza di 3 m (vedi Figura 31). Il sistema di localizzazione delle Cybercar è un sistema data fusion con odometro, giroscopio e GPS differenziale e questo permette di avere delle infrastrutture a terra minime, solo un antenna base GPS contro il cavo annegato nel percorso utilizzato nel sistema del Forte Simserhof. Le Cybercar operano in promiscuo con pedoni e per questo motivo sono munite di sistemi d'individuazione degli ostacoli e nello specifico: un paraurti che attiva la frenata di emergenza in caso di contatto con ostacoli, uno scanner laser, che scansiona una superficie posta a 20 cm sopra il piano stradale e parallela allo stesso e che, in caso di ostacolo, rallenta la marcia del veicolo in base alla distanza dello stesso dal veicolo fino all'arresto totale se necessario.

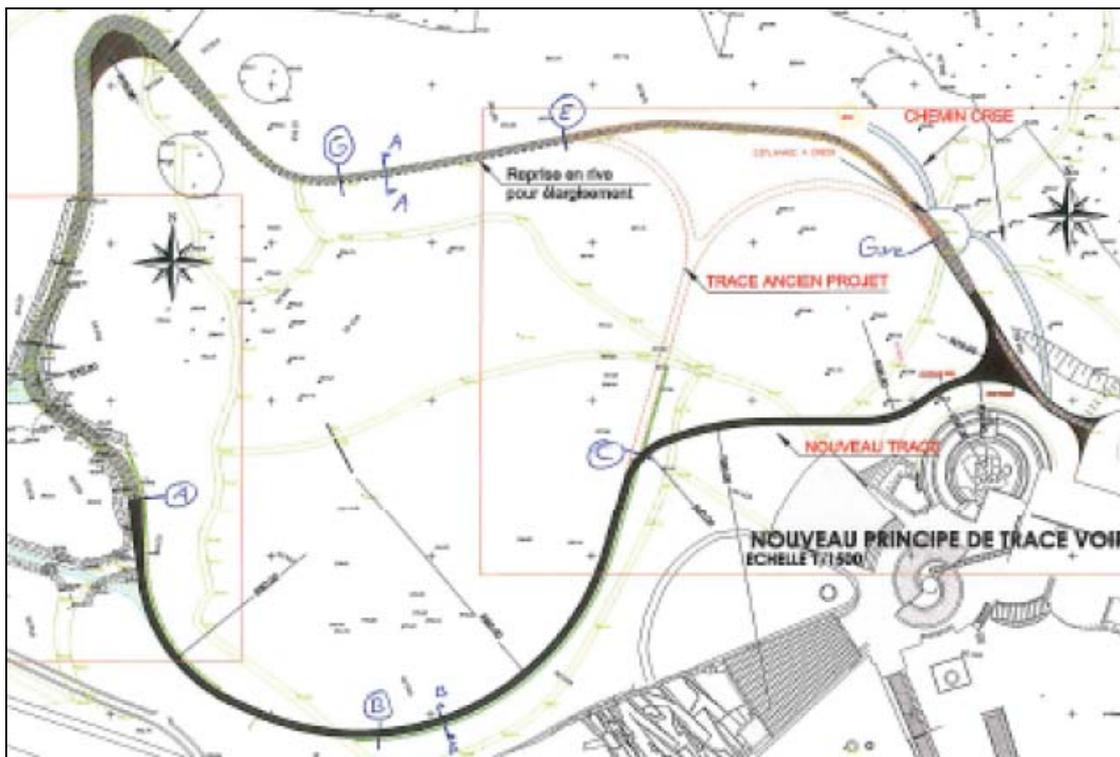


Figura 30 - Il circuito del CTS di Vulcania.

Il sistema può fornire un servizio a domanda o a frequenza programmata in base alle esigenze dell'utenza, opera comunque con personale a bordo e può trasportare fino a 5000 utenti al giorno.

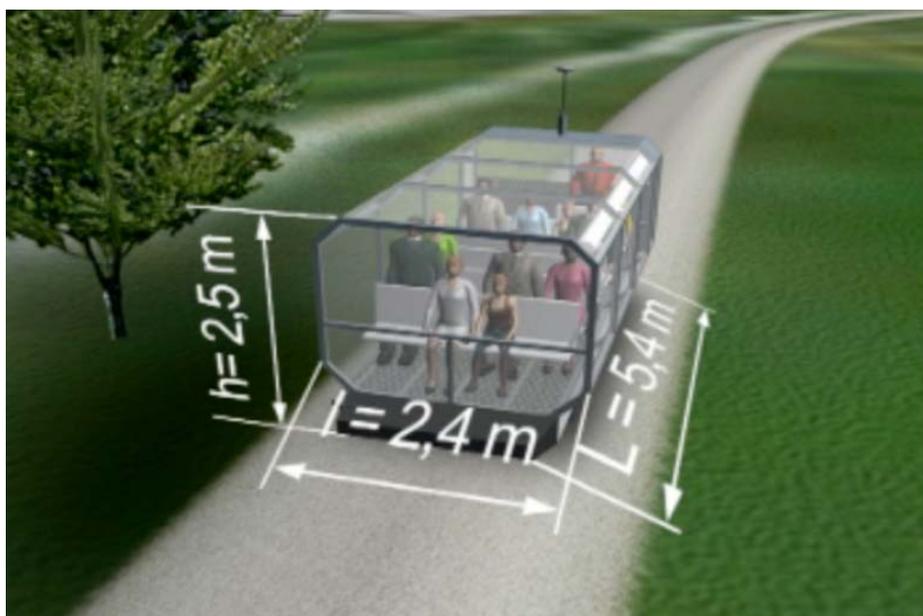


Figura 31 - Un immagine del veicolo utilizzato presso Vulcania.

## **2.2 Casi di studi e studi di domanda per sistemi di trasporto innovativi**

Casi di studio e studi di domanda per sistemi di trasporto innovativi e automatici come CTS e PRT sono stati svolti in alcuni progetti di ricerca Europei e specificatamente CyberMove e EDICT ambedue co-finanziati dalla Commissione Europea nel 5° programma quadro.

Il focus di CyberMove erano i CTS mentre EDICT si è concentrato sui PRT. In questi progetti sono stati svolti studi di fattibilità e realizzati piccoli dimostrativi al fine di valutare diversi aspetti come: sostenibilità finanziaria, fattibilità tecnica, accettazione dell'utenza di tali sistemi e analisi della domanda. A seguito di questi due progetti europei la Commissione Europea ha finanziato il progetto NETMOBIL al fine di rivedere e revisionare i risultati delle ricerche effettuate nel campo dei trasporti innovativi. NETMOBIL ha quindi revisionato, analizzato e sintetizzato i risultati e gli studi di domanda svolti in CyberMove ed EDICT.

Le principali fonti di informazione su analisi della domanda per questi sistemi di trasporto sono presenti principalmente nei Deliverables dei progetti (CyberMove Consortium, 2004a e 2004b; EDICT Consortium 2004a, 2004b e 2004c; NETMOBIL Consortium, 2005). Per quello che riguarda studi di domanda su sistemi di trasporto innovativi sono pochi, e praticamente tutti pubblicati in atti di conferenze (Alessandrini e Filippi, 2004; Bekhor e Zvirin, 2004; Minderhoud e Van Zuylen, 2005).

CyberMove ha valutato l'impatto circa l'implementazione di CTS in 11 diversi siti in Europa. I risultati del progetto hanno evidenziato delle osservazioni generali e delle prime raccomandazioni per l'inserimento in città (CyberMove Consortium, 2004b) che possono essere sintetizzate come segue:

- Fattore critico per il successo di un CTS sono la localizzazione e la cura dell'interfaccia con altri sistemi di trasporto;
- I CTS hanno il potenziale per fornire un sistema di trasporto pubblico innovativo e con forte attrattività verso gli utenti ma non possono risolvere da soli i problemi della mobilità.
- L'utenza e la percezione che questa ha dei CTS e della qualità del servizio che fornisce sono fattori chiave per il successo di ogni CTS. L'utenza e i suoi bisogni devono essere tenuti in considerazione fin dal principio anche con azioni di costruzione del consenso come: campagne di informazioni, focus group e incontri a livello locale. Questo approccio è raccomandato per ogni nuova infrastruttura di trasporto ma nel caso di trasporti innovativi come il CTS è obbligatoria.

- Il ruolo delle amministrazioni pubbliche locali per la realizzazione del CTS è fondamentale e può determinare il successo o il fallimento del progetto e, il fallimento di un progetto di CTS, può influire negativamente sul concetto di CTS e sulla sua futura diffusione.

In uno dei siti del progetto CyberMove localizzato presso il “Technion University Campus” (Haifa, Israele) è stato svolto uno studio si domanda su un ipotetico CTS per collegare i principali stabili dell’università con i parcheggi e le principali fermate degli autobus. E’ importante sottolineare che il campus è localizzato in un’area collinosa e sia i parcheggi che le principali fermate degli autobus sono localizzati all’esterno del campus. Il modello di domanda è stato calibrato grazie alla somministrazione di questionari SP a 150 studenti (1% della popolazione totale di studenti del campus). I risultati complessivamente mostrano che il 75% degli intervistati utilizzerebbero il CTS proposto, sia dopo aver parcheggiato nei pressi degli ingressi del campus, sia come soluzione dell’ultimo miglio dopo aver utilizzato il sistema di trasporto pubblico. E’ importante sottolineare che il CTS, così come descritto agli intervistati, è stato proposto come complemento dei sistemi di trasporto pubblico già esistenti (Bekhor e Zvirin, 2004).

Un altro studio, condotto all’interno del progetto CyberMove, riguarda la città di Antibes (Francia), uno dei principali siti della riviera francese, e la realizzazione di un CTS che colleghi i parcheggi, esterni al centro storico, con quest’ultimo. Al momento i parcheggi sono collegati con il centro storico con un servizio di navetta, ma la maggior parte dei turisti preferisce parcheggiare nei pressi del centro storico causando notevoli problemi di traffico e di congestione. Lo studio di domanda svolto per Antibes ha evidenziato che l’implementazione di un CTS che colleghi i parcheggi esterni con il centro storico triplicherebbe il numero di utenti dei parcheggi e del servizio navetta stesso (CyberMove Consortium, 2004b; NETMOBIL Consortium, 2005).

Per quel che riguarda i PRT, uno studio della domanda è stato svolto nella città di Almelo (Paesi Bassi). Lo scopo principale dello studio era di investigare la “willingness to pay” per un PRT che collegasse diversi punti nevralgici della città come la stazione ferroviaria o l’ospedale. Lo studio è stato basato sulle interviste a 300 potenziali utenti del sistema. La maggioranza degli intervistati ha espresso la sua disponibilità ad utilizzare un PRT, qual’ora fosse stato implementato ma comunque circa il 25% degli intervistati ha dichiarato che non avrebbe utilizzato il PRT. La “willingness to pay” media emersa dallo studio per un servizio di PRT è risultata pari ad 1 € per viaggio (Minderhoud and Van Zuylen, 2005).

A Cardiff (Regno Unito) è stato svolto uno studio per valutare l’impatto di un PRT ipotizzato nell’area della baia di Cardiff che, nel 2005, era in profonda fase di ammodernamento e riorganizzazione urbanistica verso funzionalità prevalentemente residenziali e commerciali. Lo studio ha evidenziato che il PRT avrebbe la capacità di

attrarre circa il 61% degli attuali utenti del TPL e circa il 9% dei pedoni ma anche di poter attrarre circa l'8% dei pendolari che attualmente usano la macchina dirottandoli verso la ferrovia e il treno in combinazione con il PRT. Dallo studio emerge anche che la "willingness to pay" media è pari a 1 £ (EDICT Consortium 2004a e 2004b; NETMOBIL Consortium, 2005).

Kungens Kurva è una delle aree di in via di espansione di Huddinge (Svezia). Nel 2004, quando lo studio è stato svolto all'interno del progetto EDICT, circa 5 milioni di persone l'anno visitavano quest'area commerciale e l'apertura del centro "Hereon City entertainment" si era stimato avrebbe attratto ulteriori 3,5 milioni di visitatori. La maggior parte dei visitatori e degli impiegati, durante lo studio, raggiungeva il sito con la macchina mentre solo il 5,5% di questi lo raggiungeva con il TPL. Lo studio di domanda ha evidenziato che la realizzazione del PRT, quando nel 2015 il centro commerciale avrà raggiunto la sua estensione massima, potrebbe far sì che l'area sia raggiunta con il TPL da un visitatore su 5 e che il 17,3% dei visitatori utilizzino il PRT. Questa ripartizione modale è circa quattro volte più grande di quella rilevata nel 2004 (EDICT Consortium 2004a; NETMOBIL Consortium, 2005).

### **3 La progettazione e realizzazione delle indagini**

Nel presente capitolo sarà descritto l'approccio seguito nella definizione dei questionari da somministrare agli utenti del parcheggio P1, gli scenari proposti in ogni questionario con i relativi attributi e le modalità scelte ed utilizzate per la somministrazione degli stessi.

Nel primo paragrafo si descriverà il processo di definizione del disegno sperimentale motivando la scelta del metodo delle *Stated Preferences* e degli scenari proposti agli intervistati. A valle di questo, per ogni alternativa saranno descritti gli attributi ed i relativi livelli di variazione.

Nel paragrafo successivo si descriverà la struttura dei questionari utilizzati e le modalità scelte per ridurre il piano fattoriale completo. Successivamente si riporteranno le modalità utilizzate per somministrare i questionari ed il periodo in cui sono stati somministrati.

Nell'ultimo paragrafo si riporterà, sinteticamente una prima descrizione dei risultati emersi dai questionari.

#### **3.1 Definizione del disegno sperimentale**

L'analisi dello stato dell'arte ha evidenziato che non esistono sistemi tipo CTS o PRT funzionanti su cui sono stati svolti studi di domanda rispetto alle caratteristiche del sistema stesso con questionari di tipo a Preferenze Rivelate (comunemente indicato con il nome inglese di *Revealed Preferences – RP*). Con questo metodo, attraverso dei questionari strutturati, all'utente viene chiesto di descrivere il proprio spostamento. Tali dati, elaborati in maniera opportuna vengono poi utilizzati per stimare il modello di domanda.

Per quello che riguarda CTS o PRT, dove studi della domanda sono avvenuti con il fine di stimare modelli di domanda è stato utilizzato il metodo delle Preferenze Dichiarate (comunemente indicato con il nome inglese *Stated preferences – SP*). Questo metodo consiste nel sottoporre all'intervistato, ipotetico futuro utente del sistema di trasporto, diversi scenari che differiscono per il valore di diversi attributi legati: alle diverse alternative di sistemi di trasporto ed livello di servizio dei diversi sistema proposti, alle condizioni meteorologiche, alla presenza o meno di pedaggi o in base ad altri aspetti. Con il metodo delle SP all'utente può essere chiesto di:

- Scegliere una fra le diverse alternative proposte. Generalmente le alternative vengono proposte a coppie e all'utente viene chiesto di scegliere quale delle due alternative scegliere.
- Classificare le diverse alternative proposte. All'utente, in questo caso, viene chiesto di classificare, generalmente da quella ritenuta migliore a quella

ritenuta peggiore, le alternative proposte generando così una classifica delle diverse alternative.

- Dare un voto alle diverse alternative proposte. All'utente, in questo caso, viene chiesto dare un voto alle diverse alternative proposte.

Nel campo della stima dei modelli di trasporto i due metodi più diffusi sono quello della scelta fra le alternative e quello della classificazione delle alternative. L'utilizzo dei due metodi non è indifferente è ognuno presenta vantaggi e svantaggi ma, l'analisi dello stato dell'arte ha evidenziato che, generalmente, nel campo dei trasporti si preferisce far scegliere fra due o più alternative per diverse ragioni che sono:

- Il metodo della classificazione risulta essere più difficile per gli intervistati e quindi i risultati possono essere meno affidabili rispetto al metodo della scelta, anche se fornisce, a parità di numero di intervistati più informazioni;
- Nel mondo reale l'utente sceglie fra diverse alternative ed è rara la situazione in cui è chiamato a fare una graduatoria in ordine di preferenze. Anche in questo caso tale aspetto può far sì che i risultati di una classificazione siano meno affidabili di quelli ottenuti facendo scegliere l'utente fra diverse alternative perché l'utente, semplicemente, non è allenato a classificare le alternative;
- Se l'obiettivo è prevedere il comportamento degli utenti, più che stimare l'importanza di ogni singolo parametro o attributo, e dato che il comportamento è frutto generalmente di una scelta fra diverse alternative il metodo della scelta descrive meglio il comportamento reale dell'utente.

Per queste ragioni unitamente al fatto che nella stima dei modelli di domanda osservati in letteratura si utilizza il metodo della scelta, si è deciso di sottoporre agli intervistati la scelta fra diverse alternative ipotetiche utilizzando il metodo SP.

A valle si sono definite le alternative fra cui far scegliere gli intervistati e gli attributi con cui descrivere ogni alternativa. Per quello che riguarda le alternative, dato che il CTS sarà implementato nel parcheggio P1 della nuova Fiera di Roma, le due possibili alternative saranno (i) utilizzare il CTS per raggiungere gli ingressi (ii) raggiungere gli ingressi a piedi.

Nella definizione degli attributi e degli intervalli entro cui farli variare si sono tenuti in considerazione due diversi aspetti (i) esempi simili presenti in letteratura (ii) le condizioni in cui il CTS andrà a operare sia in termini di tipo di attributi che d'intervalli entro cui farli variare. A titolo di esempio, siccome il sistema sarà gratuito, si è preferito non inserire un attributo relativo al costo del viaggio, oppure considerando le distanze a piedi da percorrere si è utilizzato un intervallo di distanze, dai 200 m agli 800 m, che effettivamente gli utenti del P1 devono percorrere per uscire dal parcheggio.

L'analisi dello stato dell'arte ha evidenziato che gli attributi spesso utilizzati sono riferibili a (i) qualità del servizio in termini di: diffusione del sistema spesso indicato come distanza da percorrere per raggiungere le fermate, tempi di attesa alle fermate, tempi a bordo ma anche costo del servizio e comfort a bordo (ii) attributi di scenario come le condizioni meteorologiche o di luce (iii) attributi relativi alle altre alternative come la distanza a piedi per raggiungere la destinazione.

In base a tali indicazioni si sono definiti gli attributi e gli intervalli entro cui farli variare. Per quello che riguarda il CTS sono stati definiti i seguenti attributi: Distanza a piedi per raggiungere le fermate, Tempo di attesa alle fermate, Tempo a bordo, comfort a bordo che presenta solo due valori posto a bordo garantito posto a bordo non garantito. Per quanto riguarda l'alternativa "tutto a piedi" si è considerato come attributo la sola distanza da percorrere a piedi. Concludendo sono stati considerati due attributi di scenario: condizioni meteo che poteva assumere i valori pioggia o sereno, e le condizioni di luce che potevano essere buio con luce artificiale o giorno. Una sintesi dei diversi attributi e livelli è riportata in Tabella 2.

Tabella 2 - Attributi e livelli per le diverse alternative.

	<b>Attributi</b>	<b>N. livelli</b>	<b>Livelli proposti</b>
Scenario	Condizioni di luce	2	Giorno – notte con luce artificiale
	Meteo	2	Assenza di pioggia – pioggia
CTS	Distanza della fermata	3	20 – 75 - 150 (m.)
	T attesa alla fermata	2	2 – 5 (min.)
	T a bordo	2	3 – 10 (min.)
	Comfort	2	Automobile – Bus
Tutto a piedi	Distanza a piedi	3	200 – 400 - 800 (m.)
<b>Totale scenari</b>		<b>288</b>	

Definiti i livelli e gli attributi delle alternative l'ultimo punto è come indagare la presenza o meno di preferenze verso sistemi di trasporto innovati rispetto a sistemi classici. Un possibile approccio poteva essere aggiungere, fra gli attributi del CTS, la presenza o meno a bordo del conducente. Tale approccio però ha come aspetto negativo di esplicitare e trasformare in una variabile la presenza o meno del conducente creando di fatto la possibilità di scelta fra tre alternative il CTS, un sistema classico di trasporto con stessi attributi del CTS e "tutto a piedi". Nel presente lavoro si è preferito non esplicitare la scelta fra sistema automatico e sistema con conducente ma seguire un altro approccio. Sottoporre

a due campioni distinti e casuali di utenti del parcheggio P1 due questionari con le seguenti caratteristiche:

- CTS vs. Tutto a piedi;
- Minibus elettrico vs Tutto piedi.

I due questionari somministrati hanno lo stesso disegno sperimentale, e quindi sia il Minibus che il CTS presentano gli stessi livelli di servizio ed operano nelle stesse modalità (servizio a domanda, identiche distanze a piedi per raggiungere le fermate, identici tempi di attesa e a bordo) negli stessi scenari. Questo approccio permette di cogliere la preferenza implicita da parte degli utenti verso l'automazione.

### **3.2 Definizione del questionario e somministrazione**

La definizione del questionario da somministrare deve prevedere prima di tutto una riduzione del Piano Fattoriale completo. Nel presente caso, dato il numero degli attributi e dei livelli associati sono presenti 288 scenari di scelta e per sottoporre tali scenari ad intervista ed avere per ciascuno di essi un campione rappresentativo di risposte sarebbe necessario sottoporre diverse migliaia di interviste con conseguenti aumento notevole dei costi. Per tale motivo, in condizioni simili si procede a ridurre il numero degli scenari da sottoporre al singolo intervistato attraverso due differenti metodi:

- La tecnica della “scomposizione a blocchi”. Con questa tecnica si garantisce la possibilità di scomporre in blocchi gli scenari, ogni blocco sarà sottoposto a un campione di utenti evitando che un singolo utente debba rispondere a 288 scenari. Tale tecnica garantisce alcuni aspetti fondamentali. Il primo è che per ogni singolo attributo in ogni blocco si garantisce il “confronto” cioè per l'attributo  $J$ , nello stesso blocco saranno presenti la stessa quantità di scenari in cui assume il valore alto ed il valore basso. Il secondo aspetto è “l'ortogonalità” cioè si garantisce che dati due attributi  $J$  e  $H$ , nello stesso blocco il numero di casi in cui tali attributi si presentano con valori concordi sia uguale al numero di casi in cui si presentano con valore discordi.
- La tecnica del “piano fattoriale fratto”. Tale tecnica permette la riduzione del numero di scenari garantendo comunque il confronto “ortogonale” fra gli scenari rimanenti e consentendo così di stimare almeno gli effetti principali. In sostanza il piano fattoriale fratto si ottiene da un piano fattoriale completo attraverso la definizione di “relazione definenti” che legano il valore di un attributo a quello di altri attributi. Tale metodo se da un lato permette di ridurre, anche sensibilmente, il numero degli scenari porta alla perdita di possibilità di stimare gli effetti secondari di interazione fra gli attributi che vengono confusi con gli effetti conservati.

Nel presente lavoro si è applicata la tecnica del piano fattoriale fratto passando da 288 a 24 scenari e poi quella della scomposizione in blocchi scomponendo gli scenari rimasti in 6 blocchi da quattro scenari ciascuno. Durante le interviste ad ogni utente è stato sottoposto un blocco, quindi ad ogni utente sono stati sottoposti quattro scenari di scelta. In base a quanto osservato in letteratura e cercando da un lato di evitare di somministrare troppe interviste per contenere i costi e dall'altro di evitare di somministrare troppi scenari ad un singolo utente per non affaticarlo quattro scenari per blocco sono stati ritenuti adeguati.

Definiti i blocchi degli scenari si è potuto procedere alla definizione del questionario. Il questionario somministrato è composto da tre sezioni che sono:

- Descrizione delle alternative. In questa sezione viene descritto, in maniera più neutrale possibile un CTS operante nel parcheggio P1 che fornisce un servizio a domanda. Nell'altro questionario viene descritto un sistema di Minibus elettrici, operanti nel parcheggio P1, che offre un servizio a domanda. I due testi sono molto simili e si è prestata molta attenzione nel renderli più neutrali possibili al fine di evitare distorsioni. In sintesi i sistemi vengono presentati come operanti lungo un percorso fornendo un servizio a domanda fra le diverse fermate;
- Dati dell'intervistato, identica sia per il Minibus che per il CTS, e relativi a: età, sesso, livello di istruzione, professione, origine dello spostamento per raggiungere la Fiera e tempo impiegato per raggiungerla;
- Parte relativa alle SP identica per il CTS e il Minibus.

Le interviste sono state di tipo frontale e sono state somministrate nel parcheggio P1 a due campioni distinti e casuali di utenti del parcheggio nei mesi di novembre e dicembre 2009. Sono state somministrate un totale di 476 interviste valide così distribuite fra i due campioni:

- CTS vs tutto a piedi (238 interviste – DB0);
- Minibus vs Tutto a piedi (238 interviste – DB1).

Sono stati intervistati utenti, che una volta parcheggiato nel P1 si recavano agli ingressi della Fiera. All'utente, che veniva fermato nei pressi dell'uscita del parcheggio dagli operatori, veniva descritto sinteticamente l'obiettivo dell'intervista e, se accettava di essere intervistato, veniva invitato a sedersi in un gazebo appositamente allestito. All'inizio dell'intervista veniva descritto il sistema ipotetico e le due alternative possibili: usare il sistema o raggiungere gli ingressi a piedi. Al fine di fissare le idee e di contestualizzare la scelta a ogni intervistato è stato dato un foglio con lo schema del percorso del sistema inserito nel parcheggio P1 e la visualizzazione grafica delle due alternative: utilizzare il sistema o raggiungere gli ingressi a piedi (in Figura 32 il foglio utilizzato per il Minibus). Dopo la descrizione del sistema si raccoglievano i dati dell'intervistato e infine si

sottoponevano gli scenari SP (in Allegato un questionario completo utilizzato per l'intervista).

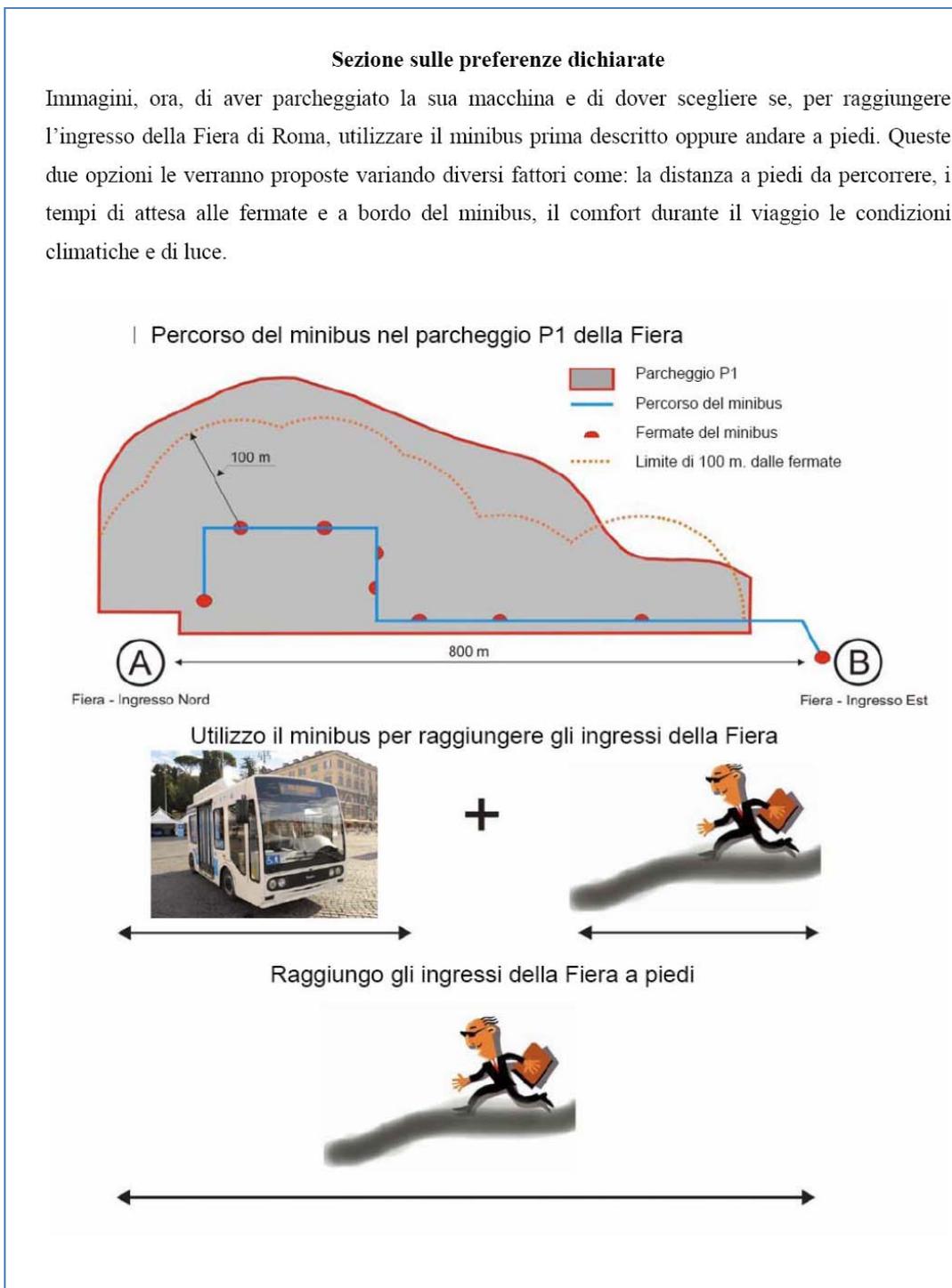


Figura 32 - Il foglio fornito all'intervistato per visualizzare le due alternative proposte.

### 3.3 Prime analisi sul campione raccolto

A valle delle interviste è stata svolta un'analisi sulla composizione del campione. Di seguito si riporta la distribuzione di genere fra i due campioni (vedi Figura 33). Come è possibile vedere i due campioni, in termini di rappresentanza di genere presentano composizioni simili con una forte presenza maschile (almeno il 67% degli intervistati).

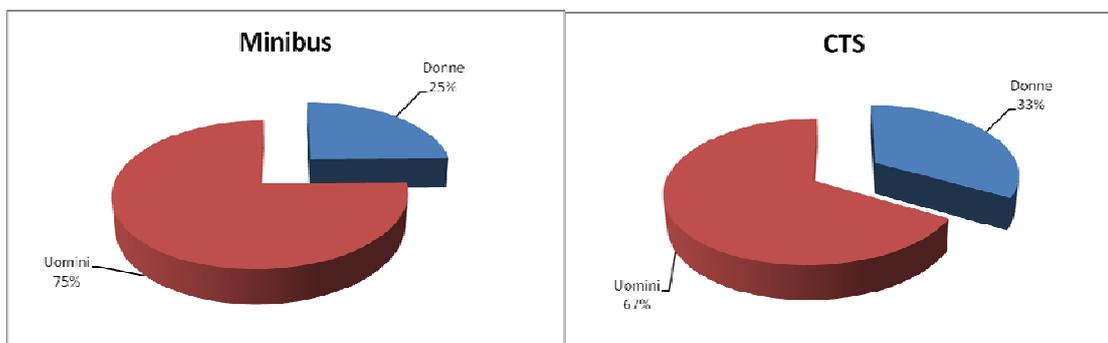


Figura 33 - Composizione di genere dei due campioni intervistati.

In Figura 34 è riportata la ripartizione percentuale nei due campioni in termini di livello d'istruzione. Com'è possibile osservare nei due campioni è presente una forte componente di persone con un titolo di studio di tipo superiore. Gli intervistati con un titolo di studio equiparabile alle scuole media è circa il 7% per il campione Minibus vs tutto a piedi e circa il 10% nell'altro campione. Una differenza più marcata si osserva invece per quello che riguarda le lauree di primo livello e nel caso del campione Minibus vs tutto a piedi sono circa il 13% degli intervistati contro il 23% del campione CTS vs tutto a piedi.

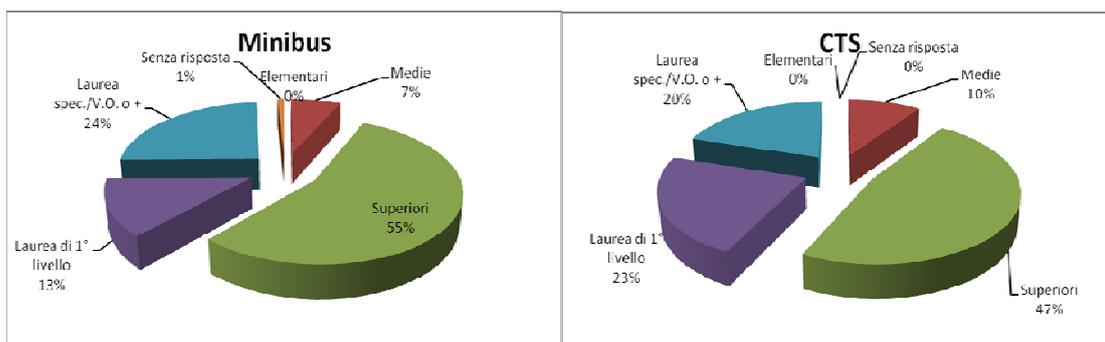


Figura 34 - Ripartizione percentuale nei due campioni per titolo di studio.

In Figura 35 è riportata la ripartizione percentuale fra i due campioni delle diverse fasce di età. I due campioni non presentano differenza marcate in termini di età e, in ambedue i casi, la fascia di età più rappresentata è quella che va dai 30 ai 39 anni.

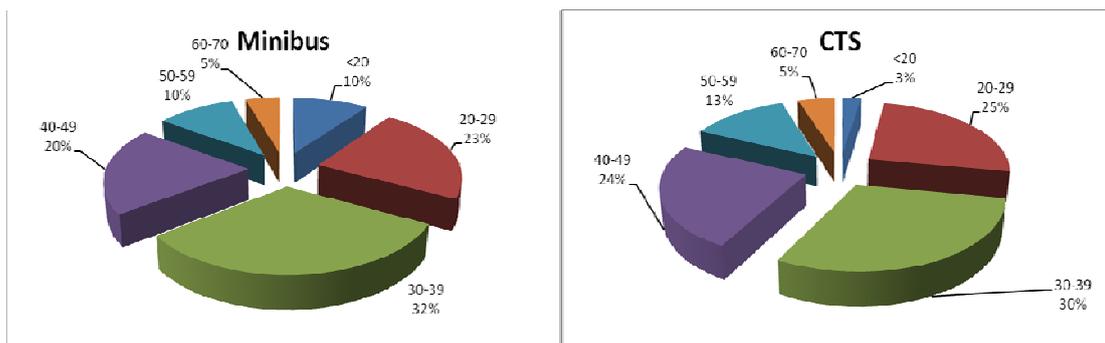


Figura 35 - Ripartizione percentuale dei due campioni per fascia di età.

Concludendo in Figura 36 è sono riportate le scelte, in termini di ripartizione modale, effettuate dai due campioni nei diversi scenari. Tale ripartizione è stata effettuata sommando le scelte effettuate dagli intervistati in ogni scenario. Come è possibile osservare, indipendentemente dallo scenario sottoposto, nel caso del Minibus vs tutto a piedi nel 56% degli scenari gli intervistati hanno scelto di utilizzare il Minibus per raggiungere gli ingressi della Fiera. Nel caso del campione CTS vs tutto a piedi la percentuale degli scenari in cui gli intervistati hanno scelto di utilizzare il CTS per raggiungere gli ingressi della Fiera sale al 66% delle risposte. Tali risultati, dato che gli scenari utilizzati sono identici per i due campioni, evidenziano come il CTS presenti un vantaggio competitivo rispetto al Minibus date le stesse condizioni operative.

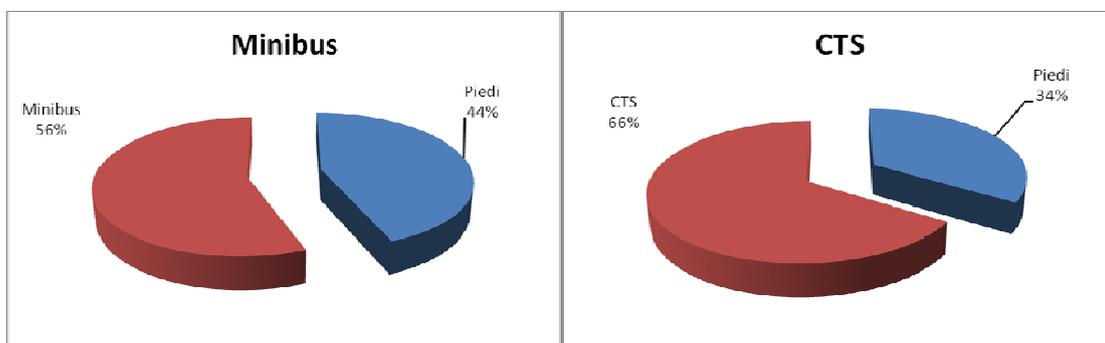


Figura 36 - Ripartizione percentuale delle scelte, in termini di modo di trasporto, effettuate nei due campioni.

## **4 Calibrazione dei modelli di domanda Logit Multinomiali**

Nel presente capitolo sarà fornita la descrizione sintetica del background teorico dei modelli Multinomial logit e successivamente saranno descritti i risultati ottenuti stimando diversi modelli di domanda Multinomial Logit grazie ai dati raccolti con le interviste.

Nel primo paragrafo sarà fornita una descrizione del background teorico sui modelli di utilità aleatoria, ne saranno riportati i principali assunti e caratteristiche con particolare riferimento alla sottocategoria dei Modelli Multinomial logit.

A valle di questa descrizione, nel paragrafo successivo, sarà riportata la struttura del modello di domanda Multinomial Logit completo e i risultati ottenuti stimandolo evidenziando che alcuni attributi risultano statisticamente non significativi.

In base a questi risultati sarà descritto il modello Multinomial Logit finale utilizzato nell'analisi in cui quegli attributi risultati statisticamente non significativi nel modello completo sono stati rimossi. I parametri relativi al modello finale saranno riportati evidenziandone l'importanza nel modello stesso.

Utilizzando il modello Multinomial Logit finale sarà svolta un'analisi sulla ripartizione modale al variare della distanza a piedi per raggiungere gli ingressi della Fiera in 8 diversi scenari per condizioni di luce, clima e comfort a bordo.

Concludendo, utilizzando sempre il modello Multinomial Logit finale, si analizzerà, nei diversi scenari, la variazione della ripartizione modale del CTS e del Minibus per ogni 100 m. aggiuntivi di distanza a piedi da percorrere per raggiungere gli ingressi.

### **4.1 Metodologia utilizzata**

Raccolti e dati delle interviste ed opportunamente organizzati si è proceduto alla definizione della metodologia per stimare i modelli di domanda o più correttamente i modelli di ripartizione modale. In questa prima fase si sono utilizzati dei modelli di tipo Multinomial Logit.

I modelli Multinomial Logit fanno parte della più ampia categoria dei modelli d'utilità aleatoria che è una categoria molto diffusa nella simulazione dei comportamenti di scelta degli utenti.

I modelli di utilità aleatoria si basano sul presupposto che l'utente, eventualmente appartenente a una classe di utenti omogenei dal punto di vista comportamentale, sia un *decisore razionale* ovvero massimizzi l'utilità relativa alle proprie scelte. In particolare i modelli di utilità aleatoria si basano sulle seguenti ipotesi:

- Il generico utente  $i$  nell'effettuare le sue scelte considera  $m_i$  alternative che sono quindi il suo *insieme di scelta*  $I^i$ .
- Il decisore  $i$  associa a ciascuna alternativa  $j$  del suo insieme di scelta un'utilità percepita  $U_j^i$  e sceglie l'alternativa che massimizza tale utilità.
- L'utilità associata a ciascuna alternativa di scelta dipende da una serie di *attributi* propri dell'alternativa e del decisore e assume la forma  $U_j^i = U^i(\mathbf{X}_j^i)$  dove  $\mathbf{X}_j^i$  è il vettore degli attributi relativi all'alternativa  $j$  e al decisore  $i$ .
- L'utilità relativa all'alternativa  $j$  e al decisore  $i$  a causa di diversi fattori non è nota con certezza all'osservatore esterno (analista) e pertanto deve essere rappresentata come una variabile aleatoria.

Quindi i modelli di utilità aleatoria non permettono di determinare con certezza la scelta dell'utente  $i$  ma permettono di definire la probabilità che una determinata alternativa  $j$  sia scelta dato un insieme di insieme di scelta  $I^i$ .

Sulla base di queste premesse l'utilità percepita  $U_j^i$  può essere espressa dalla somma dell'utilità sistematica  $V_j^i$ , che rappresenta la media o il valore atteso dell'utilità percepita tra tutti gli utenti con lo stesso contesto di scelta del decisore  $i$ , e di un *residuo aleatorio*  $\varepsilon_j^i$ , che rappresenta lo scostamento dell'utilità percepita dall'utente  $i$  da tale valore:

$$U_j^i = V_j^i + \varepsilon_j^i \quad \forall j \quad [1]$$

All'interno dei modelli di utilità aleatoria il più diffuso ed il più "semplice" è il modello Logit Multinomiale. Tale modello si basa sull'ipotesi che  $\varepsilon_j$  relativi alle diverse alternative siano Indipendentemente ed Identicamente Distribuiti (ipotesi IID) secondo una variabile aleatoria di Gumbel a media nulla e parametro  $\theta$ .

In particolare media e varianza della variabile di Gumbel valgono:

$$\begin{aligned} E[\varepsilon_j] &= 0 & \forall j \\ \text{var}[\varepsilon_j] &= \frac{\pi}{6}\theta^2 & \forall j \end{aligned} \quad [2]$$

Inoltre l'indipendenza dei residui aleatori implica che la covarianza fra una qualunque coppia di residui aleatori sia nulla:

$$\text{Cov}(\varepsilon_j, \varepsilon_h) = 0 \quad \forall j, h \in I \quad [3]$$

Utilizzando un modello Logit Multinomiale si sono calibrati due diversi modelli di domanda. Il primo modello completo ed il modello finale. Nelle diverse calibrazioni effettuate con il modello completo è stata analizzata la rappresentatività e la significatività statistica dei diversi attributi ipotizzando andamenti di tipo: lineare, logaritmico e con radice quadrata. La calibrazione dei modelli è avvenuta utilizzando congiuntamente i due DB e i le funzioni di utilità hanno assunto la forma:

$$\begin{aligned}
 \underline{V}_1^0 &= \beta_1^T * \underline{X}^0 && \text{tutto a piedi (CTS)} \\
 \underline{V}_2^0 &= \beta_2^T * \underline{X}^0 + ASA_2^0 && \text{CTS} \\
 \underline{V}_1^1 &= \beta_1 * X^1 && \text{tutto a piedi (Minibus)} \\
 \underline{V}_2^1 &= \beta_2^T * \underline{X}^1 + ASA_2^1 && \text{Minibus}
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Dove:

$DB0=CTS$  vs Tutto a piedi

$DB1=Minibus$  vs Tutto a piedi

La calibrazione congiunta ha permesso di imporre l'uguaglianza dei  $\beta$  relativi agli attributi comuni permettendo di esplicitare diverse percezioni da parte dell'utenza rispetto al CTS e al Minibus attraverso i due valori degli ASA (Attributo Specifico dell'Alternativa) che sono stati inserite sia nell'utilità del CTS che in quella del Minibus. Nello specifico la funzione di massima verosimiglianza da massimizzare per calibrare i modelli ha assunto la forma:

$$L = \prod_{i \in DB0} P_i^0 \cdot \prod_{j \in DB1} P_j^1
 \tag{5}$$

Dove  $P_i^x$  è la probabilità che l'utente  $i$ -esimo scelga l'alternativa appartenente al gruppo di alternative  $X$ . Nell'applicazione di tale metodo di calibrazione si è ipotizzato che i due DB fossero omoschedastici (uguale varianza del residuo aleatorio). Tale ipotesi è basata sul fatto che i due campioni sono stati estratti in maniera distinta e casuale dalla stessa popolazione e che ambedue i questionari sono di tipo  $SP$ .

## 4.2 Calibrazione del modello "completo"

Il modello completo include al suo interno tutti gli attributi considerati nei questionari  $SP$  e nello specifico i modelli di domanda assumono la forma:

$$\begin{aligned}
 V_{piedi}^0 &= \beta_1 * X_{Dpiedi}^0 \\
 V_{CTS}^0 &= \beta_2 * X_{Luce}^0 + \beta_3 * X_{Clima}^0 + \beta_4 * X_{Tattes}^0 + \beta_5 * X_{DpieBu}^0 + \beta_6 * X_{Tbordo}^0 + \beta_7 * X_{Comfort}^0 + ASA_{CTS}^0 \\
 V_{piedi}^1 &= \beta_1 * X_{Dpiedi}^1 \\
 V_{Mini}^1 &= \beta_2 * X_{Luce}^1 + \beta_3 * X_{Clima}^1 + \beta_4 * X_{Tattes}^1 + \beta_5 * X_{DpieBu}^1 + \beta_6 * X_{Tbordo}^1 + \beta_7 * X_{Comfort}^1 + ASA_{Mini}^1
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

Dove:

$\beta_1$  è il parametro della “distanza a piedi da percorrere”

$\beta_2$  è il parametro relativo all’attributo “condizioni di luce”

$\beta_3$  è il parametro relativo all’attributo “Clima”

$\beta_4$  è il parametro relativo all’attributo “Tempo di attesa alle fermate”

$\beta_5$  è il parametro relativo all’attributo “Distanza a piedi per raggiungere la fermata”

$\beta_6$  è il parametro relativo all’attributo “Tempo a bordo”

$\beta_7$  è il parametro relativo all’attributo “Comfort a bordo”

$ASA_{CTS}$  è l’attributo specifico dell’alternativa CTS

$ASA_{MINI}$  è l’attributo specifico dell’alternativa Minibus

Il modello è stato calibrato ipotizzando differenti tipi di legami fra gli attributi e i dati raccolti e nello specifico: lineare, logaritmico e radice quadrata. I risultati delle calibrazioni hanno evidenziato aspetti molto interessanti (vedi Tabella 3).

Tabella 3 - Valore dei parametri dei diversi attributi nel modello completo – relazione lineare fra i dati e gli attributi.

	CTS	Minibus	Significatività
$\beta_1$ (piedi)	-0,00148		-7,141 (si)
$\beta_2$ (Luce)	-0,4366		-4,316 (si)
$\beta_3$ (Clima)	-1,2195		-11,892 (si)
$\beta_4$ (Tattesa)	0,0217		0,640 (no)
$\beta_5$ (Dfermata)	0,0006		0,645 (no)
$\beta_6$ (Tbordo)	-0,0190		-0,131 (no)
$\beta_7$ (Comfort)	0,2672		2,642 (si)
ASA	0,6971 - 0,1599		CTS 2,937 (si) Mini 0,676 (no)
$\rho^2=0,56671$		$\rho^2_{adj}=0,56465$	

Il primo è che gli attributi di scenario, Luce Clima, risultano essere statisticamente significativi e rilevanti, soprattutto il clima che presenta il valore del parametro molto alto. Gli attributi relativi alla distanza a piedi per raggiungere la fermata, i tempi di attesa alla fermata e i tempi a bordo risultano invece non significativi dal punto di vista statistico e quindi non hanno inciso sulla scelta ipotetica degli intervistati. Tale risultato va necessariamente calata nel contesto di scelta dove le distanze e i tempi in gioco sono di bassa entità e le differenze in termini di tempi, per raggiungere gli ingressi con il sistema o a piedi non si discostano sostanzialmente. Alla luce di queste osservazioni, infatti, la distanza a piedi per raggiungere la Fiera è statisticamente rappresentativa e rilevante considerando che si riferisce non a grandezze binarie come la Luce o il Clima (che possono

assumere o 0 o 1) ma alla distanza a piedi che nel questionario è indicata in centinaia di metri. Per quello che riguarda gli attributi del sistema, il comfort a bordo risulta essere statisticamente significativo e abbastanza rilevante, anche se meno degli attributi di scenario Clima e Luce. Concludendo è importante osservare che i valori degli ASA risultano essere molto differenti ed in particolar modo  $ASA_{CTS}$  risulta essere molto maggiore rispetto a  $ASA_{MINI}$  anche se quest'ultimo risulta essere statisticamente poco significativo.

### 4.3 Calibrazione del modello “finale”

Alla luce dei risultati delle calibrazioni del modello completo si è proceduto a definire quali attributi considerare nel modello finale e quali escludere al fine di rappresentare al meglio le scelte degli utenti del P1. I risultati hanno evidenziato che indipendentemente dal legame ipotizzato (lineare, logaritmico e con radice quadrata) fra i dati e gli attributi, quelli relativi alla distanza a piedi per raggiungere la fermata, tempo di attesa alla fermata e tempo a bordo risultavano statisticamente non significativi. Per tali motivi questi attributi sono stati rimossi dal modello finale. Per quel che riguarda l' $ASA_{MINI}$  che comunque risultava statisticamente poco significativo si è preferito mantenerlo in quanto, generalmente, gli ASA inglobano tutti quegli effetti non esplicitati e quindi nel presente caso avrebbe in parte inglobato gli effetti degli attributi rimossi.

In base a queste considerazioni i modelli di domanda hanno assunto la seguente forma:

$$\begin{aligned}
 V_{piedi}^0 &= \beta_1 * X_{Dpiedi}^0 \\
 V_{CTS}^0 &= \beta_2 * X_{Luce}^0 + \beta_3 * X_{Clima}^0 + \beta_7 * X_{Comfort}^0 + ASA_{CTS} \\
 V_{piedi}^1 &= \beta_1 * X_{Dpiedi}^1 \\
 V_{Mini}^1 &= \beta_2 * X_{Luce}^1 + \beta_3 * X_{Clima}^1 + \beta_7 * X_{Comfort}^1 + ASA_{Mini}
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

*Dove:*

$\beta_1$  è il parametro della “distanza a piedi da percorrere”

$\beta_2$  è il parametro relativo all'attributo “Condizioni di luce”

$\beta_3$  è il parametro relativo all'attributo “Clima”

$\beta_7$  è il parametro relativo all'attributo “Comfort a bordo”

$ASA_{CTS}$  è l'attributo specifico dell'alternativa CTS

$ASA_{MINI}$  è l'attributo specifico dell'alternativa Minibus

Il modello di domanda è stato calibrato utilizzando congiuntamente i dati provenienti dal DB0 e dal DB1 così come illustrato nei paragrafi precedenti e ipotizzando un legame lineare fra i dati e gli attributi considerati. In Tabella 4 sono riportati i risultati della calibrazione del modello finale.

Nello specifico il parametro  $\beta_1$  presenta segno negativo e quindi al crescere della distanza a piedi la ripartizione modale dell'alternativa tutto a piedi diminuisce. Per quello che riguarda  $\beta_2$  presenta segno negativo e in questo caso, dato che è nella funzione d'utilità del CTS/Minibus, significa che in caso di giorno la ripartizione modale del CTS/Minibus diminuisce durante la notte invece aumenta. Anche  $\beta_3$ , relativo alle condizioni di clima, presenta segno negativo e valore elevato e quindi in caso di pioggia si osserverà un consistente aumento della ripartizione modale del CTS/Minibus mentre con tempo sereno si sarà avvantaggiata l'alternativa tutto a piedi. Per quello che riguarda l'unico attributo relativo alla qualità del servizio, il comfort a bordo, il relativo parametro  $\beta_7$  è positivo, anche se presenta un valore inferiore a quello degli attributi clima e luce (comunque tutti attributi che possono assumere valore 1 o 0), e quindi in caso di posto a bordo garantito la domanda del CTS/Minibus aumenterà.

Concludendo gli ASA aumentano ambedue in maniera consistente perché, probabilmente, inglobano gli effetti degli attributi eliminati dal modello. E' comunque importante sottolineare che  $ASA_{CTS}$  presenta un valore che è circa tre volte il valore di  $ASA_{MINI}$  e quindi, date le stesse condizioni, il CTS ha una maggiore attrattività intrinseca rispetto al Minibus.

Tabella 4 - Valore dei parametri dei diversi attributi nel modello finale – relazione lineare fra i dati e gli attributi.

	CTS	Minibus	Significatività
$\beta_1$ (piedi)	-0,00145		-7,141
$\beta_2$ (Luce)	-0,4373		-4,316
$\beta_3$ (Clima)	-1,2196		-11,892
$\beta_7$ (Comfort)	0,2685		2,642
ASA	0,8111	0,2740	CTS 5,522 Mini 1,885
	$\rho^2=0,56655$	$\rho^2_{adj}=0,56518$	

#### 4.4 L'analisi della domanda con il modello Multinomial Logit finale

In base ai risultati della calibrazione del modello finale è possibile analizzare la variazione della domanda al variare dei diversi attributi. L'analisi è stata svolta ipotizzando diverse condizioni operative in cui il sistema potrà trovarsi ad operare. In particolar modo è stato analizzato come varia la ripartizione modale del sistema vs tutto a piedi al variare della distanza da percorrere a piedi per raggiungere gli ingressi in diverse condizioni di Luce, Clima e Comfort a bordo per un totale di 8 scenari riportati in Tabella 5. La distanza a

piedi da percorrere variano dai 50 m. agli 800 m. Non sono state considerate distanze oltre gli 800 m. perché questa è effettivamente la distanza massima da percorrere all'interno del parcheggio.

Tabella 5 - Gli scenari considerati al variare della distanza a piedi per raggiungere gli ingressi.

	Luce*	Clima**	Comfort***
Scenario 1	1	1	1
Scenario 2	0	1	1
Scenario 3	1	0	1
Scenario 4	1	1	0
Scenario 5	0	1	0
Scenario 6	0	0	1
Scenario 7	1	0	0
Scenario 8	0	0	0

\* 1= Giorno; 0=Buio con luce artificiale

\*\* 1= Sereno; 0=Pioggia

\*\*\* 1= Posto seduto garantito; 0=posto seduto non garantito

Di seguito sono riportati l'andamento della domanda al variare della distanza a piedi negli 8 scenari simulati. Come notazione preliminare comune a tutti gli scenari è possibile osservare che:

- La ripartizione modale del sistema cresce al crescere delle distanze a piedi da percorrere per raggiungere gli ingressi;
- Come si era visto l' $ASA_{CTS}$  è molto più alto dell' $ASA_{MINI}$  (quasi tre volte) e questo porta, in tutti gli scenari ad una ripartizione modale del CTS di circa il 10% più alta di quel del Minibus a parità di condizioni.

In Figura 37 è riportata la ripartizione modale al variare della distanza a piedi per raggiungere gli ingressi nello Scenario 1 (giorno, sereno e posto a bordo garantito). E' possibile osservare che nei pressi dell'ingresso più del 60% degli utenti sceglie di raggiungerli camminando nel caso di CTS (percentuale che sale al 70% per il Minibus) mentre a 800 m. dagli ingressi per il CTS la situazione è ribaltata e circa il 65% degli utenti decide di raggiungere gli ingressi utilizzando il CTS.

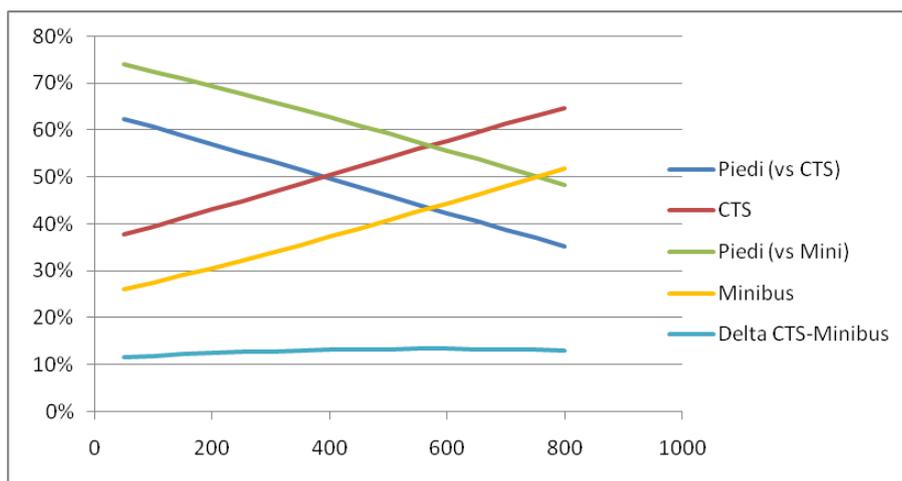


Figura 37 - Ripartizione modale nel P1 al variare della distanza a piedi in presenza di: giorno, sereno e posto a bordo garantito (Scenario 1).

In Figura 38 è riportato l'andamento della domanda al variare della distanza a piedi da percorrere nello Scenario 2 (notte con luce artificiale, sereno e con posto a bordo garantito). Rispetto allo Scenario 1 l'unica differenza è relativa alle condizioni di luce ed in questo scenario si è ipotizzato buio con luce artificiale. Come è possibile osservare nello Scenario 2 il CTS/Minibus presenta circa il 10% in più di ripartizione modale indipendentemente dalla distanza a piedi da percorrere rispetto allo Scenario 1 indicando che, in presenza di buio con luce artificiale, gli utenti preferiscono utilizzare dei mezzi di trasporto rispetto ad andare a piedi.

In Figura 39 è riportato l'andamento della ripartizione modale al variare della distanza a piedi da percorrere per raggiungere gli ingressi nello Scenario 3 (giorno, pioggia, posto a bordo garantito). Rispetto allo Scenario 1 l'unica differenza è la presenza di pioggia (anziché tempo sereno come previsto nello Scenario 1). Tale differenza ha un impatto notevole sulla domanda a favore del CTS/Minibus aumentando mediamente la ripartizione modale sia del CTS che del Minibus del 30% circa indipendentemente dalle distanze a piedi da percorrere.

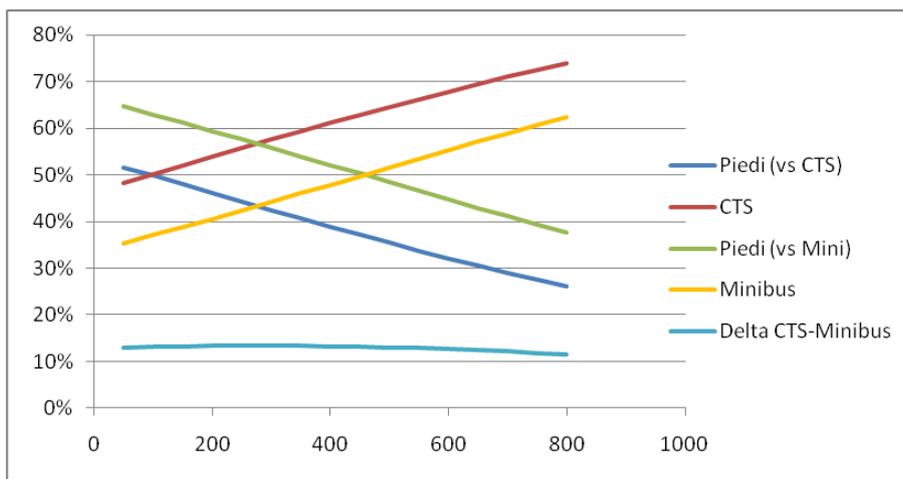


Figura 38 - Ripartizione modale nel P1 al variare della distanza a piedi in presenza di: buio con luce artificiale, sereno e posto a bordo garantito (Scenario 2).

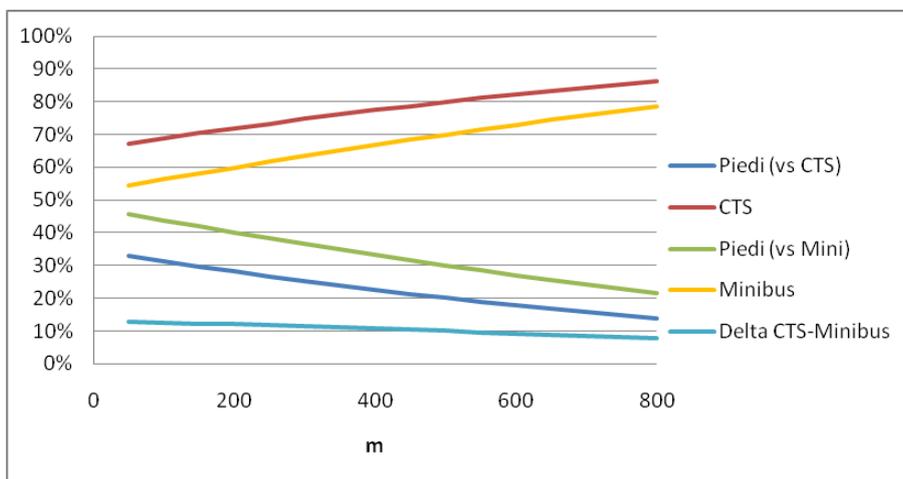


Figura 39 - Ripartizione modale nel P1 al variare della distanza a piedi in presenza di: giorno, pioggia e con posto a bordo garantito (Scenario 3).

In Figura 40 è riportato l'andamento della ripartizione modale al variare della distanza a piedi da percorrere per raggiungere gli ingressi nello Scenario 4 (giorno, sereno, posto a bordo NON garantito). Rispetto allo Scenario 1, dove il posto a bordo era garantito, nello Scenario 4 il posto NON è garantito. Questo attributo pesa sulla domanda del CTS/Minibus che, anche se crescente con la distanza a piedi da percorrere, è sempre inferiore rispetto allo Scenario 1 del 5% circa. Tale dato risulta anche rilevante dal punto di vista progettuale perché conferma che il comfort a bordo, anche se non importante come gli attributi di scenario, ha un peso non trascurabile nei processi di scelta degli utenti.

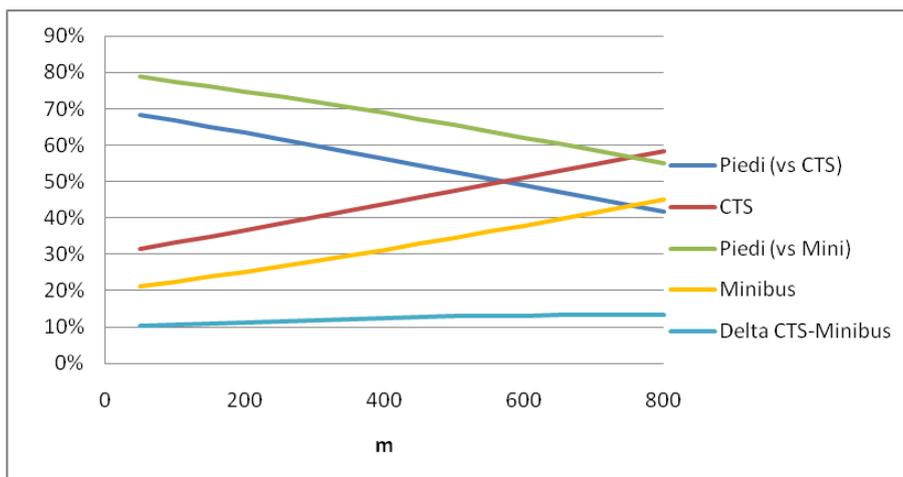


Figura 40 - Ripartizione modale nel P1 al variare della distanza a piedi in presenza di: giorno, sereno e con posto a bordo NON garantito (Scenario 4).

In Figura 41 è riportato l'andamento della ripartizione modale al variare della distanza a piedi da percorrere per raggiungere gli ingressi nello Scenario 5 (buio con luce artificiale, sereno, posto a bordo NON garantito). Rispetto allo Scenario 4 si osserva un 10% in più di ripartizione modale a favore del CTS/Minibus dovuto al fatto che nello Scenario 5 si è in presenza di buio con luce artificiale.

In Figura 42 è riportato l'andamento della ripartizione modale al variare della distanza a piedi da percorrere per raggiungere gli ingressi nello Scenario 6 (buio con luce artificiale, pioggia e posto seduto a bordo garantito). Lo Scenario 6 è in assoluto quello in cui si presentano le condizioni più favorevoli al CTS/Minibus che presentano ambedue ripartizioni modali superiori al 60% fin da 50 m dagli ingressi.

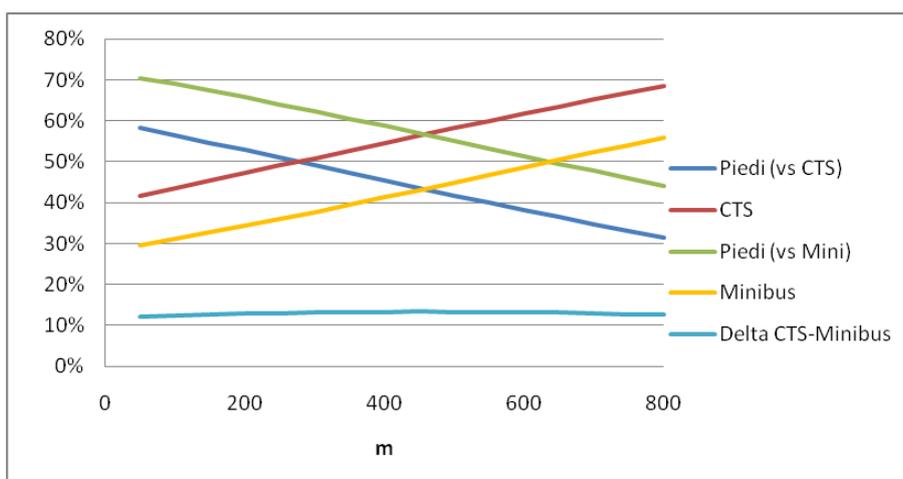


Figura 41 - Ripartizione modale nel P1 al variare della distanza a piedi in presenza di: buio con luce artificiale, sereno e con posto a bordo NON garantito (Scenario 5).

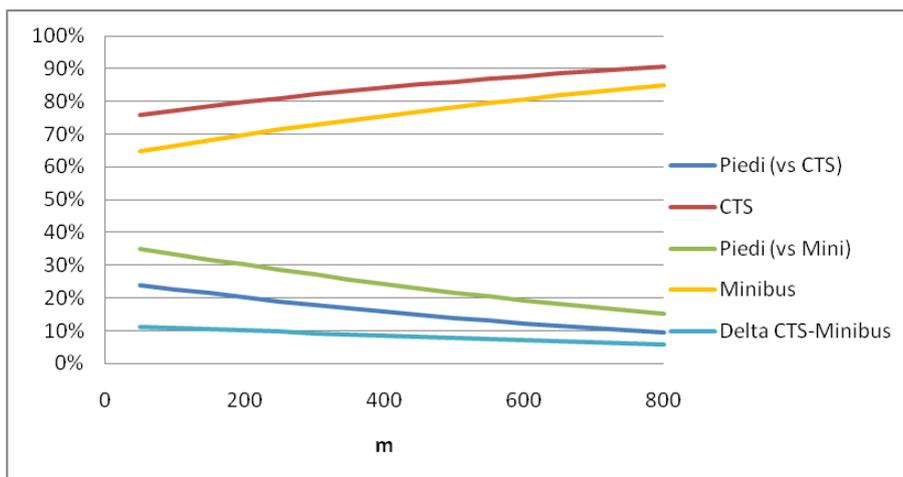


Figura 42 - Ripartizione modale nel P1 al variare della distanza a piedi in presenza di: buio con luce artificiale, pioggia e con posto a bordo garantito (Scenario 6).

In Figura 43 è riportato l'andamento della ripartizione modale al variare della distanza a piedi da percorrere per raggiungere gli ingressi nello Scenario 7 (giorno, pioggia e posto seduto a bordo NON garantito). Lo Scenario 7 differisce dallo Scenario 6 perché è giorno e, nonostante questa differenza, la ripartizione modale a favore del CTS/Minibus è almeno il 50% fin da 50 m. dagli ingressi.

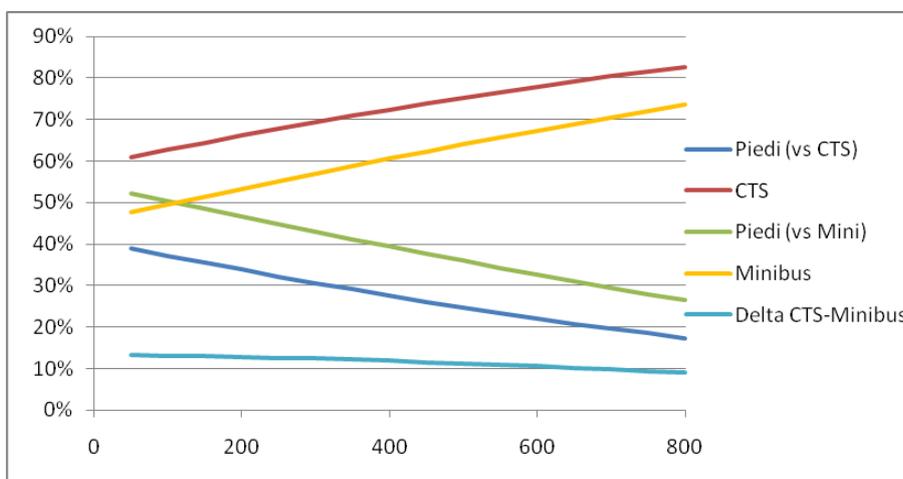


Figura 43 - Ripartizione modale nel P1 al variare della distanza a piedi in presenza di: giorno, pioggia e con posto a bordo garantito (Scenario 7).

In Figura 44 è riportato l'andamento della domanda al variare della distanza a piedi da percorrere per raggiungere gli ingressi nello Scenario 8 (buio con luce artificiale, pioggia e posto seduto a bordo NON garantito). Lo Scenario 8 differisce dallo Scenario 7 perché è buio con luce artificiale e la ripartizione modale a favore del CTS/Minibus è almeno il 60% fin da 50 m. dagli ingressi per poi crescere ulteriormente.

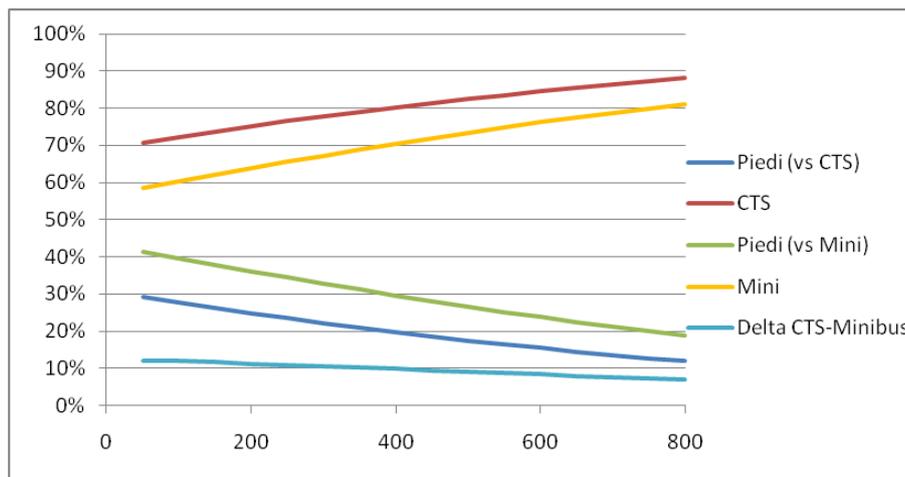


Figura 44 - Domanda di trasporto nel P1 al variare della distanza a piedi in presenza di: buio con luce artificiale, pioggia e con posto a bordo NON garantito (Scenario 8).

Dall'analisi complessiva degli scenari emerge che lo Scenario 4 risulta essere quello più favorevole all'opzione tutto a piedi sia nel caso di CTS che del Minibus. In questo scenario, infatti, si è durante il giorno, il clima è sereno ed il posto a bordo non è garantito. Con queste condizioni è comprensibile che, viste anche le brevi distanze a piedi da percorrere anche a 800 m. dagli ingressi circa il 40% degli utenti preferisce camminare nel caso di CTS (il 50% in presenza di un Minibus).

Dall'altro canto, nello Scenario 6 si osservano le condizioni più favorevoli al CTS/Minibus (buio con luce artificiale, pioggia e posto a bordo garantito). In queste condizioni fin da 50 m. dagli ingressi più del 65% degli utenti decide di usare il Minibus (circa il 75% il CTS).

A parte questi due casi estremi, la distanza a piedi incide notevolmente sulla domanda e, negli altri 6 scenari, si osservano una variazione percentuale della ripartizione modale a favore del CTS/Minibus di circa il 25% passando dai 50 m. dagli ingressi agli 800 m. dagli ingressi.

L'analisi complessiva degli 8 scenari permette di trarre alcune conclusioni. La presenza o meno di pioggia è il principale fattore che influenza la domanda coerentemente con quanto emerso dalla calibrazione seguita dal fattore luce. Dal punto di vista progettuale è importante sottolineare l'impatto che ha sulla ripartizione modale la garanzia del posto seduto a bordo che aumenta la ripartizione modale a favore del CTS/Minibus di circa il 5% nelle diverse condizioni.

Concludendo il dato più importante è che il CTS presenta rispetto al Minibus, nelle stesse condizioni di clima, luce, comfort a bordo e distanza a piedi da percorrere sempre circa il 10% in più di ripartizione modale. Questo significa che, negli scenari proposti, gli utenti

del parcheggio P1, presentano una preferenza per i sistemi di trasporto innovativi probabilmente perché li ritengono più affidabili.

#### **4.5 La sensibilità della domanda con il modello Multinomial Logit finale al variare della distanza a piedi da percorrere**

A valle dell'analisi della ripartizione modale al variare della distanza a piedi per raggiungere gli ingressi è stata svolta anche un'analisi sulla sensibilità della ripartizione modale alla distanza a piedi da percorrere. La variazione della ripartizione modale è stata calcolata per tutte e quattro le alternative considerate per ogni 100 m. aggiuntivi di distanza a piedi così come riportato nell'equazione di seguito:

$$\begin{aligned}
 \Delta\% CTS_{Dpiedi} &= \% CTS_{Dpiedi+100} - \% CTS_{Dpiedi} \\
 \Delta\% Piedi^{CTS}_{Dpiedi} &= \% Piedi^{CTS}_{Dpiedi+100} - \% Piedi^{CTS}_{Dpiedi} \\
 \Delta\% Mini_{Dpiedi} &= \% Mini_{Dpiedi+100} - \% Mini_{Dpiedi} \\
 \Delta\% Piedi^{Mini}_{Dpiedi} &= \% Piedi^{Mini}_{Dpiedi+100} - \% Piedi^{Mini}_{Dpiedi}
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

Come per l'analisi della domanda sono stati esaminati gli 8 scenari sopra riportati (vedi Tabella 5) e di seguito sono riportati sinteticamente i risultati emersi.

In Figura 45 è riportata la variazione della ripartizione modale per ogni 100 m. di distanza aggiuntiva dagli ingressi nello Scenario 1 (giorno, sereno e posto a bordo garantito). Come è possibile osservare le alternative CTS e Minibus presentano una variazione della ripartizione modale molto simile e, per ogni 100 m. di distanza da percorrere a piedi per raggiungere gli ingressi la loro ripartizione modale sale di circa il 3,5%. L'alternativa tutto a piedi, in ambedue i casi, presenta ovviamente andamento speculare.

In Figura 46 è riportata la variazione della ripartizione modale per ogni 100 m. di distanza aggiuntiva dagli ingressi nello Scenario 2 (buio con luce artificiale, sereno e posto a bordo garantito). Come è possibile osservare le alternative CTS e Minibus presentano una variazione della ripartizione modale molto simile e, per ogni 100 m. di distanza da percorrere a piedi per raggiungere gli ingressi la loro ripartizione modale sale di circa il 3,5% come osservato nello Scenario 1.

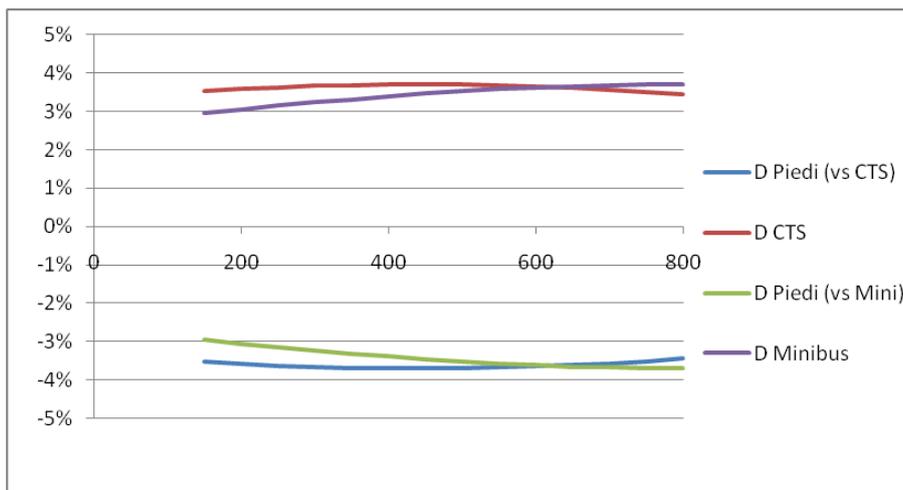


Figura 45 - Variazione della ripartizione modale per ogni 100 m. aggiuntivi in presenza di: giorno, sereno e posto a bordo garantito (Scenario 1).

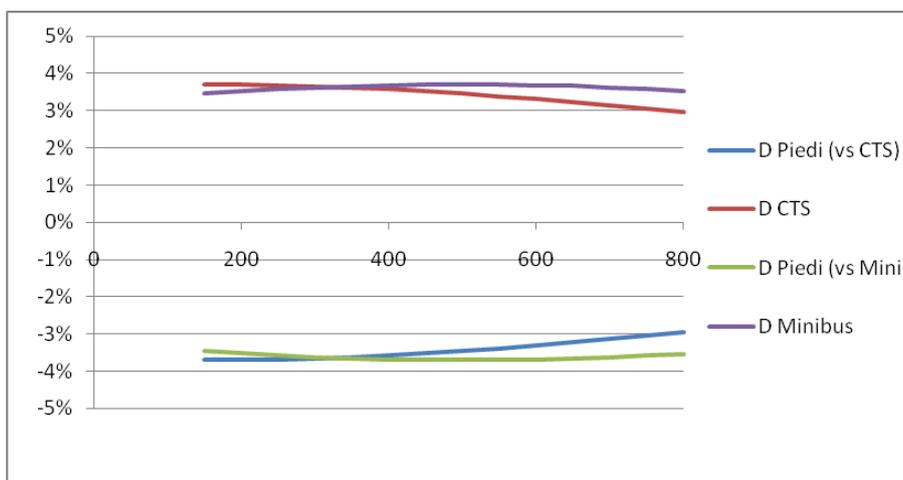


Figura 46 - Variazione della ripartizione modale per ogni 100 m. aggiuntivi in presenza di: buio con luce artificiale, sereno e posto a bordo garantito (Scenario 2).

In Figura 47 è riportata la variazione della ripartizione modale per ogni 100 m. di distanza aggiuntiva dagli ingressi nello Scenario 3 (giorno, pioggia e con posto a bordo garantito). Come è possibile osservare le alternative CTS e Minibus presentano una variazione della ripartizione modale molto simile e, per ogni 100 m. di distanza da percorrere a piedi per raggiungere gli ingressi, tale variazione è decrescente partendo da valori prossimi al 3,5% ed arrivando a valori intorno al 2,4%. Tale andamento è dovuto probabilmente al fatto che, in tale scenario la ripartizione modale sia del CTS che del Minibus era già elevata in prossimità degli ingressi e quindi la curva della domanda tende ad appiattirsi con l'aumentare della stessa.

In Figura 48 è riportata la variazione della ripartizione modale per ogni 100 m. di distanza aggiuntiva dagli ingressi nello Scenario 4 (buio giorno, sereno e con posto a bordo NON garantito). Questo è in assoluto lo scenario meno favorevole sia al CTS che al Minibus a causa delle buone condizioni di luce e clima ed alla non garanzia del posto a bordo. Per questo motivo si può osservare le alternative CTS e Minibus presentano una variazione della ripartizione modale molto simile per ogni 100 m. di distanza da percorrere a piedi per raggiungere e crescente con le distanze dagli ingressi fino ad un massimo del 3,5% passando da 700 m. a 800 m. dagli ingressi.

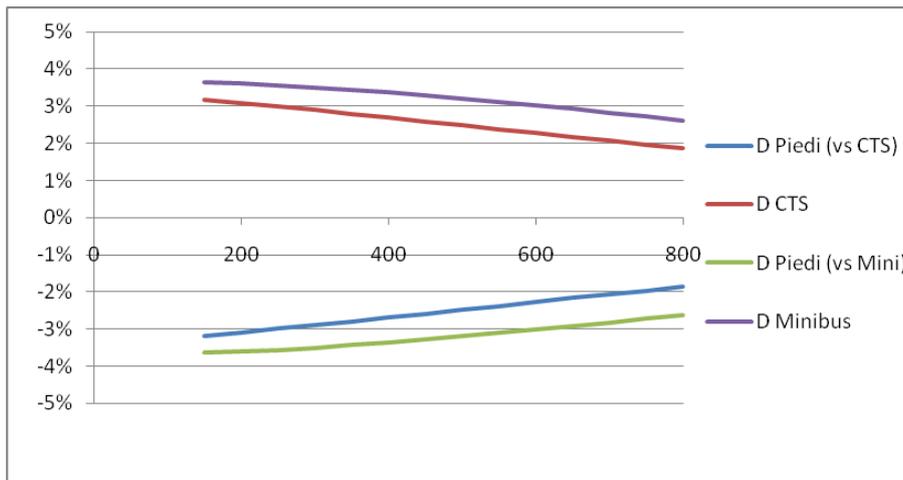


Figura 47 - Variazione della ripartizione modale per ogni 100 m. aggiuntivi in presenza di: giorno, pioggia e con posto a bordo garantito (Scenario 3).

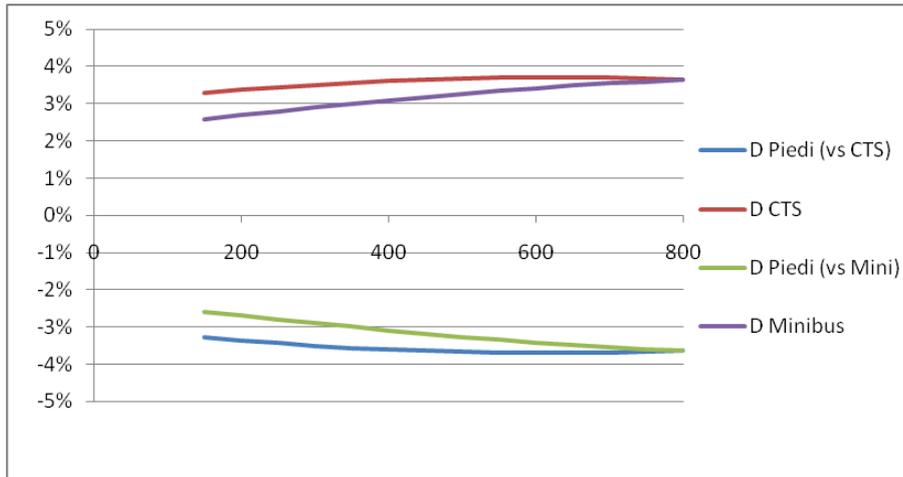


Figura 48 - Variazione della ripartizione modale per ogni 100 m. aggiuntivi in presenza di: giorno, sereno e con posto a bordo NON garantito (Scenario 4).

In Figura 49 è riportata la variazione della ripartizione modale per ogni 100 m. di distanza aggiuntiva dagli ingressi nello Scenario 5 (buio con luce artificiale, sereno e con posto a bordo NON garantito). Come è possibile osservare le alternative CTS e Minibus

presentano una variazione della ripartizione modale molto simile e, per ogni 100 m. di distanza da percorrere a piedi per raggiungere gli ingressi, si ha un aumento della ripartizione modale di circa il 3,5%.

In Figura 50 è riportata la variazione della ripartizione modale per ogni 100 m. di distanza aggiuntiva dagli ingressi nello Scenario 6 (buio con luce artificiale, pioggia e con posto a bordo garantito). Questo è in assoluto lo scenario più favorevole sia al CTS che al Minibus a causa delle cattive condizioni di luce e clima ed alla garanzia del posto a bordo. Per questo motivo si può osservare le alternative CTS e Minibus presentano una variazione della ripartizione modale molto simile per ogni 100 m. di distanza da percorrere a piedi e decrescente con le distanze. Infatti la variazione della ripartizione modale passa dal 3,5% circa per il CTS (e 2,5% per il Minibus) a 150 m. fino a circa il 2% a 800 m. dagli ingressi per il CTS (e circa 1,5% per il Minibus). Questo perché sia il CTS che il Minibus presentano ripartizioni modali molto elevate già nei pressi degli ingressi e quindi a distanze maggiori la curva di domanda tende ad appiattirsi.

In Figura 51 è riportata la variazione della ripartizione modale per ogni 100 m. di distanza aggiuntiva dagli ingressi nello Scenario 7 (giorno, pioggia e con posto a bordo garantito). Questo scenario presenta un andamento simile allo Scenario 6 ma meno marcato. Per questo motivo si può osservare le alternative CTS e Minibus presentano una variazione della ripartizione modale molto simile per ogni 100 m. di distanza da percorrere a piedi per raggiungere e decrescente con le distanze. Infatti la variazione della ripartizione modale passa dal 3,5% circa per il CTS e per il Minibus a 150 m. fino a circa il 3% a 800 m. dagli ingressi per il CTS (e circa 2% per il Minibus).

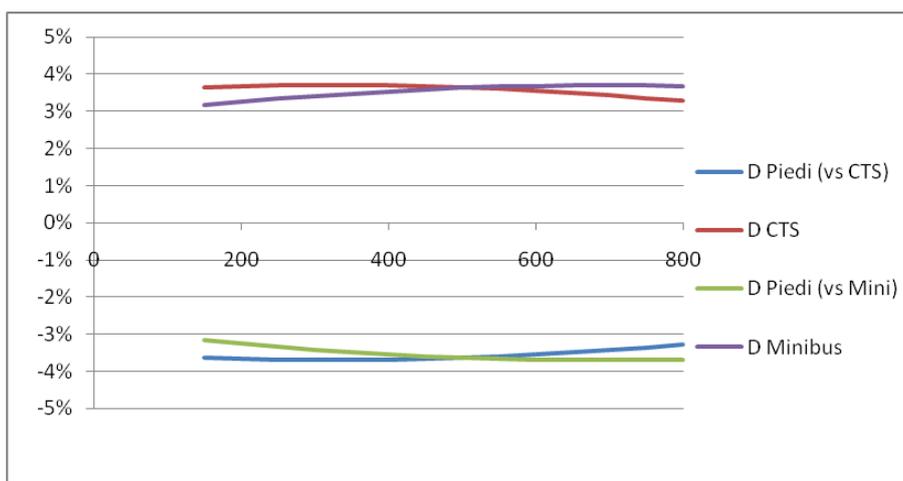


Figura 49 - Variazione della ripartizione modale per ogni 100 m. aggiuntivi in presenza di: buio con luce artificiale, sereno e con posto a bordo NON garantito (Scenario 5).

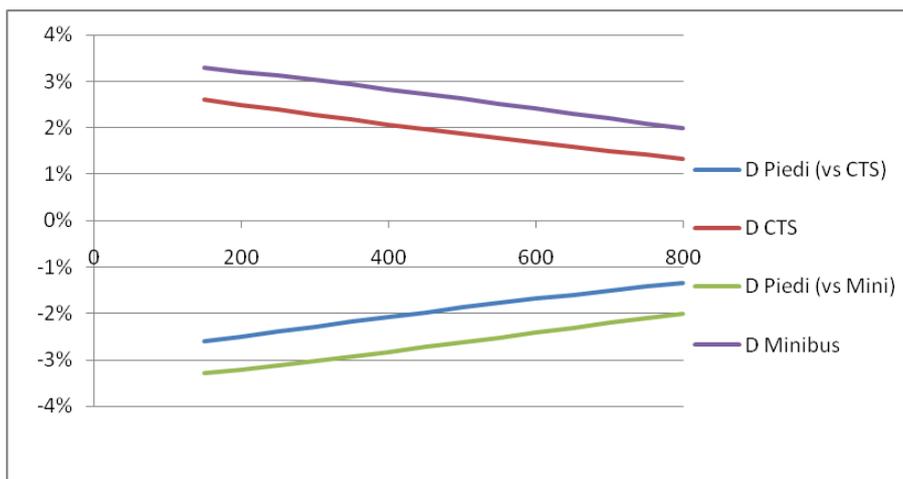


Figura 50 - Variazione della ripartizione modale per ogni 100 m. aggiuntivi in presenza di: buio con luce artificiale, pioggia e con posto a bordo garantito (Scenario 6).

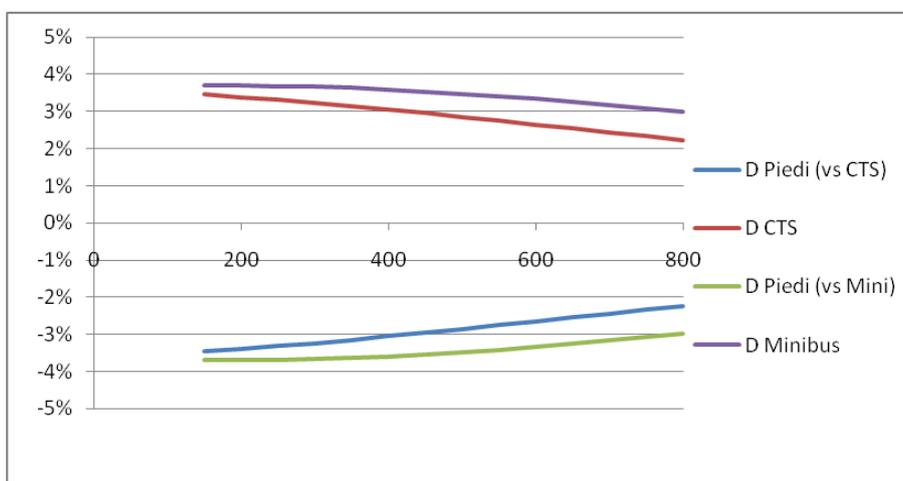


Figura 51 - Variazione della ripartizione modale per ogni 100 m. aggiuntivi in presenza di: giorno, pioggia e con posto a bordo garantito (Scenario 7).

In Figura 52 è riportata la variazione della ripartizione modale per ogni 100 m. di distanza aggiuntiva dagli ingressi nello Scenario 8 (buio con luce artificiale, pioggia e con posto a bordo NON garantito). Anche in questo scenario, come nei precedenti 2, la presenza della pioggia avvantaggia fin da 150 m dagli ingressi sia il CTS che il Minibus e quindi la variazione della domanda è più marcata nei pressi degli ingressi e meno a distanze maggiori.

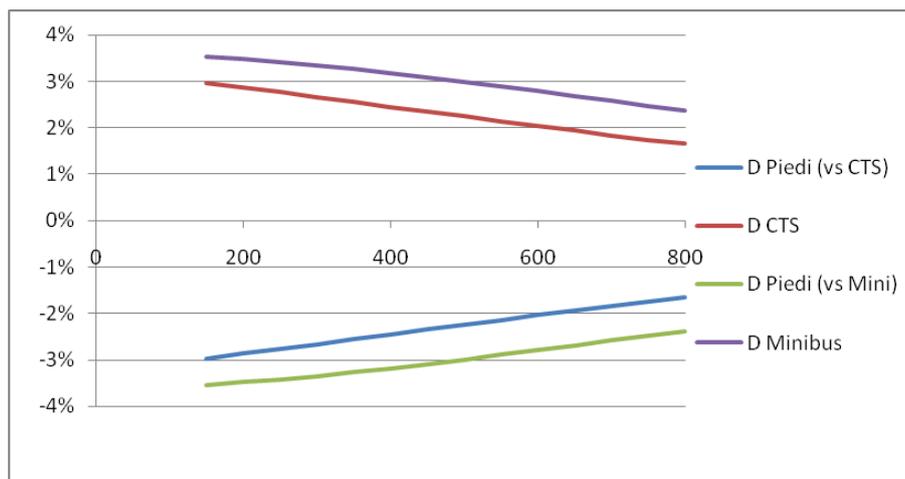


Figura 52 - Variazione della ripartizione modale per ogni 100 m. aggiuntivi in presenza di: buio con luce artificiale, pioggia e con posto a bordo NON garantito (Scenario 8).

Questa analisi sembra evidenziare alcuni aspetti interessanti. Il primo è che, in presenza di tempo sereno, sia la ripartizione modale del CTS che del Minibus tendono ad aumentare del 3-3,5% per ogni 100 m aggiuntivi di distanza dagli ingressi.

In presenza di pioggia, che risulta essere il fattore di maggior influenza della domanda, tale variazione è meno sensibile soprattutto per distanze maggiori. Questo è facilmente spiegabile con il fatto che, in presenza di pioggia, le ripartizioni modali del CTS e del Minibus sono già elevate nei pressi degli ingressi e quindi l'aumento con la distanza dagli ingressi delle stesse è meno marcato.

## 5 Analisi dell'interazione fra la domanda e gli attributi socioeconomici

Nel presente capitolo sarà riportata l'analisi volta al fine di investigare l'esistenza o meno di relazioni significative fra la domanda nel parcheggio P1 e gli attributi socioeconomici dell'utenza. Tale relazione sarà investigata per tre attributi dell'utenza: sesso, livello di istruzione ed età.

Nel primo paragrafo sarà fornita la descrizione ed il background teorico dei modelli di domanda Mixed Logit utilizzati per l'analisi in questione spiegando perché si è preferito utilizzare questo tipo di modello rispetto ad altre metodologie come quella della segmentazione del campione.

Successivamente si investigherà la possibilità di rappresentare gli  $ASA$  sia del CTS che del Minibus come parametri stocastici e non deterministici osservando, attraverso la stima di alcuni modelli Mixed Logit semplificati, la presenza o meno di eterogeneità della distribuzione di tali parametri nel campione.

Appurato che il solo  $ASA_{CTS}$  si presta ad essere rappresentato come parametro stocastico si procederà ad investigare possibili correlazioni fra gli attributi socioeconomici e l' $ASA_{CTS}$  ipotizzando diverse distribuzioni per il parametro stocastico.

L'analisi evidenzierà che la sola relazione statisticamente significativa è quella fra l'età, espressa come variabile continua, e l' $ASA_{CTS}$ . Il modello così stimato sarà utilizzato al fine di investigare, in maniera quantitativa la relazione fra l'età e la domanda nei diversi scenari in cui il CTS si troverà ad operare.

### 5.1 Metodologia utilizzata

Terminata la prima fase si è proceduto a analizzare la presenza di relazioni fra la domanda e gli attributi socioeconomici. Tale analisi è stata possibile perché nel questionario anonimo somministrato agli utenti erano anche presenti delle domande relative agli attributi socioeconomici dell'intervistato e nello specifico quelli che potevano risultare utili all'analisi erano:

- Sesso;
- Età;
- Livello d'istruzione;
- Livello di reddito.

Per quello che riguarda i primi tre attributi, le risposte sono presenti in tutti i questionari mentre per il livello di reddito circa il 50% degli intervistati ha preferito non rispondere.

Per questo motivo tale attributo socioeconomico per quanto interessante da analizzare non è stato considerato.

Per quello che riguarda la metodologia di analisi, uno dei metodi più diffusi per l'analisi dell'interazione fra la domanda e gli attributi socioeconomici è quello della segmentazione del campione. Con questo approccio il campione viene diviso in segmenti sulla base dell'attributo socioeconomico che si vuole includere nell'analisi e per ciascuno dei segmenti si calibra un modello di domanda. Per esempio nel caso dell'età si calibrano i sottomodelli su segmenti di età come 21-30 anni, 31-40 anni ecc. ecc. Tale approccio, anche se molto diffuso presenta due limiti:

- Il segmento potrebbe composto da un numero limitato di intervistati;
- Il peso dell'attributo socioeconomico nella domanda è esplicitato solo se la segmentazione individuata permette tale esplicitazione. Quindi l'analista è costretto a sperimentare, per ogni attributo socioeconomico diverse segmentazioni e relative calibrazioni fino a quando non riesce ad esplicitare la presenza della relazione o fino a quando ha la ragionevole certezza che tale relazione non esiste (Hensher et alii, 2005).

Soprattutto il secondo punto, che costringe l'analista a un faticoso processo iterativo di test, rende il metodo della segmentazione difficile da utilizzare. Al fine di superare questo tipo di problemi, proprio a metà degli anni novanta sono stati sviluppati i Modelli di domanda di tipo Mixed Logit (ML nel seguito).

## **5.2 Applicazione dei modelli Mixed Logit alla domanda**

Come già mostrato nel paragrafo 4.1 si era riportata una descrizione molto sintetica dei modelli di utilità aleatoria che si basano sul presupposto che l'utente, appartenente a una classe di utenti omogenei dal punto di vista comportamentale, sia un *decisore razionale* ovvero massimizzi l'utilità relativa alle proprie scelte.

Sulla base di queste premesse l'utilità percepita  $U_j^i$  può essere espressa dalla somma dell'utilità sistematica  $V_j^i$ , che rappresenta la media o il valore atteso dell'utilità percepita tra tutti gli utenti con lo stesso contesto di scelta del decisore  $i$ , e di un residuo aleatorio  $\varepsilon_j^i$ , che rappresenta lo scostamento dell'utilità percepita dall'utente  $i$  da tale valore:

$$U_j^i = V_j^i + \varepsilon_j^i \quad [9]$$

Nello specifico dei Modelli Multinomial Logit si ipotizza che gli  $\varepsilon_j$  relativi alle diverse alternative siano Indipendentemente ed Identicamente Distribuiti (ipotesi IID) secondo una variabile aleatoria di Gumbel a media nulla e parametro  $\theta$ .

L'ipotesi di IID è un'ipotesi alquanto restrittiva e non permette, per esempio, di investigare possibili correlazioni fra residui aleatori di diverse alternative oppure di investigare la presenza di eterogeneità, rispetto ad un dato attributo come gli ASA nel presente caso, nella popolazione.

L'ipotesi nei ML viene rilassata e quindi si permette ad uno a più parametri di assumere un valore stocastico fra gli utenti con una media e una varianza invece di assumere un valore deterministico. Questo permette di esprimere il parametro  $\beta_q$  con la seguente forma:

$$\beta_q = \beta + \delta_k * z_q + \eta_k \quad [10]$$

dove  $\beta$  è la parte non correlata al dato osservato  $Z_q$ ,  $\eta_k$  è la componente aleatoria del parametro che può assumere diverse distribuzioni (normale, uniforme, triangolare) e  $\delta_k$  è la parte del parametro correlata al dato osservato  $Z_q$ .

Nel caso specifico, volendo esplicitare possibili relazioni fra i diversi sistemi di trasporti Minibus e CTS e gli attributi socioeconomici gli ASA hanno assunto la forma:

$$ASA_{qk} = ASA_k + ASA1_k Z_q + \eta_k \quad [11]$$

*Dove:*

*ASA<sub>qk</sub> è l'ASA del CTS o del Minibus*

*ASA<sub>k</sub> è la componente dell'ASA non correlata all'attributo socioeconomico*

*ASA1<sub>k</sub> è la componente dell'ASA correlata all'attributo socioeconomico*

*Z<sub>q</sub> è l'attributo socioeconomico*

*$\eta_k$  è la componente aleatoria del parametro per cui si sono ipotizzate distribuzioni normali, uniformi e triangolari*

### **5.3 Analisi delle interazioni fra la domanda e gli attributi socioeconomici con i modelli Mixed Logit**

L'analisi delle interazioni fra la domanda di trasporto e gli attributi socioeconomici e la stima dei relativi modelli sono state svolte con l'ausilio del software NLOGIT 3.0 che permette anche la calibrazione di modelli ML.

In una prima fase, al fine di investigare se gli ASA presentassero un'eterogeneità rispetto al campione si è utilizzata la forma ridotta:

$$ASA_{qk} = ASA_k + \eta_k \quad [12]$$

*Dove:*

*ASA<sub>qk</sub> è l'ASA del CTS o del Minibus*

*ASA<sub>k</sub> è la componente dell'ASA non correlata all'attributo socioeconomico*

$\eta_k$  è la componente aleatoria del parametro per cui si sono ipotizzate distribuzioni normali, uniformi e triangolari

In questo modo si è potuto verificare preliminarmente la presenza dell'eterogeneità negli ASA per poi analizzare quale attributo socioeconomico determina questa eterogeneità. Le calibrazioni sono state effettuate utilizzando il modello finale (vedi paragrafo 4.3) e sia l' $ASA_{CTS}$  e l' $ASA_{MINI}$  assumono la forma riportata in equazione [12].

In Tabella 6 sono riportati i risultati della calibrazione ipotizzando gli ASA come parametri stocastici, senza interazioni con gli attributi socioeconomici con una distribuzione triangolare e varianza  $\sigma$ .

Com'è possibile osservare dai risultati mentre l' $ASA_{CTS}$  e il  $\sigma_{CTS}$  risultano significativi lo stesso non vale per l' $ASA_{MINI}$  e il  $\sigma_{MINI}$  che risultano essere statisticamente non significativi (risultati simili si ottengono ipotizzando distribuzioni uniformi e normali). Quindi l' $ASA_{CTS}$  presenta un'eterogeneità e si presta a essere rappresentato come parametro stocastico e questa eterogeneità potrebbe essere correlata ad un attributo socioeconomico. Lo stesso non si può dire per  $ASA_{MINI}$  che, quindi, sarà rappresentato come parametro deterministico.

Tabella 6 - Valore dei parametri dei diversi attributi nel modello ML senza interazione con gli attributi socioeconomici – sia  $ASA_{CTS}$  che  $ASA_{MINI}$  sono parametri stocastici con distribuzione triangolare.

	Parametro	Significatività
<b>Parametri deterministici</b>		
	$\beta_1$ (piedi)	-0.0018
	$\beta_2$ (Luce)	-0.47790
	$\beta_3$ (Clima)	-1.46365
	$\beta_7$ (Comfort)	0.32748
<b>Parametro stocastico</b>		
	$ASA_{CTS}$	0.98538
	$\sigma_{CTS}$	3.18568
	$ASA_{MINI}$	0.25935
	$\sigma_{MINI}$	1.82088
$\rho^2=0,56655$		$\rho^2_{adj}=0,56518$

A valle di questi primi risultati si è calibrato un nuovo modello ML ipotizzando che il solo  $ASA_{CTS}$  fosse un parametro stocastico. In Tabella 7 sono riportati i risultati della stima del

modello con distribuzione triangolare. Come già emerso prima l' $ASA_{CTS}$  si presta ad essere rappresentato come parametro stocastico.

Tabella 7 - Valore dei parametri dei diversi attributi nel modello ML senza interazione con gli attributi socioeconomici – solo  $ASA_{CTS}$  è un parametro stocastico con distribuzione triangolare.

	Parametro	Significatività
<b>Parametri deterministici</b>		
	$\beta_1$ (piedi)	-0.00166
	$\beta_2$ (Luce)	-0.43165
	$\beta_3$ (Clima)	-1.31647
	$\beta_7$ (Comfort)	0.29537
	$ASA_{MINI}$	0.22632
<b>Parametro stocastico</b>		
	$ASA_{CTS}$	0.89475
	$\sigma_{CTS}$	2.43928
	$\rho^2=0,56704$	$\rho^2_{adj}=0,56544$

Una volta appurato che  $ASA_{CTS}$  si presta a essere rappresentato come parametro stocastico si può analizzare eventuali relazioni con i seguenti attributi socioeconomici del campione:

- Sesso categorizzato nel seguente modo: donne, uomini;
- Livello d'istruzione categorizzato nel seguente modo: scuole elementari, medie, superiori, laurea di primo livello, laurea di secondo livello o vecchio ordinamento o livello di istruzione superiore;
- Età per cui si è sono utilizzate le seguenti categorizzazioni:
  - valore continuo dell'età (che è stata dichiarata da tutti gli intervistati) meno 17 pari all'età dell'intervistato più giovane. Questo permetteva di avere, in alcuni casi, la parte del parametro stocastico correlata al fattore età pari a 0 esplicitando comunque anche la parte del parametro stocastico non correlata al parametro età;
  - valore binario dell'età con campione diviso fra utenti con età uguale o inferiore a 36 anni e utenti con età uguale o superiore a 37 anni. (l'età mediana del campione è pari a 36).

In base a tali considerazioni l' $ASA_{CTS}$  assume la seguente forma:

$$ASA_{CTS-par} = ASA_{CTS} + ASA1_{CTS} * Z_q + \eta_{CTS} \quad [13]$$

*Dove:*

$ASA_{CTS}$  è la componente dell'ASA non correlata all'attributo socioeconomico

$ASA_{CTS}$  è la componente dell'ASA correlata all'attributo socioeconomico

$Zq$  è l'attributo socioeconomico sesso, istruzione, età

$\eta_{CTS}$  è la componente aleatoria con distribuzione normale, uniforme o triangolare

Dato che nel corso dell'analisi è emerso che l' $ASA_{CTS}$  presenta una correlazione statisticamente significativa con l'età si è esplorata anche l'ipotesi che l' $ASA_{MINI}$  presentasse questa correlazione. In Tabella 8 è riportata la lista dei modelli ML calibrati.

Tabella 8 - Modelli ML calibrati

Modello	Parametro stocastico	Attributo socioeconomico	Distribuzione	Significativo	$\rho^2_{adj}$
ML_ASActs_sesso	$ASA_{CTS}$	Sesso	Normale	No	0.56473
ML_ASActs_sesso	$ASA_{CTS}$	Sesso	Uniforme	No	0.56473
ML_ASActs_sesso	$ASA_{CTS}$	Sesso	Triangolare	No	0.56473
ML_ASActs_edu	$ASA_{CTS}$	Istruzione	Normale	No	0.56545
ML_ASActs_edu	$ASA_{CTS}$	Istruzione	Uniforme	No	0.56541
ML_ASActs_edu	$ASA_{CTS}$	Istruzione	Triangolare	No	0.56543
ML_ASActs_age_01	$ASA_{CTS}$	Età bin.	Normale	No	0.56526
ML_ASActs_age_01	$ASA_{CTS}$	Età bin.	Uniforme	No	0.56519
ML_ASActs_age_01	$ASA_{CTS}$	Età bin.	Triangolare	No	0.56522
ML_ASActs_age_con	$ASA_{CTS}$	Età con.	Normale	Si	0.56530
ML_ASActs_age_con	$ASA_{CTS}$	Età con.	Uniforme	Si	0.56604
ML_ASActs_age_con	$ASA_{CTS}$	Età con.	Triangolare	Si	0.56603
ML_ASActs+mini_age_01	$ASA_{CTS}; ASA_{MINI}$	Età bin.	Nomale	No	0.56574
ML_ASActs+mini_age_01	$ASA_{CTS}; ASA_{MINI}$	Età bin.	Uniforme	No	0.56565
ML_ASActs+mini_age_01	$ASA_{CTS}; ASA_{MINI}$	Età bin.	Triangolare	No	0.56511
ML_ASActs+mini_age_con	$ASA_{CTS}; ASA_{MINI}$	Età con.	Nomale	No	0.56581
ML_ASActs+mini_age_con	$ASA_{CTS}; ASA_{MINI}$	Età con.	Uniforme	No	0.56576
ML_ASActs+mini_age_con	$ASA_{CTS}; ASA_{MINI}$	Età con.	Triangolare	No	0.56578

Dall'analisi emerge che, ne l'attributo "sesso" ne l'attributo "livello di istruzione" presentano correlazioni significative con la domanda così come l'  $ASA_{MINI}$  non presenta correlazioni significative con l'età. Questo emerge dall'osservazione dei relativi  $ASA_{CTS}$  e  $ASA_{MINI}$  che risultano essere statisticamente non significativi.

Discorso diverso per la correlazione fra  $ASA_{CTS}$  e l'età, quando espressa come variabile continua, che hanno mostrato di essere correlate.

A titolo di esempio nelle seguenti Tabelle sono riportati i parametri di alcuni dei modelli per cui non si è evidenziata una correlazione statisticamente significativa con l'età. In appendice sono riportati tutti i risultati dei modelli calibrati e i codici utilizzati in NLOGIT 3.0.

In Tabella 9 è riportato il modello “ML\_ASActs\_sesso”. Come è possibile osservare la significatività statistica di  $ASA_{CTS}$  è praticamente nulla e gli altri parametri, statisticamente significativi, presentano valori non dissimili da quanto emerso negli altri modelli.

Tabella 9 - Modello “ML\_ASActs\_sesso”, parametro stocastico  $ASA_{CTS}$  con interazione con il fattore “sesso” con ipotesi di distribuzione normale.

	Parametro	Significatività
<b>Parametri deterministici</b>		
	$\beta_1$ (piedi)	-0.00152
	$\beta_2$ (Luce)	-0.43749
	$\beta_3$ (Clima)	-1.24200
	$\beta_7$ (Comfort)	0.27478
	$ASA_{MINI}$	0.26410
<b>Parametro stocastico</b>		
	$ASA_{CTS}$	0.82805
	$ASA_{CTS}$	0.00927
	$\sigma_{CTS}$	0.39515
	$\rho^2=0.56656$	$\rho^2_{adj}=0.56473$

In Tabella 10 è riportato il modello “ML\_ASActs\_edu”. In questo modello si è ipotizzata una correlazione fra il livello d'istruzione e l' $ASA_{CTS}$ . Come è possibile osservare la significatività statistica di  $ASA_{CTS}$  è molto bassa ed ancora più bassa è quella di  $\sigma_{CTS}$  (ipotesi di distribuzione uniforme). Gli altri parametri, statisticamente significativi, presentano valori non dissimili da quanto emerso negli altri modelli.

In Tabella 11 è riportato il modello “ML\_ASActs+mini\_age\_01” con ipotesi di distribuzione normale. In questo modello si è ipotizzata una correlazione fra gli  $ASA$  del CTS e del Minibus e l'attributo età espresso come valore binario. Come è possibile osservare la significatività statistica di  $ASA_{CTS}$  sia del CTS che del Minibus è molto bassa ed ancora più bassa è quella delle  $\sigma$ .

Tabella 10 - Modello "ML\_ASActs\_edu", parametro stocastico  $ASA_{CTS}$  con interazione con il fattore "livello di istruzione" con ipotesi di distribuzione uniforme.

	<b>Parametro</b>	<b>Significatività</b>
<b>Parametri deterministici</b>		
	$\beta_1$ (piedi)	-0.00155980
	$\beta_2$ (Luce)	-0.43572590
	$\beta_3$ (Clima)	-1.26815188
	$\beta_7$ (Comfort)	0.27955741
	$ASA_{MINI}$	0.25762755
<b>Parametro stocastico</b>		
	$ASA_{CTS}$	1.31235268
	$ASA1_{CTS}$	-1.12983188
	$\sigma_{CTS}$	.29743201
	$\rho^2=0.56724$	$\rho^2_{adj}=0.56541$

Tabella 11 - Modello "ML\_ASActs+mini\_age\_01", parametro stocastici  $ASA_{CTS}$  e  $ASA_{MINI}$  con interazione con il fattore "age", espresso come variabile binaria, con ipotesi di distribuzione normale.

	<b>Parametro</b>	<b>Significatività</b>
<b>Parametri deterministici</b>		
	$\beta_1$ (piedi)	-0.00265
	$\beta_2$ (Luce)	-0.67438
	$\beta_3$ (Clima)	-2.07698
	$\beta_7$ (Comfort)	0.45806
<b>Parametri stocastici</b>		
	$ASA_{CTS}$	1.06919
	$ASA1_{CTS}$	0.79798
	$\sigma_{CTS}$	2.20086
	$ASA_{MINI}$	0.18242
	$ASA1_{MINI}$	0.37303
	$\sigma_{MINI}$	1.62244255
	$\rho^2=0.56802$	$\rho^2_{adj}=0.56574$

In Tabella 12 è riportato il modello “ML\_ASActs+mini\_age\_con” con ipotesi di distribuzione uniforme dei parametri stocastici. In questo modello si è ipotizzata una correlazione fra gli ASA e l’età espressa come variabile continua. Come è possibile osservare la significatività statistica di tutte le componenti dell’ASA<sub>MINI</sub> è molto bassa. Gli altri parametri, statisticamente significativi, presentano valori non dissimili da quanto emerso negli altri modelli.

Tabella 12 - Modello “ML\_ASActs+mini\_age\_con”, parametri stocastici ASA<sub>CTS</sub> e ASA<sub>MINI</sub> con interazione con il fattore “age”, espresso come variabile continua, con ipotesi di distribuzione uniforme.

	Parametro	Significatività
<b>Parametri deterministici</b>		
	$\beta_1$ (piedi)	-0.00165
	$\beta_2$ (Luce)	-0.43010
	$\beta_3$ (Clima)	-1.29363
	$\beta_7$ (Comfort)	0.28608
<b>Parametri stocastici</b>		
	ASA <sub>CTS</sub>	0.44891
	ASA <sub>1CTS</sub>	0.02194
	$\sigma_{CTS}$	0.06944
	ASA <sub>MINI</sub>	0.26090
	ASA <sub>1MINI</sub>	-0.00208
	$\sigma_{MINI}$	0.00133
$\rho^2=0.56804$		$\rho^2_{adj}=0.56576$

#### 5.4 Modello Mixed Logit e interazione fra età e la domanda del CTS

In base alle analisi sopra riportate è emerso che solo l’attributo età, quando espressa come variabile continua, presenta una correlazione statisticamente significativa con l’ASA<sub>CTS</sub> per qualunque distribuzione ipotizzata. Fra i tre modelli che rientrano in questa categoria quello che presenta un  $\rho^2_{adj}$  più alto (anche se le differenze sono minime) è quello in cui si ipotizza una distribuzione del parametro stocastico uniforme.

I risultati della calibrazione del modello “ML\_ASActs\_age\_con” dove si ipotizza la relazione fra l’età, espressa come variabile continua, e l’ASA<sub>CTS</sub> con distribuzione uniforme sono riportate in Tabella 13.

Tabella 13 - Modello "ML\_ASActs\_age\_con", parametro stocastico  $ASA_{CTS}$  con interazione con il fattore "age" con ipotesi di distribuzione uniforme.

	Parametro	Significatività
<b>Parametri deterministici</b>		
	$\beta_1$ (piedi)	-0.00165 -6.859
	$\beta_2$ (Luce)	-0.42939 -4.006
	$\beta_3$ (Clima)	-1.28917 -11.332
	$\beta_7$ (Comfort)	0.28486 2.660
	$ASA_{MINI}$	0.22143 1.425
<b>Parametro stocastico</b>		
	$ASA_{CTS}$	0.45273 2.054
	$ASA_{1CTS}$	0.02132 2.086
	$\sigma_{CTS}$	0.06693 2.667
	$\rho^2=0.56786$	$\rho^2_{adj}=0.56604$

Come è possibile osservare i parametri del modello evidenziano alcuni aspetti che è interessante sottolineare.  $\beta_1$  presenta segno negativo e quindi al crescere della distanza a piedi la ripartizione modale dell'alternativa piedi diminuisce. Per quello che riguarda  $\beta_2$  presenta segno negativo e in questo caso, dato che è nella funzione d'utilità del CTS/Minibus, significa che in caso di giorno la ripartizione modale del CTS/Minibus diminuisce.  $\beta_3$ , relativo alle condizioni di clima, presenta segno negativo ed è anche elevato e quindi in caso di pioggia si osserverà un consistente aumento della ripartizione modale del CTS/Minibus.

Analizzando i valori degli ASA è interessante notare che, indipendente, dall'età dell'utenza l' $ASA_{CTS}$  è maggiore dell'  $ASA_{MINI}$ . Concludendo quello che in assoluto sembra il risultato più interessante è che la componente dell'  $ASA_{CTS}$  correlata all'età è statisticamente significativa e, soprattutto, è positiva indicando che al crescere dell'età media dell'utenza ci si può attendere un aumento della domanda per il CTS, ma non per il Minibus, a parità delle altre condizioni (Luce, Clima, Comfort a bordo, distanza a piedi). Tale risultato indica che l'età media dell'utenza non rappresenta un limite alla diffusione di tali sistemi anzi.

### **5.5 Analisi della domanda con il modello Mixed Logit**

In base ai risultati della calibrazione del modello ML è possibile analizzare la variazione della domanda al variare dei diversi attributi. L'analisi è stata svolta ipotizzando diverse condizioni operative in cui il sistema potrà trovarsi ad operare. In particolar modo è stato

analizzato come varia la ripartizione modale del CTS vs tutto a piedi rispetto a quella Minibus vs tutto a piedi al variare dell'età dell'utenza in diverse condizioni di Luce, Clima e Comfort a bordo per un totale di 8 scenari riportati in Tabella 14. Negli scenari si è ipotizzato che la distanza a piedi da percorrere sia fissa e pari a 400 m. al fine di evidenziare il solo effetto sulla ripartizione modale dell'età. Per quanto riguarda la variazione dell'età questa varia fra 20 anni e 65 anni in base anche all'età minima e massima registrata durante le interviste.

Tabella 14 - Gli scenari considerati al variare dell'età dell'utenza data una distanza a piedi dagli ingressi di 400 m.

	Luce*	Clima**	Comfort***
Scenario 1	1	1	1
Scenario 2	0	1	1
Scenario 3	1	0	1
Scenario 4	1	1	0
Scenario 5	0	1	0
Scenario 6	0	0	1
Scenario 7	1	0	0
Scenario 8	0	0	0

\* 1= Giorno; 0=Buio con luce artificiale

\*\* 1= Sereno; 0=Pioggia

\*\*\* 1= Posto seduto garantito; 0=posto seduto non garantito

Da Figura 53 a Figura 60 è riportata la variazione della ripartizione modale del CTS vs tutto a piedi al variare dell'età dell'utenza. Inoltre, al fine di fornire un riferimento è riportata anche la ripartizione modale del Minibus vs tutto a piedi rappresentata come due linee orizzontali in quanto invariante rispetto all'età.

Come notazioni generali valide per tutti gli scenari è possibile affermare che:

- La ripartizione modale del CTS è crescente al crescere dell'età dell'utenza in maniera sensibile;
- La ripartizione modale del CTS è comunque sempre maggiore di quel del Minibus per qualunque fascia d'età osservata.

In Figura 53 è riportata la ripartizione modale CTS vs tutto a piedi al variare dell'età dell'utenza nello Scenario 1 (giorno, sereno e posto a bordo garantito) data una distanza a piedi per raggiungere gli ingressi pari a 400 m. Come è possibile osservare nelle condizioni

date il CTS passando da utenti di 20 anni fino ad utenti di 65 presenta un consistente incremento della ripartizione modale del CTS che passa dal circa il 42% a circa il 68%.

In Figura 54 è riportata la ripartizione modale CTS vs tutto a piedi al variare dell'età dell'utenza nello Scenario 2 (buio con luce artificiale, sereno e posto a bordo garantito) data una distanza a piedi per raggiungere gli ingressi di 400 m. Rispetto allo Scenario 1, il fatto che sia buio con luce artificiale riduce l'attrattività dell'alternativa tutto a piedi e il CTS presenta una ripartizione modale maggiore rispetto allo scenario precedente. Nonostante questo si osserva comunque un marcato aumento della ripartizione modale del CTS all'aumentare dell'età dell'utenza con una variazione di circa il 20%.

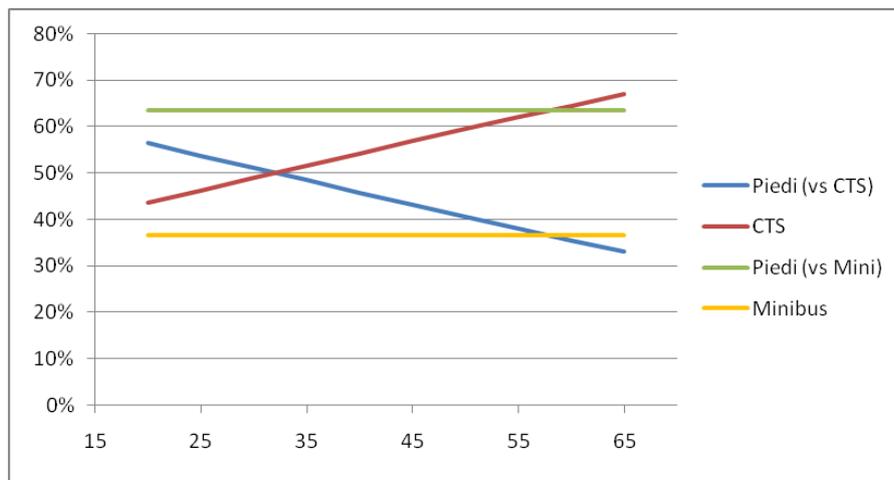


Figura 53 - Ripartizione modale nel P1 al variare della'età dell'utenza in presenza di: giorno, sereno e posto a bordo garantito (Scenario 1) con una distanza a piedi dall'ingresso pari a 400 m.

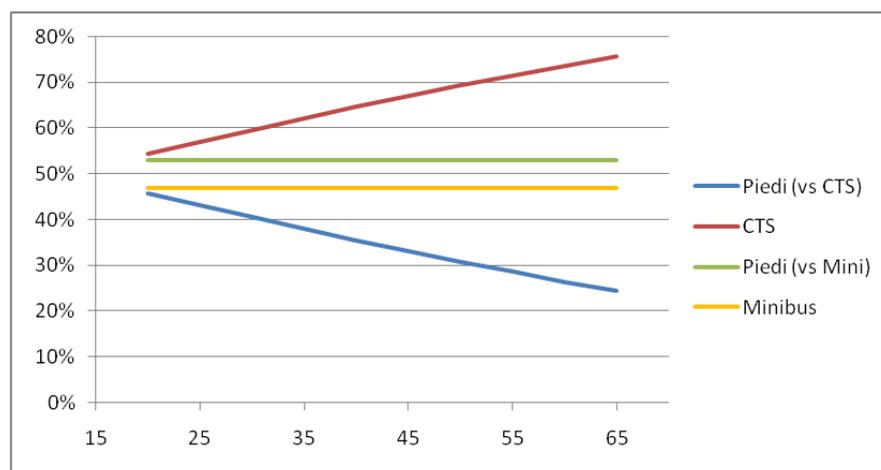


Figura 54 - Ripartizione modale nel P1 al variare dell'età dell'utenza in presenza di: buio con luce artificiale, sereno e posto a bordo garantito (Scenario 2) con una distanza a piedi dall'ingresso pari a 400 m.

In Figura 55 è riportata la ripartizione modale CTS vs tutto a piedi al variare dell'età dell'utenza nello Scenario 3 (giorno, pioggia e posto a bordo garantito) data una distanza a piedi per raggiungere gli ingressi di 400 m. La presenza della pioggia nello scenario aumenta sensibilmente la ripartizione modale a favore del CTS che dai 20 ai 65 anni presenta un aumento del 15% circa.

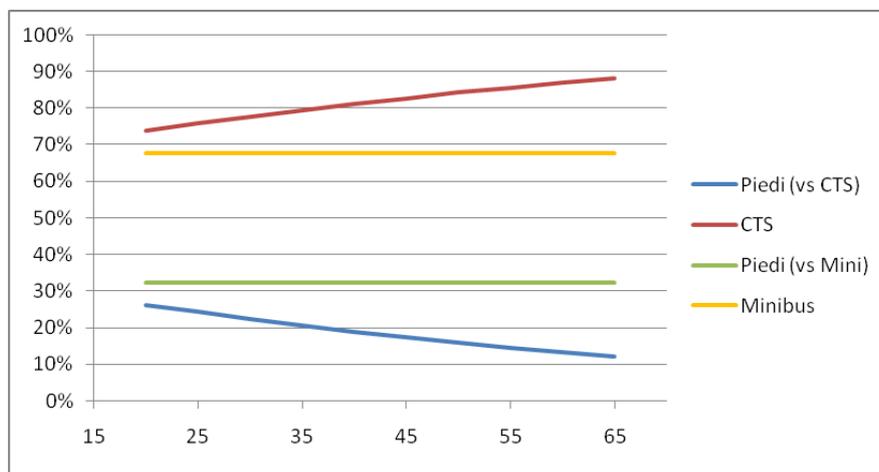


Figura 55 - Ripartizione modale nel P1 al variare dell'età dell'utenza in presenza di: giorno, pioggia e posto a bordo garantito (Scenario 3) con una distanza a piedi dall'ingresso pari a 400 m.

In Figura 56 è riportata la ripartizione modale CTS vs tutto a piedi al variare dell'età dell'utenza nello Scenario 4 (giorno, sereno e con posto a bordo NON garantito) data una distanza a piedi per raggiungere gli ingressi di 400 m. Questo è lo scenario più favorevole per l'alternativa tutto piedi e, fino ad utenti di 45 anni, questa alternativa presenta una ripartizione modale maggiore al 50%. Oltre questa età la maggioranza degli utenti, nelle condizioni date, sceglie il CTS. Complessivamente la ripartizione modale del CTS passando da utenti di 20 anni fino ad utenti di 65 varia di oltre il 20%.

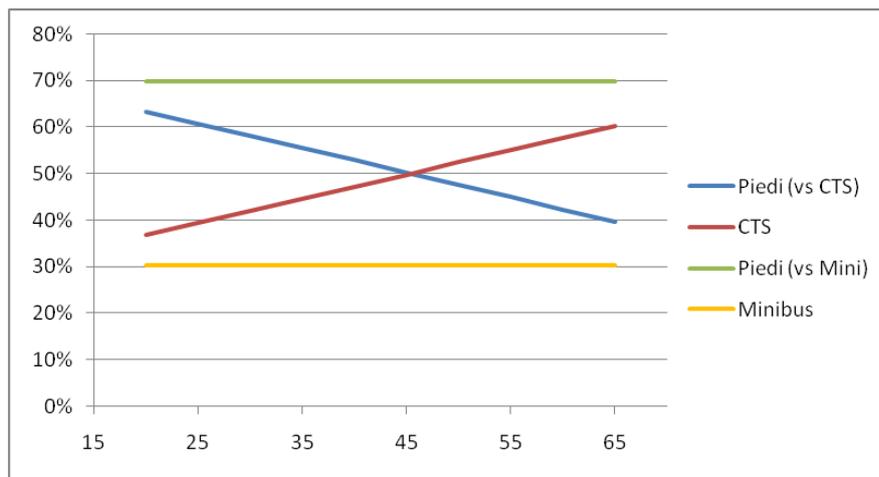


Figura 56 - Ripartizione modale nel P1 al variare della distanza a piedi in presenza di: giorno, sereno e con posto a bordo NON garantito (Scenario 4) con una distanza a piedi dall'ingresso pari a 400 m.

In Figura 57 è riportata la ripartizione modale CTS vs tutto a piedi al variare dell'età dell'utenza nello Scenario 5 (buio con luce artificiale, sereno e con posto a bordo NON garantito) data una distanza a piedi per raggiungere gli ingressi di 400 m. In questo scenario, dato che il posto a bordo è NON garantito e che è buio emerge che gli utenti sotto i 25 anni presentano una ripartizione modale superiore al 50% per l'alternativa tutto a piedi mentre sopra i 25 anni il CTS presenta sempre una ripartizione modale oltre il 50%. Come in altri scenari il CTS vede la sua ripartizione modale aumentare di circa il 22% passando da utenti di 20 anni a utenti di 65.

In Figura 58 è riportata la ripartizione modale CTS vs tutto a piedi al variare dell'età dell'utenza nello Scenario 6 (buio con luce artificiale, pioggia e con posto a bordo garantito) data una distanza a piedi per raggiungere gli ingressi di 400 m. Questo è lo scenario in cui il CTS presenta maggiore attrattività e anche per utenti di 20 anni la ripartizione modale del CTS è pari all'80% per salire fino a circa il 91% per utenti di 65 anni.

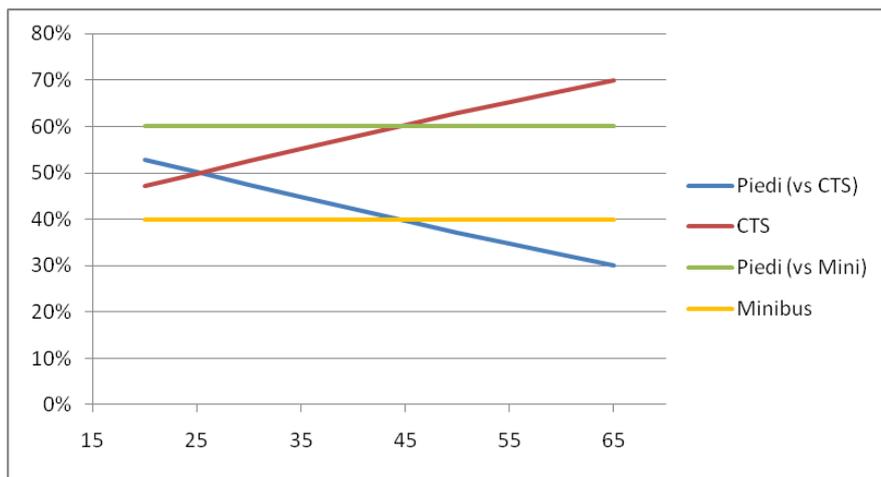


Figura 57 - Ripartizione modale nel P1 al variare dell'età dell'utenza in presenza di: buio con luce artificiale, sereno e con posto a bordo NON garantito (Scenario 5) con una distanza a piedi dall'ingresso pari a 400 m.

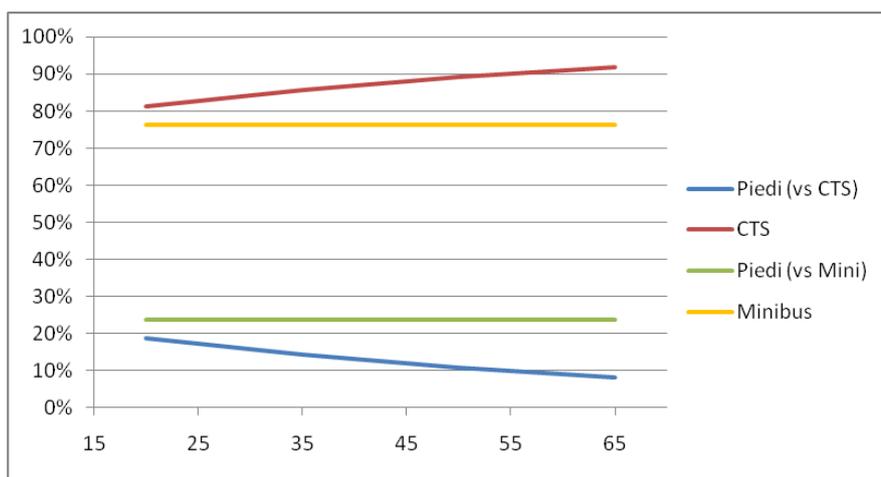


Figura 58 - Ripartizione modale nel P1 al variare dell'età dell'utenza in presenza di: buio con luce artificiale, pioggia e con posto a bordo garantito (Scenario 6) con una distanza a piedi dall'ingresso pari a 400 m.

In Figura 59 è riportata la ripartizione modale CTS vs tutto a piedi al variare dell'età dell'utenza nello Scenario 7 (buio con luce artificiale, pioggia e con posto a bordo garantito) data una distanza a piedi per raggiungere gli ingressi di 400 m. In questo Scenario la ripartizione modale del CTS passa dal 68% nel caso di utenti con età pari a 20 anni fino all'84% per utenti con età pari a 65 anni.

In Figura 60 è riportata la ripartizione modale CTS vs tutto a piedi al variare dell'età dell'utenza nello Scenario 8 (buio con luce artificiale, pioggia e con posto a bordo NON garantito) data una distanza a piedi per raggiungere gli ingressi di 400 m. In questo

Scenario la ripartizione modale del CTS passa dal 78% nel caso di utenti con età pari a 20 anni fino all'90% per utenti con età pari a 65 anni.

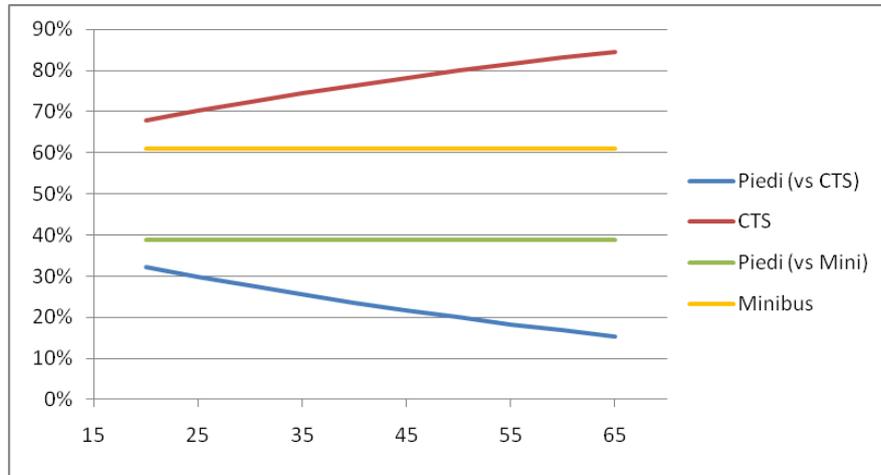


Figura 59 - Ripartizione modale nel P1 al variare dell'età dell'utenza in presenza di: buio con luce artificiale, pioggia e con posto a bordo garantito (Scenario 7) con una distanza a piedi dall'ingresso pari a 400 m.

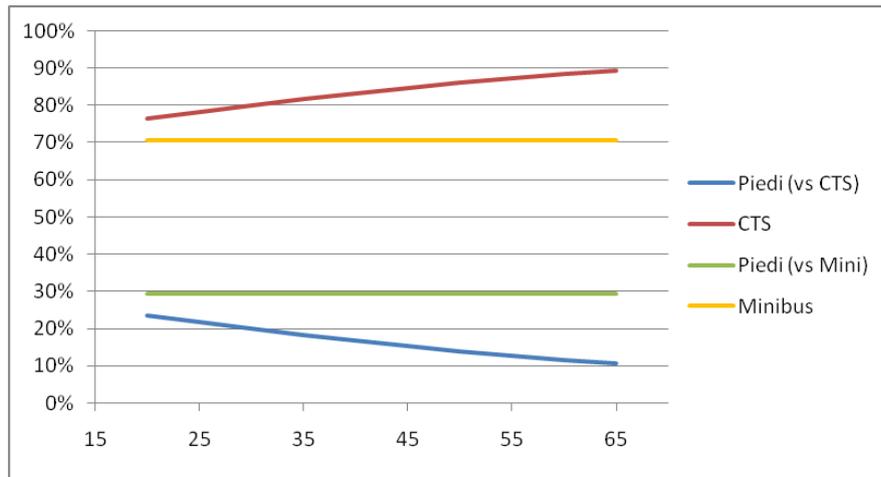


Figura 60 - Ripartizione modale nel P1 al variare della distanza a piedi in presenza di: buio con luce artificiale, pioggia e con posto a bordo NON garantito (Scenario 8) con una distanza a piedi dall'ingresso pari a 400 m.

## 6 Analisi finali e conclusioni

In base ai risultati raggiunti riportati nei capitoli precedenti, nel presente capitolo verrà svolta una analisi conclusiva in cui saranno messi confronto i modelli di domanda Multinomial Logit finale e ML. Il confronto partirà dalla comparazione dei valori e dei relativi segni che i parametri degli attributi assumono nei due modelli per poi confrontare il comportamento dei modelli al variare dell'età e della distanza a piedi da percorrere per raggiungere gli ingressi.

Completata l'analisi dei risultati, grazie a questo ultimo confronto, si procederà a trarre le conclusioni del presente lavoro. Le conclusioni descriveranno sinteticamente il lavoro, le analisi svolte e i risultati ottenuti per poi arrivare a rispondere alle domande di ricerca che sono alla base del lavoro stesso.

In conclusione si indicheranno quali sono, anche alla luce dei risultati del presente studio, i possibili ambiti di ricerca per lavori futuri.

### 6.1 Confronto fra i risultati delle analisi svolte

Per concludere le analisi fin qui svolte e trarre delle conclusioni definitive si ritiene necessario mettere a confronto, dati gli stessi scenari, l'andamento della ripartizione modale emerso nei due principali modelli di domanda utilizzati nel presente studio e nello specifico fra il modello Multinomial Logit finale ed il modello ML con interazione fra  $ASA_{CTS}$  ed età espressa come variabile continua con ipotesi di distribuzione uniforme del parametro stocastico.

Confrontando i parametri dei due modelli (vedi Tabella 15) si possono osservare alcune similitudini ed alcune differenze. Partendo dai segni dei parametri, come era normale aspettarsi questi sono identici. Per quel che riguarda gli attributi di scenario Luce e Clima questi non variano sostanzialmente così come non varia sostanzialmente il valore dell'attributo comfort a bordo. Per quel che riguarda, invece, l'attributo relativo alla distanza a piedi da percorrere per raggiungere gli ingressi, nel modello ML si osserva un incremento abbastanza marcato rispetto al Multinomial Logit finale.

Analizzando i valori degli  $ASA$  per quel che riguarda l' $ASA_{MINI}$  questo diminuisce nel modello ML così come diminuisce la sua significatività statistica. Inoltre anche l' $ASA_{CTS}$  per quel che riguarda la componente non correlata all'età, presenta una consistente riduzione che però viene compensata con il segno positivo dell' $ASA_{CTS}$ . Questo indica che l' $ASA_{CTS}$  nel suo complesso aumenta anche significativamente all'aumentare dell'età. Infatti in caso di utenza di età media pari 17 anni l' $ASA_{CTS}$  complessivamente vale 0.45273 mentre per età dell'utenza pari a 60 anni è 1.36949. Valore molto maggiore di quanto rilevato per l' $ASA_{CTS}$  del modello Multinomial Logit finale.

Tabella 15 - Confronto fra i risultati ottenuti con il modello ML e Multinomial Logit.

Mixed logit			Multinomial Logit	
Parametro	Valore	Significatività	Valore	Significatività
<b>Parametri deterministici</b>			////	
$\beta_1$ (piedi)	-0.00165	-6.859	-0,00145	-7,141
$\beta_2$ (Luce)	-0.42939	-4.006	-0,4373	-4,316
$\beta_3$ (Clima)	-1.28917	-11.332	-1,2196	-11,892
$\beta_7$ (Comfort)	0.28486	2.660	0,2685	2,642
$ASA_{MINI}$	0.22143	1.425	0,2740	1,885
<b>Parametro stocastico</b>			////	
$ASA_{CTS}$	0.45273	2.054	0,8111	5,522
$ASA_{1CTS}$	0.02132	2.086		
$\sigma_{CTS}$	0.06693	2.667	////	////
	$\rho^2=0.56786$	$\rho^2_{adj}=0.56604$	$\rho^2=0.56655$	$\rho^2_{adj}=0.56518$

L'ultimo aspetto da confrontare è il comportamento dei due modelli in termini di ripartizione modale. Il confronto sarà svolto in due scenari: lo Scenario 4 (giorno, sereno con posto a bordo NON garantito) che è risultato essere il più vantaggioso per l'alternativa tutto a piedi sia nel caso di CTS che di Minibus e nello Scenario 6 (buio con luce artificiale, pioggia e posto a bordo garantito) che invece è risultato il più vantaggioso per le alternative CTS e Minibus.

Tale confronto permetterà di capire il peso dell'età nella domanda quando considerata rispetto al caso in cui non venga considerata. Il confronto è riportato in Figura 61 per lo Scenario 4 e in Figura 62 per lo Scenario 6. Per quello che riguarda i Multinomial Logit è stata posta una linea a 400 m. per consentire un confronto diretto dato che nella definizione della ripartizione modale delle alternative al variare dell'età effettuata con i ML si è ipotizzata una distanza a piedi per raggiungere gli ingressi di 400 m. fissa.

Considerando lo Scenario 4 (vedi Figura 61), considerando la coppia di scelta Minibus vs tutto a piedi a 400 m., nel modello Multinomial Logit si osserva lo stesso comportamento osservato nel ML. Discorso diverso per la coppia di scelte CTS vs tutto a piedi. Infatti, le ripartizioni modali osservate nel Multinomial Logit finale a 400 m. sono le stesse osservate per un campione di età di 40 anni nel modello ML. Per età superiori ai 40 anni il modello ML assegna una ripartizione modale maggiore al CTS rispetto al modello Multinomial Logit finale, mentre per età inferiori assegna ad una ripartizione modale minore.

Considerando lo Scenario 6 (vedi Figura 62), considerando la coppia di scelta Minibus vs tutto a piedi a 400 m. nel Multinomial Logit si osserva lo stesso comportamento osservato nel modello ML. Per quanto riguarda la coppia di scelte CTS vs tutto a piedi le ripartizioni modali osservate nel Multinomial Logit finale a 400 m. sono le stesse osservate per un campione di età di 36-37 anni nel modello ML. Per età superiori ai 36-37 anni il modello ML assegna una ripartizione modale maggiore al CTS rispetto al modello Multinomial Logit finale, mentre per età inferiori assegna ad una ripartizione modale minore.

In base a tale analisi è possibile trarre alcune conclusioni. Per quel che riguarda la coppia di alternative Minibus vs tutto a piedi l'età nello è ininfluente anche in caso di calibrazione congiunta con il i due DB. Infatti il confronto evidenzia che la coppia di scelta Minibus vs tutto a piedi presenta lo stesso andamento della ripartizione modale al variare dell'età sia nel modello Multinomial Logit finale che nel modello ML.

Per quello che riguarda il modello CTS vs tutto a piedi la presenza dell'età ha un peso determinante nella ripartizione modale ed il Modelli Mulinomial Logit finale e ML hanno comportamenti simili, a 400 m., per fasce di età degli utenti comprese fra i 36 e i 40 anni. Altrimenti, per utenti con età differenti i due modelli presentano comportamenti difforni. Questo suggerisce che l'utilizzo del modello Multinomial Logit finale è indicato in contesti di utenza con età variabile e età media compresa fra i 35 e i 40 ani. In caso di contesti in cui l'età media dell'utenza è sensibilmente diversa il Multinomial Logit finale potrebbe fornire risultati falsati.

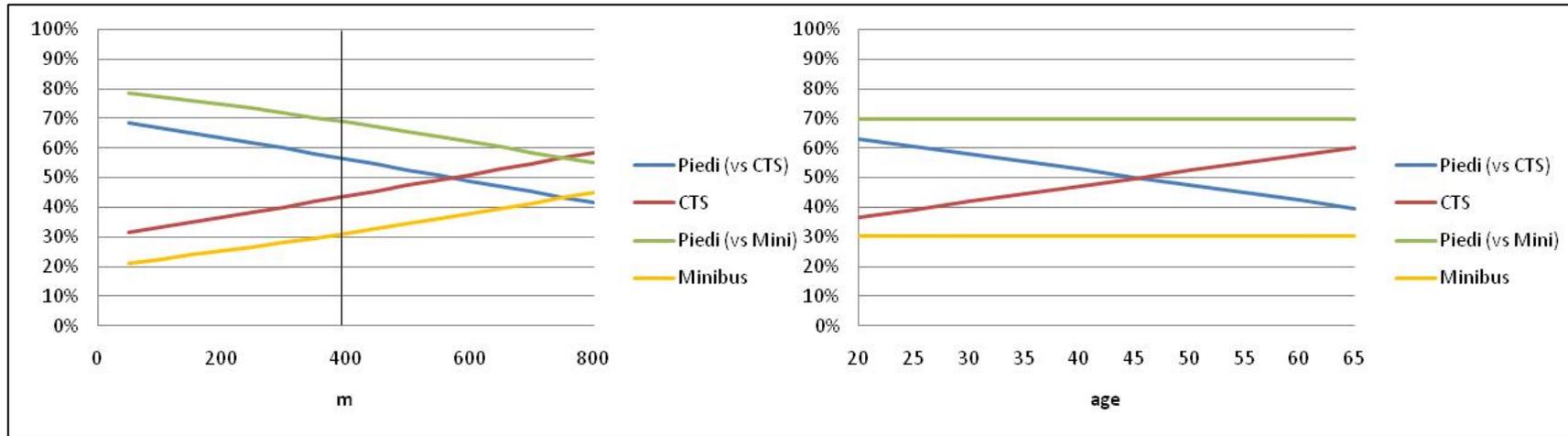


Figura 61 - Confronto fra la ripartizione modale nel P1 nello Scenario 4 (giorno, sereno e con posto a bordo NON garantito) fra i modelli Multinomial Logit finale (sulla sinistra) e ML (sulla destra).

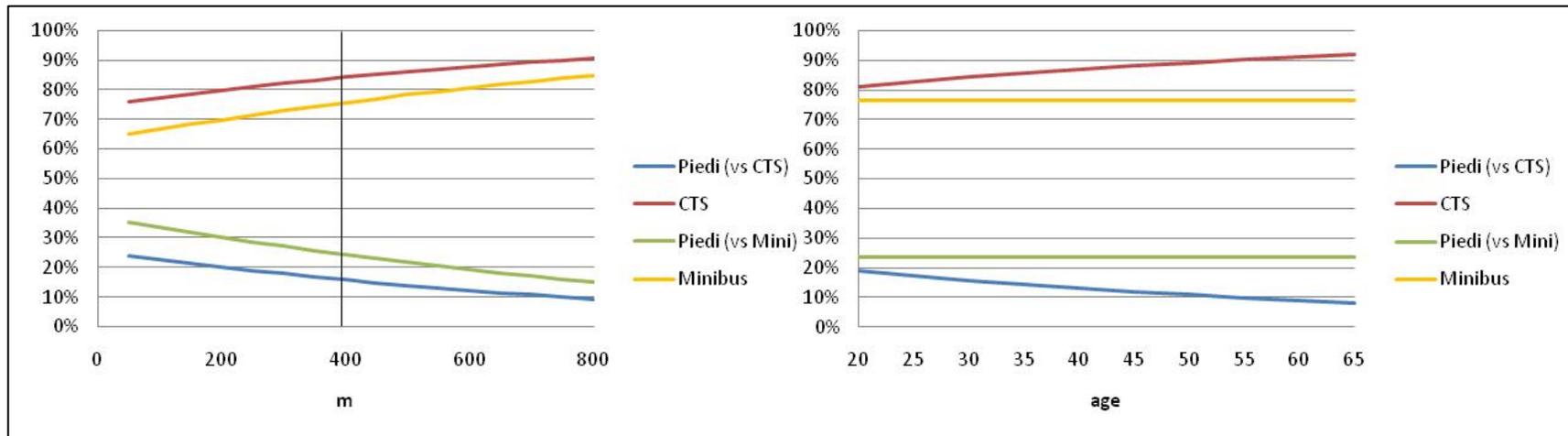


Figura 62 - Confronto fra la ripartizione modale nel P1 nello Scenario 6 (buio con luce artificiale, pioggia e con posto a bordo garantito) fra i modelli Multinomial Logit finale (sulla sinistra) e ML (sulla destra).

## **6.2 Conclusioni e futuri sviluppi**

Il presente lavoro di dottorato si inserisce all'interno delle attività del progetto CityMobil che è un progetto integrato co-finanziato dalla Commissione Europea che mira a rimuovere gli ostacoli alla diffusione dei sistemi di trasporto innovativi.

Nel progetto CityMobil il sottoprogetto 1 si occupa delle attività di implementazione e dimostrazione di sistemi di trasporto innovativi. In particolare tre dimostrativi permanenti sono stati realizzati o sono in via di realizzazione con lo scopo di aprirli permanentemente al pubblico nei seguenti siti:

- L'aeroporto di Heathrow (Regno Unito) dove è stato inserito un Personal Rapid Transit (PRT nel seguito) che collega il parcheggio per le lunghe soste con il nuovo terminal dell'aeroporto. Il PRT è un sistema trasporto automatico in cui i veicoli con capacità di 4-6 passeggeri forniscono un servizio a domanda, senza soste intermedie, fra le fermate di una rete attrezzata e completamente segregata.
- Castellón (Spagna) dove è stato inserito un Advanced Bus Rapid Transit (ABRT nel seguito). Il sistema consiste in un bus, che grazie a sistemi di bordo, assiste il conducente nella guida. Il sistema in questa prima fase collega la zona universitaria con il centro della città.
- Nuova Fiera di Roma dove sarà inserito un Cybernetic Transport System (CTS nel seguito) nel parcheggio P1 per fornire agli utenti un servizio da e per gli ingressi della Fiera. Il CTS è un sistema composto da veicoli automatici, detti Cybercar, che possono fornire un servizio a domanda con o senza soste intermedie fra vari punti di una rete attrezzata. Le Cybercar possono operare in ambiente promiscuo con pedoni e ciclisti, sono muniti di sistemi di individuazione degli ostacoli e trasportano fino a 30 passeggeri.

In particolare il presente lavoro completa e arricchisce le attività del Dimostrativo di Roma, di cui è prevista l'apertura al pubblico nell'autunno del 2011, stimando, per le diverse condizioni operative qual è la domanda attesa per il CTS. In quest'ottica l'obiettivo dichiarato che si è posto il presente studio è *stimare il livello di domanda al variare delle diverse condizioni operative del sistema*.

Tale obiettivo, per quanto semplice, ha posto una serie di questioni che sono state affrontate perché sicuramente la domanda attesa del CTS è collegata alla qualità del servizio offerto. Ma è anche vero, come è stato evidenziato nell'analisi svolte, che l'innovativa stessa del sistema può avere un impatto, che va misurato, sulla domanda attesa e che tale impatto può cambiare in base agli attributi socioeconomici dell'utenza.

In base all'obiettivo del presente lavoro ed alla luce delle considerazioni sopra riportate le domande di ricerca a cui si è data una risposta nel presente lavoro sono:

- Come varia la domanda al variare della qualità del servizio?
- Quali sono le differenze di preferenze da parte dell'utenza fra un CTS e un sistema classico?
- Esistono relazione fra i diversi attributi socioeconomici degli utenti e la domanda?

Alla luce di tali domande di ricerca si è quindi analizzata lo stato dell'arte nel campo dei sistemi innovativi di trasporto. Il primo passo è stato quello di analizzare la presenza di sistemi di trasporto simili operanti e aperti al pubblico. L'analisi ha evidenziato che questi tipi di sistema hanno una diffusione limitatissima e, quelli aperti al pubblico attualmente, si possono letteralmente contare sulle dita di una mano: il PRT di Morgantown, il CTS di Rivium e due CTS operati da Robosoft in Francia presso dei parchi divertimento a tema. A questa brevissima lista si aggiunge il PRT, che in forma veramente limitata, è stato installato presso la città di Mazdar (Emirati Arabi Uniti). L'analisi dello stato dell'arte ha evidenziato che, al di là dei costi d'implementazione di tali sistemi che risultano essere soprattutto per i PRT alquanto elevati, il principale limite alla diffusione di tali sistemi è l'assenza di un quadro normativa adeguato per la loro omologazione. Infatti, ad eccezione di Morgantown, gli altri esempi riportati sono in funzione o con permessi temporanei o sfruttando pieghe della normativa che non permettono una facile replicazione delle esperienze.

Dopo aver analizzato lo stato dell'arte circa sistemi di trasporto innovativi si è proceduto a raccogliere ed analizzare studi di domanda relativi a sistemi di trasporto innovativi. Va detto che, come nel caso di esempi applicativi, anche nel caso di studi di domanda la letteratura non è abbondante e spesso deriva da progetti co-finanziati dalla Commissione Europea (CyberMove, EDICT e NETMOBIL prevalentemente) e da studi di domanda correlati a tali progetti e poi presentati in convegni internazionali.

Anche se gli studi effettuati risultano essere pochi i risultati emersi generalmente sono favorevoli ai sistemi di trasporto innovati evidenziando una capacità attrattiva nei confronti degli utenti di tali sistemi.

Un tratto comune di molti di questi studi è che, in assenza di sistemi funzionanti, al fine di calibrare i modelli di domanda si è utilizzato il metodo delle *Stated Preferences* (SP - Preferenze Dichiarate) che consiste nel sottoporre ai potenziali utenti degli scenari ipotetici di scelta che vedono, nel presente caso, l'inserimento di sistemi di trasporto innovativo in diverse condizioni operative, climatiche e di comfort a bordo.

Dato che il CTS di Roma non è stato ancora implementato e il metodo SP è stato utilizzato in condizioni simili, si è deciso di applicarlo anche al presente lavoro. Definito tale aspetto si è proceduto a definire le alternative (e i relativi attributi per descriverle). Le alternative da proporre agli utenti, onde evitare di proporre scenari troppo lontani dalla percezione degli utenti, sono utilizzo del CTS per raggiungere gli ingressi della Fiera dal parcheggio P1 o raggiungere gli ingressi a piedi perché questa sarà effettivamente la scelta che gli utenti si troveranno a fare una volta costruito il CTS.

Per quel che riguarda gli attributi, sulla base anche di quanto emerso nell'analisi dello stato dell'arte, sono state individuate tre categorie (i) una relativa agli attributi di scenario cioè presenza o meno di luce e condizione meteo, (ii) una relativa all'alternativa del CTS che è descritta con i seguenti attributi: distanza per raggiungere le fermate, tempo di attesa alle fermate, tempo di viaggio a bordo e comfort a bordo (inteso come garanzia o no del posto seduto). (iii) l'ultima relativa all'alternativa tutto a piedi dove si è considerato il solo attributo distanza a piedi per raggiungere gli ingressi.

Definiti gli scenari di scelta e gli attributi si è passato a definire i questionari ed i tempi e i modi di somministrazione. In questa fase, al fine di evidenziare eventuali preferenze da parte dell'utenza verso sistemi di trasporto innovativo ovvero tradizionale, si è deciso di somministrare a due campioni di utenti del parcheggio P1 distinti e causali due scenari di scelta. In uno veniva proposta la scelta per raggiungere gli ingressi fra il CTS e camminare e nell'altra fra un Minibus elettrico (di quelli operanti nel centro di Roma) e camminare. I due scenari di scelta avevano identici disegni sperimentali e quindi l'eventuale preferenza del CTS anziché del Minibus da parte dell'utenza si è esplicitata nei modelli di domanda attraverso gli Attributi Specifici dell'Alternativa (ASA) diversi nel caso del CTS o del Minibus.

Sulla base di questa impostazione sono stati definiti due questionari, ponendo attenzione nell'utilizzare toni il più possibili neutri nella descrizione delle alternative, con identico disegno sperimentale. In uno veniva proposta la scelta fra il CTS vs tutto a piedi per raggiungere gli ingressi e nell'altro veniva proposta la scelta fra il Minibus vs tutto a piedi sempre per raggiungere gli ingressi.

I questionari sono stati divisi in tre sezioni. La prima, differente per le coppie di scelta CTS vs tutto a piedi e Minibus vs tutto a piedi, relativa alla descrizione dell'alternative e dei sistemi proposti. Una seconda sezione, comune ad ambedue i questionari, relativa agli attributi socioeconomici del campione. Infine una terza sezione, identica in termini di disegno sperimentale nei due questionari, in cui a ogni utente veniva chiesto di scegliere in quattro scenari ipotetici diversi (in base agli attributi sopra descritti) fra il CTS/Minibus e camminare per raggiungere gli ingressi. Per quanto riguarda il numero di scenari di scelta proposti ad ogni intervistato si sono utilizzate in maniera sequenziale la tecnica del piano

fattoriale fratto e quello della scomposizione a blocchi al fine di poter sottoporre ad ogni intervistato un numero accettabile di scenari. In questo modo si è passati da 288 scenari di scelta possibili, dati gli attributi ed i relativi livelli che potevano assumere, a 24 scenari suddivisi in 6 blocchi ogni blocco somministrato ad un ugual numero di intervistati.

Le interviste somministrate sono state di tipo frontale e sono state somministrate nel parcheggio P1 a due campioni distinti e casuali di utenti del parcheggio nei mesi di Novembre e Dicembre 2009. L'intervistato veniva fermato dagli operatori mentre usciva a piedi dal P1 per recarsi verso gli ingressi della Fiera e gli veniva descritto brevemente lo scopo dello studio. Se accettava di essere intervistato veniva invitato a sedersi nei gazebo allestiti e le sue risposte venivano registrate dall'intervistatore. Sono state somministrate un totale di 476 interviste valide così distribuite fra i due campioni: CTS vs tutto a piedi 238 interviste, Minibus vs tutto a piedi 238 interviste.

I risultati delle interviste, dopo una sintetica analisi circa la composizione del campione degli intervistati sono stati utilizzati per calibrare i modelli di domanda. Il primo modello di domanda calibrato, definito modello completo, prevedeva l'utilizzo di tutti gli attributi per quattro diverse funzioni di utilità. Due funzioni di utilità erano riferite all'alternativa camminare nel caso fosse comparata con il CTS o con il Minibus. Delle altre due funzioni di utilità una era riferita al CTS ed una al Minibus. E' importante sottolineare che sia per l'alternativa tutto a piedi che per l'alternativa CTS/Minibus la struttura delle funzioni è identica e, l'eventuale preferenza da parte degli utenti per il CTS o per il Minibus è stata esplicitata attraverso gli ASA, l'unico termine delle funzioni di utilità che differisce in quella del CTS e del Minibus.

Dalla prima calibrazione, effettuata utilizzando congiuntamente i dati derivanti dai due questionari somministrati, è emerso che, nel contesto di scelta proposto, non tutti gli attributi sono risultati statisticamente significativi. Nello specifico gli attributi relativi a: tempo a bordo, distanza a piedi per raggiungere le fermate e tempo di attesa alle fermate sono risultati statisticamente non significativi mentre è risultato statisticamente significativo e rilevante il comfort a bordo. Questo risultato è dovuto al fatto che probabilmente gli ordini di grandezza dei tempi e delle distanze necessarie per accedere al servizio differiscono di poco rispetto ai tempi necessari per raggiungere gli ingressi a piedi quindi la scelta dell'utente si basa su altri fattori. Infatti gli attributi di scenario luce e clima sono risultati non solo statisticamente significativi ma anche molto rilevanti e, come l'analisi della domanda ha evidenziato con chiarezza, la presenza o meno di pioggia incide notevolmente inducendo i passeggeri a prediligere le alternative CTS/Minibus rispetto all'alternativa tutto a piedi. Anche se in misura minore, la presenza di buio con luce artificiale induce lo stesso comportamento negli utenti. I valori degli ASA evidenziano una netta preferenza da parte degli utenti per il CTS rispetto al Minibus. Concludendo, per quel

che riguarda l'alternativa tutto a piedi, l'attributo distanza a piedi per raggiungere gli ingressi è risultato statisticamente significativo e rilevante.

Alla luce di questi risultati e al fine di analizzare l'andamento della domanda al variare della distanza a piedi per raggiungere gli ingressi nelle diverse condizioni operative si è proceduto a definire un modello Multinomial Logit finale in cui gli attributi del servizio: distanza per raggiungere le fermate, tempo di attesa alle fermate e tempo a bordo sono stati rimossi in quanto statisticamente non significativi. Nel modello Logit Multinomial finale sono stati considerati quindi i seguenti attributi: luce, clima, distanza a piedi per raggiungere gli ingressi e comfort a bordo. Accanto a questi attributi sono stati mantenuti sia gli ASA del CTS che del Minibus.

Uno volta calibrato il modello Logit Multinomiale finale ha evidenziato che tutti gli attributi in esso utilizzati sono statisticamente significativi e nello specifico:

- Gli attributi di scenario clima e luce risultano i più rilevanti incidendo pesantemente sulla domanda. In particolar modo l'attributo clima risulta essere in assoluto il più rilevante ed, in presenza di tempo sereno risulta avvantaggiata l'alternativa tutto a piedi, mentre in presenza di pioggia risulta avvantaggiata l'alternativa CTS/Minibus. Per quello che riguarda l'attributo luce, in presenza di buio con luce artificiale l'utenza preferisce il sistema di trasporto mentre di giorno predilige l'alternativa tutto a piedi.
- L'attributo comfort a bordo incide sulla domanda e la presenza di posto garantito a bordo avvantaggia i sistemi di trasporto;
- Per quel che riguarda l'attributo distanza a piedi al suo crescere la ripartizione modale dell'alternativa tutto a piedi diminuisce a favore di quella dei sistemi di trasporto;
- Riguardo agli ASA, crescono ambedue in termini assoluti e in significatività statistica probabilmente perché inglobano l'effetto di quegli attributi di servizio eliminati dal modello. L' $ASA_{CTS}$  è circa tre volte più grande in termini assoluti rispetto all' $ASA_{MINI}$ . Questo sembra essere il risultato più interessante e indica che i sistemi innovativi di trasporto sono guardati con favore dall'utenza che probabilmente li ritiene più affidabili.

Calibrato il modello si è passati all'analisi della domanda in 8 scenari in cui variano gli attributi: clima, luce e comfort a bordo. Per ogni scenario l'andamento della ripartizione modale rispetto alla distanza a piedi delle quattro alternative considerate è stata riportata e tale analisi ha evidenziato alcuni aspetti. Il primo è che all'aumentare della distanza a piedi aumenta la ripartizione modale dei sistemi di trasporto considerati e tale andamento è influenzato notevolmente dagli attributi clima e luce e in maniera minore anche se non trascurabile dall'attributo comfort a bordo. Inoltre, e questo è il dato numerico più

interessante, la ripartizione modale del CTS è risultata essere, nelle medesime condizioni, sempre circa il 10% più elevata di quella del Minibus. Tale fenomeno è determinato dalla differenza di valori degli ASA osservato nella calibrazione del modello.

Un'analisi della sensibilità della domanda all'aumentare della distanza a piedi da percorrere ha anche evidenziato che, in presenza di clima sereno, per ogni 100 m. aggiuntivi da percorrere per raggiungere gli ingressi la ripartizione modale del CTS e del Minibus aumenta di valori compresi fra il 3-3,5%. Invece, in presenza di pioggia, tale valore è quasi sempre inferiore al 3%. Questo perché la domanda dei sistemi di trasporto, in presenza di pioggia, è già elevata a brevi distanze e quindi l'aumento con la distanza a piedi da percorrere è meno marcato.

Terminata l'analisi della domanda con il modello Multinomial Logit finale si è proceduto ad analizzare la presenza di correlazioni significative fra gli attributi socioeconomici del campione e la domanda con particolare riferimento ai seguenti attributi socioeconomici: sesso, livello di istruzione ed età.

Uno dei metodi più diffusi per l'analisi in modelli di domanda considerando gli attributi socioeconomici è quello della segmentazione del campione. Con questo approccio il campione viene diviso in segmenti sulla base all'attributo socioeconomico che si vuole includere nell'analisi e per ciascuno dei segmenti si calibra un modello di domanda. Per esempio nel caso dell'età si calibrano i sottomodelli su segmenti di età come 21-30 anni, 31-40 anni ecc. ecc. Tale approccio, anche se molto diffuso presenta due limiti. Il primo è che segmento potrebbe composto da un numero limitato di intervistati. Il secondo è che il peso dell'attributo socioeconomico nella domanda è esplicitato solo se la segmentazione individuata permette tale esplicitazione. Quindi l'analista è costretto a sperimentare, per ogni attributo socioeconomico, diverse segmentazioni e relative calibrazioni fino a quando non riesce ad esplicitare la presenza della relazione o fino a quando ha la ragionevole certezza che tale relazione non esiste.

Al fine di superare questi problemi, proprio a metà degli anni novanta sono stati sviluppati i Modelli di domanda di tipo Mixed Logit (ML nel seguito) che sono stati utilizzati nella presente analisi.

I modelli ML permettono di rilassare l'ipotesi di IID consentendo di investigare possibili correlazioni fra residui aleatori di diverse alternative e di investigare la presenza di eterogeneità, rispetto ad un dato attributo come gli ASA nel presente caso, nella popolazione. In sostanza uno o più parametri del modello, invece di essere trattati come deterministici, sono trattati come stocastici e quindi sono rappresentati, ipotizzando una distribuzione (nel presente caso, uniforme, triangolare e normale), con una media ed una varianza ed un eventuale correlazione con dei parametri sottostanti (nel presente caso gli attributi socioeconomici).

Un primo modello ML è stato calibrato per investigare la possibilità che gli ASA presentassero delle eterogeneità e quindi si prestassero ad essere trattati come parametri stocastici anziché deterministici. L'analisi ha evidenziato che l' $ASA_{CTS}$  si presta a essere rappresentato come parametro stocastico mentre l' $ASA_{MINI}$  no.

A valle di questo risultato si è investigata la presenza di una relazione, statisticamente significativa, fra l' $ASA_{CTS}$  e gli attributi socioeconomici del campione: sesso, livello di istruzione e età. L'analisi ha evidenziato che tale relazione è significativa solo nel caso dell'età rappresentata come variabile continua. Tale relazione è risultata positiva e quindi al crescere dell'età la domanda del CTS risulta crescere (mentre quella del Minibus è invariante con l'età). Inoltre, per qualunque fascia di età l' $ASA_{CTS}$  è sempre maggiore dell' $ASA_{MINI}$ . Tali risultati sono molto interessanti e consentono di fare alcune considerazioni:

- Indipendentemente dall'età i sistemi di trasporto innovativi sono visti con favore dalla popolazione e questo fa pensare che non ci dovrebbero essere problemi di accettazione da parte dell'utenza;
- Inaspettatamente l'innovazione è vista con maggior attenzione e incide di più sul comportamento dell'utenza di età elevata. Questo potrebbe indicare che l'età non è un limite alla diffusione domanda di trasporto anzi.

A valle della calibrazione del modello ML si è proceduto ad analizzare come varia la ripartizione modale del CTS al variare dell'età fra i 20 e i 65 anni. Sono stati analizzati gli stessi 8 scenari analizzati per il modello Multinomial Logit finale imponendo una distanza da percorrere a piedi pari a 400 m.

L'analisi ha evidenziato che la domanda del CTS variando l'età da 20 a 65 anni (il range di età analizzato) aumenta in quasi tutti gli scenari di circa il 20%. Quindi si può concludere che non solo all'aumentare dell'età aumenta la domanda del CTS ma che questa può aumentare anche in maniera consistente.

L'ultima analisi svolta ha riguardato una comparazione diretta degli scenari ottenuti con il Multinomial Logit finale e con il ML. Il confronto è stato in due scenari: lo Scenario 4 (giorno, sereno con posto a bordo NON garantito) che è risultato essere il più vantaggioso per l'alternativa tutto a piedi sia nel caso di CTS che di Minibus e nello Scenario 6 (buio con luce artificiale, pioggia e posto a bordo garantito) che invece è risultato il più vantaggioso per le alternative CTS e Minibus.

Per quello che riguarda la coppia di scelta Minibus vs tutto a piedi non si sono osservate differenze di comportamento fra i due modelli nei due scenari. Per quello, invece, che riguarda la coppia di scelta CTS vs tutto a piedi l'analisi ha evidenziato che in ambedue gli Scenari il modello Multinomial Logit finale riproduce il comportamento del modello ML

relativo a fasce di età fra i 35 e i 40. Con fasce di età dell'utenza maggiori il Multinomial Logit finale presenta una ripartizione modale del CTS minore a quella calcolata con il ML e, viceversa, per fasce di età inferiori presenta una ripartizione modale maggiore. Questo fa pensare che, in presenza di utenza con età differenti ed età media fra i 35 e i 40 il Multinomial Logit finale fornisce indicazioni adeguate mentre per utenze con età media inferiore o superiore potrebbe rispettivamente sovrastimare o sottostimare la domanda del CTS.

Concludendo l'analisi estensiva dei dati raccolti ha raggiunto l'obiettivo posto cioè ha permesso di *stimare il livello di domanda al variare delle diverse condizioni operative del sistema* e ha permesso di rispondere alle domande di ricerca poste:

***Come varia la domanda al variare della qualità del servizio (distanza dalla fermata, tempo di attesa, tempo a bordo e comfort a bordo)?***

Date le distanze brevi, i tempi di percorrenza a piedi sono comparabili a quelli relativi all'utilizzo dell'eventuale sistema di trasporto, per questo motivo gli attributi relativi alla qualità del servizio sono irrilevanti a meno del comfort a bordo che ha un peso nella determinazione della domanda. Tale risultato indica che il comfort a bordo per sistemi innovativi su distanza brevi va adeguatamente curato e, nello specifico del Dimostrativo di Roma, data la semplicità dei veicoli utilizzati ci sono ampi margini di miglioramento su questo aspetto. Osservando anche gli altri attributi del modello risulta rilevante anche la distanza a piedi da percorrere e soprattutto le condizioni di luce e clima che incidono, più del comfort a bordo, nella formazione della domanda.

***Quali sono le differenze di preferenze da parte dell'utenza fra un CTS e un sistema classico?***

L'analisi condotta ha evidenziato che indipendentemente dal tipo di modello utilizzato il CTS presenta un vantaggio competitivo in termini di domanda rispetto al Minibus a parità delle altre condizioni. Questa differenza di domanda con il modello Multinomial Logit finale è sempre circa del 10%. Tale aspetto indica che l'utenza non presenta forme di rifiuto verso sistemi di tipo innovativo (almeno nel contesto di scelta proposto nel presente studio) ma allo stesso tempo, probabilmente, nutre anche delle aspettative elevate nei confronti dell'innovazione. Nel prosieguo del Dimostrativo di Roma si verificherà se queste aspettative sono fondate.

***Esistono relazione fra gli attributi socioeconomici degli utenti (età, sesso, livello di istruzione) e la domanda?***

L'analisi ha evidenziato che né il sesso né il livello di istruzione dell'utenza presentano correlazioni, statisticamente significative con la domanda del CTS e del Minibus. L'età, invece, presenta una correlazione con la domanda del CTS e, abbastanza inaspettatamente

per gli analisti, al crescere dell'età si osserva un aumento della domanda anche consistente (variando l'età dell'utenza dai 20 ai 65 anni si osserva un aumento della domanda del CTS dal 15% al 20% nei diversi scenari). Tale correlazione non è stata osservata fra la domanda del Minibus e l'età. Si sottolinea, inoltre, che  $ASA_{CTS}$  risulta, per qualunque età dell'utenza, maggiore di  $ASA_{MINI}$  indicando comunque una preferenza generalizzata da parte degli utenti verso i sistemi innovativi. Tali risultati indicano che tali sistemi di trasporto, probabilmente, non presenteranno problemi di *user acceptance* fra gli utenti e in particolar modo fra i più anziani e, in una società la cui età media è in crescita, questo dato è molto positivo.

I risultati raggiunti con il presente lavoro ovviamente discendono da questionari somministrati agli utenti circa comportamenti ipotetici e quindi si ritiene necessario, una volta aperto al pubblico il Dimostrativo di Roma verificare i risultati raggiunti con indagini sui comportamenti reali degli utenti.

Concludendo il raggiungimento dell'obiettivo del presente lavoro non esaurisce l'ambito di ricerca sull'argomento anzi tali risultati spingono a porsi altre domande.

Un primo quesito è relativo alla comprensione del “perché” di un vantaggio competitivo dei sistemi di trasporto innovativi rispetto a quelli classici. Nel presente studio si è accennato alla possibilità che tali sistemi possano essere percepiti dall'utenza come più affidabili. E' questa la risposta giusta? Inoltre perché tale preferenza è più marcata negli utenti più anziani?

La risposta a questi due quesiti fra loro correlati potrebbe aiutare a comprendere meglio come proporre all'utenza questi sistemi e quali, per l'utenza, sono i bisogni a cui questi sistemi di trasporto possono dare risposta e che, così come sono adesso, i sistemi di trasporto classico non soddisfano.

Un'altra domanda che sorge osservando le conclusioni è “tali sistemi, se integrati con i sistemi di trasporto classici possono rappresentare per l'utenza, la soluzione del problema dell'ultimo miglio e rendere il Trasporto pubblico locale più competitivo rispetto al veicolo privato? Se sì, in che misura?”. Calandola nello specifico della Fiera di Roma ci si potrebbe chiedere se e quante persone, invece di raggiungere la Fiera con la macchina, la raggiungerebbero con il treno se la stazione di Fiera di Roma fosse collegata con gli ingressi della Fiera con un CTS?

Questa domanda è fondamentale per comprendere quale ruolo svolgeranno tali sistemi in futuro e se potranno integrarsi efficacemente con il trasporto pubblico locale già esistente incrementandone l'attrattività complessiva o se invece si osserveranno installazioni sporadiche di tipo isolato in contesti specifici come fiere, aeroporti o grandi aree commerciali.

## 7 Bibliografia

- Alessandrini A. and Filippi F. (2004). *Ex-ante evaluation of nine cybernetic transport systems*. Proceedings of the 7<sup>th</sup> international IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Washington.
- Alessandrini A., Filippi F., Stam D., Tripodi A., (2010). *Pre-design method for advanced public transport systems*, Public Transport: Planning and Operation, Volume 2 Numbers 1-2, 2010 (pp 5-24), Springer.
- Bekhor S. and Zvirin Y. (2004) *Estimating the potential use of cybernetic cars for a university campus*. Proceedings of the 10th WCTR World Conference on Transport Research, Istanbul, Turkey.
- Benmimoun, A., Lawson, M., Marques, A., Giustiniani, G., Parent, M. *Demonstration of Advanced Transport Applications in CityMobil project*. Transport Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2110, Transport Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2009, pp 9-17.
- Cascetta, E. (1998), *Teoria e metodi dell'ingegneria dei sistemi di trasporto*, UTET, Torino.
- Cascetta E. (2009). *Transportation Systems Analysis: Models and Applications*. Springer.
- Cherchi, E., Ortuzar, J.de D. (2005). *On fitting mode specific constants in the presence of new options in RP/SP models*, [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).
- Cherchi, E., Ortuzar, J.de D. (2002). *Mixed RP/SP models incorporating interaction effects: modeling new suburban train services in Cagliari*. Transportation 29.
- CyberCars consortium (2003) *New technologies for infrastructures*. Deliverable D3 of CYBERCARS project. Sixth European Framework Programme
- CyberMove Consortium (2004a). *Ex-ante Evaluation*, Deliverable D2.3a&6.2b of CyberMove project. Fifth Framework Programme, European Commission.
- CyberMove Consortium (2004b). *Final evaluation report*, Deliverable D6.3 of CyberMove project. Fifth Framework Programme, European Commission.
- CityMobil Consortium (2007). *Rome data collection for the ex-ante evaluation analysis*, Deliverable D1.3.5.1 of CityMobil project. Sixth Framework Programme, European Commission.
- CityMobil Consortium (2009), *Rome demonstration detailed design*, Deliverable D1.3.2.2 of CityMobil project. Sixth Framework Programme, European Commission.
- EDICT Consortium (2004a). *Site Assessment Report*. Deliverable 6 of the EDICT project. Fifth Framework Programme, European Commission.
- EDICT Consortium (2004b). *Demonstration Report*. Deliverable 8 of the EDICT project. Fifth Framework Programme, European Commission.

- EDICT Consortium (2004c), *Final Report*, Deliverable 10 of the EDICT project. Fifth Framework Programme, European Commission.
- Fowkes, T., Wardman, M. (1988). *The design of stated preference travel choice experiments*, Journal of transport economics and policy.
- Hensher, D. A., Bernard, P. O., Truong, T. P. (1988). *The role of stated preference methods in studies of travel choice*, Journal of transport economics and policy.
- Hensher D. A., Rose M. J., Greene W.H. (2005). *Applied Choice Analysis: A Primer*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Kroes, E. P., Sheldon, R. J. (1988). *Stated preference methods: an introduction*, Journal of transport economics and policy.
- Louviere, J.J., Hensher, D.A., Swait, J.D. (2000). *Stated Choice Methods: Analysis and Application*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Louviere, J. J. (1988). *Conjoint analysis modelling of stated preferences: a review of theory, methods, recent developments and external validity*, Journal of transport economics and policy.
- Mindehoud MM, Zuylen HJ (2002). *Preliminary assessment of the operation of a Personal Rapid Transit system in Eindhoven*. In: IEEE conference. Singapore, 3–6 September 2002
- Minderhoud M. M. and van Zuylen H. J. (2005). *Willingness-to-pay for personal rapid transit in the city of Almelo*. Proceedings of the 10th APM Automated People Movers Conference, Orlando, Florida.
- NETMOBIL Consortium (2005). *EU Potential for Innovative Personal Urban Mobility*. Deliverable D7 of the NETMOBIL project. Fifth Framework Programme, European Commission.
- Parent, M. (2007). *Advanced Urban Transport: Automation is on the Way*, IEEE Intelligent Systems, Volume 22, Issue: 2 : 9-11.
- Szillat, M.T., (2001). *A Low-level PRT Microsimulation*, Dissertation submitted to the University of Bristol for the Degree of Doctor of Philosophy in the Faculty of Engineering.
- S.T.A (2002). *Studio di inquadramento della direttrice Portuense*.
- Wardman, M. (1988). *A comparison of revealed preference and stated preference models of travel behavior*, Journal of transport economics and policy.

**Allegato A      I questionari somministrati all'utenza**

## ***Questionario per in dimensionamento della Navetta Automatica del Progetto CityMobil***

### **Descrizione del dimostrativo di Roma**

Stiamo conducendo alcune interviste per il progetto di ricerca CityMobil co-finanziato dalla Commissione Europea. Il progetto, a cui partecipano il Comune di Roma, ATAC ed IT “Ingegneria dei Trasporti” mira ad introdurre una navetta automatica per portare gli utenti in arrivo dal parcheggio agli ingressi della Fiera e viceversa dalla Fiera al parcheggio per gli utenti in uscita.

La navetta automatica consisterà in un autobus senza conducente che si muoverà su una corsia protetta. L’utente, una volta parcheggiata la sua macchina potrà raggiungere gli ingressi della Fiera utilizzando la navetta automatica. All’uscita dalla Fiera, viceversa, potrà utilizzare la navetta automatica per tornare alla fermata più prossima al parcheggio. Ovviamente l’utilizzo del sistema sarà compreso nel costo del posteggio.

Posso farle alcune domande su quali sono i fattori che la porterebbero ad utilizzare la navetta automatica?



**Sezione sulle informazioni socio-economiche**

**Ora** (per l'intervistatore):.....

**Data** (per l'intervistatore):.....

**Domanda 1 - Genere**

- Maschile;
- Femminile.

**Domanda 2 – Qual è la sua età?** (chiedere l'età precisa altrimenti riportare un range: per esempio tra i 40 e i 50)

- ..... anni;

**Domanda 3 – Qual è il suo livello di istruzione?**

- Elementari;
- Scuole media inferiori;
- Scuole medie superiori;
- Laurea di 1° livello;
- Laurea specialistica o vecchio ordinamento;

**Domanda 4 – Può dirmi da dove è partito per raggiungere la Fiera?**

- Indirizzo (se l'origine è localizzata nel Comune di Roma)

.....  
.....

- Nome del Comune (se l'origine è localizzata fuori dal Comune di Roma):

.....  
.....

**Domanda 5 - Ricorda indicativamente a che ora è partito per raggiungere la Fiera?**

- Ora di partenza .....;

**Domanda 6 - Ricorda indicativamente a che ora è partito per raggiungere la Fiera?**

, da dove per raggiungere la Fiera di Roma ed a che ora è arrivato? Può indicare anche la Piazza o la Via principale più prossima al punto di partenza.

*Per l'intervistatore - se fuori Roma indicare solo il comune altrimenti farsi indicare la via o la piazza ed il relativo numero civico. Se l'intervistato non vuole indicare con esattezza l'origine del suo spostamento farsi indicare la via o la piazza principale più prossima all'origine dello spostamento.*

- Ora di arrivo .....;

**Domanda 4 – Professione:**

- Imprenditore;
- Professionista;
- Dirigente di azienda;
- Manager;
- Rappresentante di commercio;
- Impiegato nel settore pubblico;
- Impiegato nel settore privato;
- Operaio;
- Casalinga/o;
- Studente;
- Pensionato;
- Disoccupato;
- Altro, Specificare:.....  
.....

**Domanda 5 – Può indicarmi approssimativamente il suo livello di reddito:**

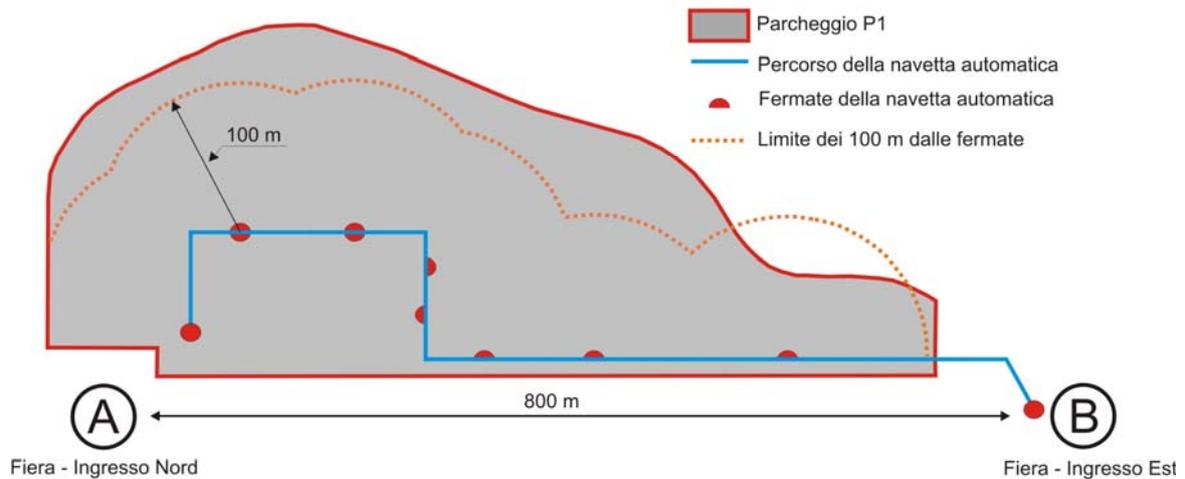
*Per l'intervistatore – leggere alcuni dei range disponibili.*

- Meno di 20.000 Euro;
- Fra 20.000 e 29.999 Euro;
- Fra 30.000 e 39.999 Euro;
- Fra 40.000 e 49.999 Euro;
- Fra 50.000 e 59.999 Euro;
- Fra 60.000 e 69.999 Euro;
- Fra 70.000 e 79.999 Euro;
- Fra 80.000 e 89.999 Euro;
- Oltre 90.000 Euro;

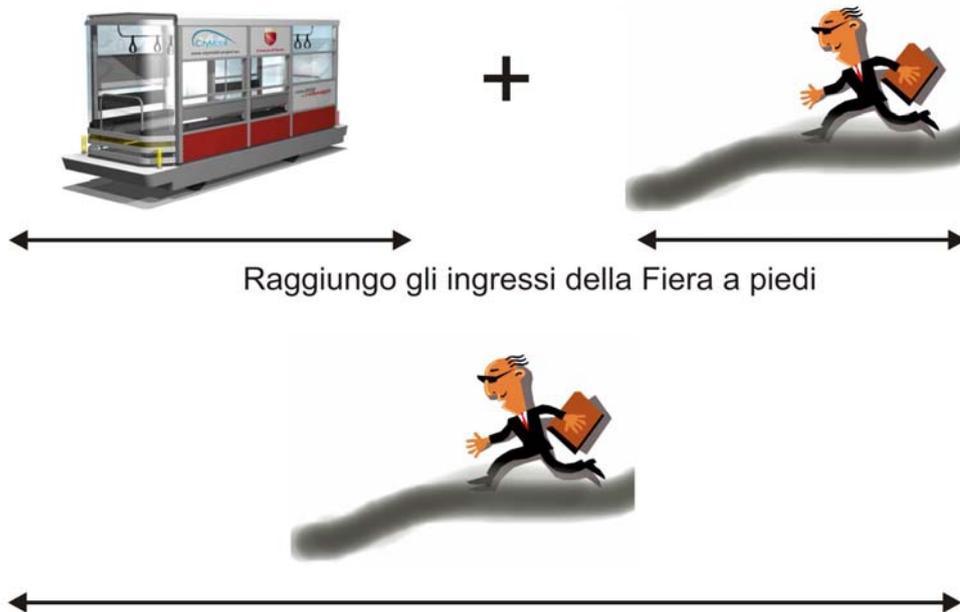
## Sezione sulle preferenze dichiarate

Immagini, ora, di aver parcheggiato la sua macchina e di dover scegliere se, per raggiungere l'ingresso della Fiera di Roma, utilizzare la navetta automatica prima descritta oppure andare a piedi. Queste due opzioni le verranno proposte variando diversi fattori come: la distanza a piedi da percorrere, i tempi di attesa alle fermate e a bordo della navetta automatica, il comfort durante il viaggio le condizioni climatiche e di luce.

### Percorso della navetta automatica nel parcheggio P1 della Fiera

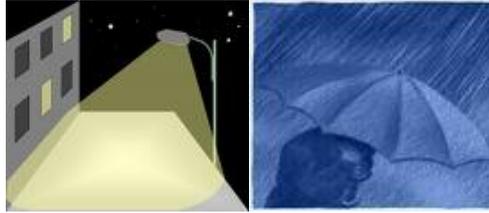


### Utilizzo la navetta automatica per raggiungere gli ingressi della Fiera



## SCENARIO 1

*E' notte, il parcheggio è illuminato dai lampioni e piove*



### Percorso a piedi

La distanza per raggiungere l'ingresso è di **800 metri** e poco più di **13 minuti** a piedi.



### Utilizzo della navetta automatica

La distanza dalla fermata è pari a **20 metri** e meno di un **1 minuto** a piedi



Il tempo di attesa alla fermata è di **2 minuti**



Il tempo di viaggio a bordo è di **3 minuti**



Ogni passeggero ha il suo posto a sedere

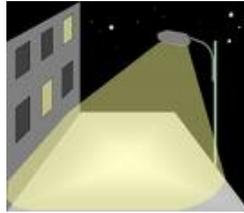


Raggiungo a piedi l'ingresso della Fiera

Raggiungo l'ingresso della Fiera con la navetta automatica

## SCENARIO 2

*E' notte, il parcheggio è illuminato dai lampioni e non piove*



### Percorso a piedi

La distanza per raggiungere l'ingresso è di **800 metri** e poco più di **13 minuti** a piedi.



### Utilizzo della navetta automatica

La distanza dalla fermata è pari a **150 metri** e meno di un **2,5 minuti** a piedi



Il tempo di attesa alla fermata è di **5 minuti**



Il tempo di viaggio a bordo è di **3 minuti**



Ogni passeggero ha il suo posto a sedere



Raggiungo a piedi l'ingresso della Fiera

Raggiungo l'ingresso della Fiera con la navetta automatica

### SCENARIO 3

*E' notte, il parcheggio è illuminato dai lampioni e non piove*



#### Percorso a piedi

La distanza per raggiungere l'ingresso è di **800 metri** e poco più di **13 minuti** a piedi.



#### Utilizzo della navetta automatica

La distanza dalla fermata è pari a **20 metri** e meno di un **1 minuto** a piedi



Il tempo di attesa alla fermata è di **2 minuti**



Il tempo di viaggio a bordo è di **10 minuti**



**Il posto a sedere non è garantito** a tutti i passeggeri

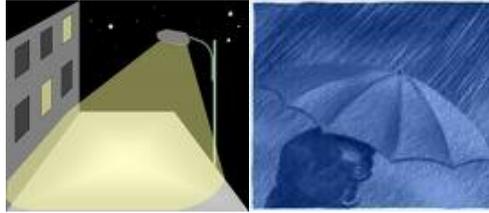


Raggiungo a piedi l'ingresso della Fiera

Raggiungo l'ingresso della Fiera con la navetta automatica

## SCENARIO 4

*E' notte, il parcheggio è illuminato dai lampioni e piove*



### Percorso a piedi

La distanza per raggiungere l'ingresso è di **800 metri** e poco più di **13 minuti** a piedi.



### Utilizzo della navetta automatica

La distanza dalla fermata è pari a **150 metri** e meno di un **2,5 minuti** a piedi



Il tempo di attesa alla fermata è di **5 minuti**



Il tempo di viaggio a bordo è di **10 minuti**



**Il posto a sedere non è garantito** a tutti i passeggeri



Raggiungo a piedi l'ingresso della Fiera

Raggiungo l'ingresso della Fiera con la navetta automatica

**Grazie per la disponibilità**

**Allegato B I modelli ML calibrati, script e risultati**

**Modello Mixed Logit con  $ASA_{CTS}$  parametro stocastico correlato all'attributo sesso con distribuzione normale**

Script NLOGIT 3.0

Calc;ran(12345)\$

NLOGIT

```

; Lhs = choice,cset,alti
; Choices = 1, 2, 3, 4
; Halton
; rpl
; fcn=ASACTS(n), ASACTS1(n)
; pts=100
; Show model
; Model:

```

$U(1)=\beta_1 * D_{piedi} /$

$U(2)=\beta_2 * Luce + \beta_3 * Clima + \beta_7 * Confort + ASA_{CTS} + ASA_{CTS1} * Gender /$

$U(3)=\beta_1 * D_{piedi} /$

$U(4)=\beta_2 * Luce + \beta_3 * Clima + \beta_7 * Confort + ASAMIN \$$

	Parametro	Significatività
<b>Parametri non aleatori</b>		
$\beta_1$ (piedi)	-0.00152239	-5.711
$\beta_2$ (Luce)	-0.43749402	-4.247
$\beta_3$ (Clima)	-1.24200629	-9.148
$\beta_7$ (Comfort)	0.27478519	2.606
$ASA_{MINI}$	0.26410291	1.727
<b>Parametro stocastico</b>		
$ASA_{CTS}$	0.82805183	4.941
$ASA_{1CTS}$	0.00927330	.050
$\sigma_{CTS}$	0.39515424	.478
	$\rho^2=0.56656$	$\rho^2_{adj}=0.56473$

**Modello Mixed Logit con  $ASA_{CTS}$  parametro stocastico correlato all'attributo sesso con distribuzione uniforme**

Script NLOGIT 3.0

Calc;ran(12345)\$

NLOGIT

```

; Lhs = choice,cset,alti
; Choices = 1, 2, 3, 4
; Halton
; rpl
; fcn=ASACTS(u), ASACTS1(u)
; pts=100
; Show model
; Model:

```

$U(1)=\beta_1 * D_{piedi} /$

$U(2)=\beta_2 * Luce + \beta_3 * Clima + \beta_7 * Confort + ASACTS + ASACTS1 * Gender /$

$U(3)=\beta_1 * D_{piedi} /$

$U(4)=\beta_2 * Luce + \beta_3 * Clima + \beta_7 * Confort + ASAMIN \$$

	Parametro	Significatività
<b>Parametri non aleatori</b>		
$\beta_1$ (piedi)	-0.00150985	-5.751
$\beta_2$ (Luce)	-0.43755021	-4.272
$\beta_3$ (Clima)	-1.23509018	-9.241
$\beta_7$ (Confort)	0.27298656	2.603
$ASA_{MINI}$	0.26708713	1.758
<b>Parametro stocastico</b>		
$ASA_{CTS}$	0.82395524	4.976
$ASA_{1CTS}$	0.00230391	0.013
$\sigma_{CTS}$	0.56222643	0.351
	$\rho^2=0.56655$	$\rho^2_{adj}=0.56473$

**Modello Mixed Logit con  $ASA_{CTS}$  parametro stocastico correlato all'attributo sesso con distribuzione triangolare**

Script NLOGIT 3.0

Calc;ran(12345)\$

NLOGIT

```

; Lhs = choice,cset,alti
; Choices = 1, 2, 3, 4
; Halton
; rpl
; fcn=ASACTS(t), ASACTS1(t)
; pts=100
; Show model
; Model:

```

$U(1)=\beta_1 * D_{piedi} /$

$U(2)=\beta_2 * Luce + \beta_3 * Clima + \beta_7 * Confort + ASACTS + ASACTS1 * Gender /$

$U(3)=\beta_1 * D_{piedi} /$

$U(4)=\beta_2 * Luce + \beta_3 * Clima + \beta_7 * Confort + ASAMIN \$$

	Parametro	Significatività
<b>Parametri non aleatori</b>		
$\beta_1$ (piedi)	-.00151648	-5.757
$\beta_2$ (Luce)	-.43754335	-4.259
$\beta_3$ (Clima)	-1.23874343	-9.239
$\beta_7$ (Confort)	.27405599	2.605
$ASA_{MINI}$	.26546230	1.742
<b>Parametro stocastico</b>		
$ASA_{CTS}$	.82608314	4.965
$ASA_{1CTS}$	.00597208	.033
$\sigma_{CTS}$	.88899870	.426
	$\rho^2=0.56656$	$\rho^2_{adj}=0.56473$

**Modello Mixed Logit con  $ASA_{CTS}$  parametro stocastico correlato all'attributo livello di istruzione con distribuzione normale**

Script NLOGIT 3.0

Calc;ran(12345)\$

NLOGIT

```

; Lhs = choice,cset,alti
; Choices = 1, 2, 3, 4
; Halton
; rpl
; fcn=ASACTS(n), ASACTS1(n)
; pts=100
; Show model
; Model:

```

$U(1)=\text{Beta1} \cdot \text{Dpiedi} /$

$U(2)=\text{Beta2} \cdot \text{Luce} + \text{Beta3} \cdot \text{Clima} + \text{Beta7} \cdot \text{Confort} + \text{ASACTS} + \text{ASACTS1} \cdot \text{Edu} /$

$U(3)=\text{Beta1} \cdot \text{Dpiedi} /$

$U(4)=\text{Beta2} \cdot \text{Luce} + \text{Beta3} \cdot \text{Clima} + \text{Beta7} \cdot \text{Confort} + \text{ASAMIN} \$$

	Parametro	Significatività
<b>Parametri non aleatori</b>		
$\beta_1$ (piedi)	-0.00157002	-6.283
$\beta_2$ (Luce)	-0.43566162	-4.128
$\beta_3$ (Clima)	-1.27393318	-9.978
$\beta_7$ (Confort)	0.28049904	2.635
$ASA_{MINI}$	0.25552784	1.673
<b>Parametro stocastico</b>		
$ASA_{CTS}$	1.31487622	3.840
$ASA_{1CTS}$	-0.12905900	-1.446
$\sigma_{CTS}$	0.18659804	1.222
	$\rho^2=0.56727$	$\rho^2_{adj}=0.56545$

**Modello Mixed Logit con  $ASA_{CTS}$  parametro stocastico correlato all'attributo livello di istruzione con distribuzione uniforme**

Script NLOGIT 3.0

Calc;ran(12345)\$

NLOGIT

```

; Lhs = choice,cset,alti
; Choices = 1, 2, 3, 4
; Halton
; rpl
; fcn=ASACTS(u), ASACTS1(u)
; pts=100
; Show model
; Model:

```

$U(1)=\text{Beta1} \cdot \text{Dpiedi} /$

$U(2)=\text{Beta2} \cdot \text{Luce} + \text{Beta3} \cdot \text{Clima} + \text{Beta7} \cdot \text{Confort} + \text{ASACTS} + \text{ASACTS1} \cdot \text{Edu} /$

$U(3)=\text{Beta1} \cdot \text{Dpiedi} /$

$U(4)=\text{Beta2} \cdot \text{Luce} + \text{Beta3} \cdot \text{Clima} + \text{Beta7} \cdot \text{Confort} + \text{ASAMIN} \$$

	Parametro	Significatività
<b>Parametri non aleatori</b>		
$\beta_1$ (piedi)	-0.00155980	-6.349
$\beta_2$ (Luce)	-0.43572590	-4.146
$\beta_3$ (Clima)	-1.26815188	-10.062
$\beta_7$ (Confort)	0.27955741	2.638
$ASA_{MINI}$	0.25762755	1.696
<b>Parametro stocastico</b>		
$ASA_{CTS}$	1.31235268	3.865
$ASA_{1CTS}$	-.12983188	-1.462
$\sigma_{CTS}$	0.29743201	1.185
	$\rho^2=0.56724$	$\rho^2_{adj}=0.56541$

**Modello Mixed Logit con  $ASA_{CTS}$  parametro stocastico correlato all'attributo livello di istruzione con distribuzione triangolare**

Script NLOGIT 3.0

Calc;ran(12345)\$

NLOGIT

```

; Lhs = choice,cset,alti
; Choices = 1, 2, 3, 4
; Halton
; rpl
; fcn=ASACTS(t), ASACTS1(t)
; pts=100
; Show model
; Model:

```

$U(1)=\text{Beta1} \cdot \text{Dpiedi} /$

$U(2)=\text{Beta2} \cdot \text{Luce} + \text{Beta3} \cdot \text{Clima} + \text{Beta7} \cdot \text{Confort} + \text{ASACTS} + \text{ASACTS1} \cdot \text{Edu} /$

$U(3)=\text{Beta1} \cdot \text{Dpiedi} /$

$U(4)=\text{Beta2} \cdot \text{Luce} + \text{Beta3} \cdot \text{Clima} + \text{Beta7} \cdot \text{Confort} + \text{ASAMIN} \$$

	Parametro	Significatività
<b>Parametri non aleatori</b>		
$\beta_1$ (piedi)	-0.00156636	-6.307
$\beta_2$ (Luce)	-0.43567591	-4.134
$\beta_3$ (Clima)	-1.27184855	-10.006
$\beta_7$ (Confort)	0.28025911	2.637
$ASA_{MINI}$	0.25622004	1.681
<b>Parametro stocastico</b>		
$ASA_{CTS}$	1.31378615	3.849
$ASA_{1CTS}$	-.12928551	-1.450
$\sigma_{CTS}$	0.44302248	1.216
	$\rho^2=0.56726$	$\rho^2_{adj}=0.56543$

**Modello Mixed Logit con  $ASA_{CTS}$  parametro stocastico correlato all'attributo età espresso come variabile binaria con distribuzione normale**

Script NLOGIT 3.0

Calc;ran(12345)\$

NLOGIT

```

; Lhs = choice,cset,alti
; Choices = 1, 2, 3, 4
; Halton
; rpl
; fcn=ASACTS(n), ASACTS1(n)
; pts=100
; Show model
; Model:

```

$U(1)=\beta_1 * D_{piedi} /$

$U(2)=\beta_2 * Luce + \beta_3 * Clima + \beta_7 * Confort + ASACTS + ASACTS1 * Age /$

$U(3)=\beta_1 * D_{piedi} /$

$U(4)=\beta_2 * Luce + \beta_3 * Clima + \beta_7 * Confort + ASAMIN \$$

	Parametro	Significatività
<b>Parametri non aleatori</b>		
$\beta_1$ (piedi)	-0.00165573	-6.044
$\beta_2$ (Luce)	-0.43167995	-3.945
$\beta_3$ (Clima)	-1.31336140	-9.954
$\beta_7$ (Confort)	0.29085124	2.642
$ASA_{MINI}$	0.23012429	1.429
<b>Parametro stocastico</b>		
$ASA_{CTS}$	0.72291046	3.990
$ASA_{1CTS}$	0.37185629	1.791
$\sigma_{CTS}$	0.83589657	1.903
	$\rho^2=0.56738$	$\rho^2_{adj}=0.56555$

**Modello Mixed Logit con  $ASA_{CTS}$  parametro stocastico correlato all'attributo età espresso come variabile binaria con distribuzione uniforme**

Script NLOGIT 3.0

Calc;ran(12345)\$

NLOGIT

```

; Lhs = choice,cset,alti
; Choices = 1, 2, 3, 4
; Halton
; rpl
; fcn=ASACTS(u), ASACTS1(u)
; pts=100
; Show model
; Model:

```

$U(1)=\text{Beta1} \cdot \text{Dpiedi} /$

$U(2)=\text{Beta2} \cdot \text{Luce} + \text{Beta3} \cdot \text{Clima} + \text{Beta7} \cdot \text{Confort} + \text{ASACTS} + \text{ASACTS1} \cdot \text{Age} /$

$U(3)=\text{Beta1} \cdot \text{Dpiedi} /$

$U(4)=\text{Beta2} \cdot \text{Luce} + \text{Beta3} \cdot \text{Clima} + \text{Beta7} \cdot \text{Confort} + \text{ASAMIN} \$$

	Parametro	Significatività
<b>Parametri non aleatori</b>		
$\beta_1$ (piedi)	-0.00163263	-5.951
$\beta_2$ (Luce)	-0.43287291	-3.991
$\beta_3$ (Clima)	-1.30215884	-9.809
$\beta_7$ (Confort)	0.28873085	2.639
$ASA_{MINI}$	0.23638629	1.476
<b>Parametro stocastico</b>		
$ASA_{CTS}$	0.71934384	4.001
$ASA_{1CTS}$	0.35600030	1.740
$\sigma_{CTS}$	1.31924606	1.717
	$\rho^2=0.56729$	$\rho^2_{adj}=0.56547$

**Modello Mixed Logit con  $ASA_{CTS}$  parametro stocastico correlato all'attributo età espresso come variabile binaria con distribuzione triangolare**

Script NLOGIT 3.0

Calc;ran(12345)\$

NLOGIT

```

; Lhs = choice,cset,alti
; Choices = 1, 2, 3, 4
; Halton
; rpl
; fcn=ASACTS(t), ASACTS1(t)
; pts=100
; Show model
; Model:

```

$U(1)=\beta_1 * D_{piedi} /$

$U(2)=\beta_2 * Luce + \beta_3 * Clima + \beta_7 * Confort + ASACTS + ASACTS1 * Age /$

$U(3)=\beta_1 * D_{piedi} /$

$U(4)=\beta_2 * Luce + \beta_3 * Clima + \beta_7 * Confort + ASAMIN \$$

	Parametro	Significatività
<b>Parametri non aleatori</b>		
$\beta_1$ (piedi)	-0.00146684	-6.764
$\beta_2$ (Luce)	-0.43551552	-4.257
$\beta_3$ (Clima)	-1.22144908	-11.183
$\beta_7$ (Confort)	0.26895882	2.624
$ASA_{MINI}$	0.28046949	1.946
<b>Parametro stocastico</b>		
$ASA_{CTS}$	0.69189461	4.138
$ASA_{1CTS}$	0.24742467	1.618
$\sigma_{CTS}$	0.05807409	.006
	$\rho^2=0.56709$	$\rho^2_{adj}=0.56526$

**Modello Mixed Logit con  $ASA_{CTS}$  parametro stocastico correlato all'attributo età espresso come variabile continua con distribuzione normale**

Script NLOGIT 3.0

Calc;ran(12345)\$

NLOGIT

```

; Lhs = choice,cset,alti
; Choices = 1, 2, 3, 4
; Halton
; rpl
; fcn=ASACTS(n), ASACTS1(n)
; pts=100
; Show model
; Model:

```

$U(1)=\beta_1 * D_{piedi} /$

$U(2)=\beta_2 * Luce + \beta_3 * Clima + \beta_7 * Confort + ASACTS + ASACTS1 * Age /$

$U(3)=\beta_1 * D_{piedi} /$

$U(4)=\beta_2 * Luce + \beta_3 * Clima + \beta_7 * Confort + ASAMIN \$$

	Parametro	Significatività
<b>Parametri non aleatori</b>		
$\beta_1$ (piedi)	-0.00165126	-6.778
$\beta_2$ (Luce)	-0.42931534	-4.001
$\beta_3$ (Clima)	-1.29136981	-11.218
$\beta_7$ (Confort)	0.28397687	2.649
$ASA_{MINI}$	0.22254507	1.428
<b>Parametro stocastico</b>		
$ASA_{CTS}$	0.45623391	2.074
$ASA_{1CTS}$	0.02113248	2.087
$\sigma_{CTS}$	0.04016553	2.362
	$\rho^2=0.56784$	$\rho^2_{adj}=0.56602$

**Modello Mixed Logit con  $ASA_{CTS}$  parametro stocastico correlato all'attributo età espresso come variabile continua con distribuzione uniforme**

Script NLOGIT 3.0

Calc;ran(12345)\$

NLOGIT

```

; Lhs = choice,cset,alti
; Choices = 1, 2, 3, 4
; Halton
; rpl
; fcn=ASACTS(u), ASACTS1(u)
; pts=100
; Show model
; Model:

```

$U(1)=\text{Beta1} \cdot \text{Dpiedi} /$

$U(2)=\text{Beta2} \cdot \text{Luce} + \text{Beta3} \cdot \text{Clima} + \text{Beta7} \cdot \text{Confort} + \text{ASACTS} + \text{ASACTS1} \cdot \text{Age} /$

$U(3)=\text{Beta1} \cdot \text{Dpiedi} /$

$U(4)=\text{Beta2} \cdot \text{Luce} + \text{Beta3} \cdot \text{Clima} + \text{Beta7} \cdot \text{Confort} + \text{ASAMIN} \$$

	Parametro	Significatività
<b>Parametri non aleatori</b>		
$\beta_1$ (piedi)	-0.00165025	-6.859
$\beta_2$ (Luce)	-0.42938709	-4.006
$\beta_3$ (Clima)	-1.28917391	-11.332
$\beta_7$ (Confort)	0.28485620	2.660
$ASA_{MINI}$	0.22143431	1.425
<b>Parametro stocastico</b>		
$ASA_{CTS}$	0.45273444	2.054
$ASA_{1CTS}$	0.02132033	2.086
$\sigma_{CTS}$	0.06693785	2.667
	$\rho^2=0.56786$	$\rho^2_{adj}=0.56604$

**Modello Mixed Logit con  $ASA_{CTS}$  parametro stocastico correlato all'attributo età espresso come variabile continua con distribuzione triangolare**

Script NLOGIT 3.0

Calc;ran(12345)\$

NLOGIT

```

; Lhs = choice,cset,alti
; Choices = 1, 2, 3, 4
; Halton
; rpl
; fcn=ASACTS(t), ASACTS1(t)
; pts=100
; Show model
; Model:

```

$U(1)=\beta_1 * D_{piedi} /$

$U(2)=\beta_2 * Luce + \beta_3 * Clima + \beta_7 * Confort + ASACTS + ASACTS1 * Age /$

$U(3)=\beta_1 * D_{piedi} /$

$U(4)=\beta_2 * Luce + \beta_3 * Clima + \beta_7 * Confort + ASAMIN \$$

	Parametro	Significatività
<b>Parametri non aleatori</b>		
$\beta_1$ (piedi)	-0.00165120	-6.813
$\beta_2$ (Luce)	-0.42918176	-4.001
$\beta_3$ (Clima)	-1.29060190	-11.263
$\beta_7$ (Confort)	0.28432120	2.653
$ASA_{MINI}$	0.22192118	1.425
<b>Parametro stocastico</b>		
$ASA_{CTS}$	0.45362400	2.059
$ASA_{1CTS}$	0.02126340	2.094
$\sigma_{CTS}$	0.09658586	2.496
	$\rho^2=0.56785$	$\rho^2_{adj}=0.56603$

**Modello Mixed Logit con  $ASA_{CTS}$  e  $ASA_{MINI}$  parametri stocastici correlati all'attributo età espresso come variabile binaria con distribuzione normale**

Script NLOGIT 3.0

Calc;ran(12345)\$

NLOGIT

; Lhs = choice,cset,alti

; Choices = 1, 2, 3, 4

; Halton

; rpl

; fcn=ASACTS(n), ASACTS1(n), ASAMIN(n), ASAMIN1(n)

; pts=100

; Show model

; Model:

U(1)=Beta1\*Dpiedi /

U(2)=Beta2\*Luce+Beta3\*Clima+Beta7\*Confort+ASACTS+ASACTS1\*Age /

U(3)=Beta1\*Dpiedi/

U(4)=Beta2\*Luce+Beta3\*Clima+Beta7\*Confort+ ASAMIN+ASAMIN1\*Age \$

	Parametro	Significatività
<b>Parametri deterministici</b>		
	$\beta_1$ (piedi)	-0.00265472 -1.398
	$\beta_2$ (Luce)	-0.67438434 -1.298
	$\beta_3$ (Clima)	-2.07698263 -1.413
	$\beta_7$ (Confort)	0.45806933 0.950
<b>Parametri stocastici</b>		
	$ASA_{CTS}$	1.06918930 1.411
	$ASA1_{CTS}$	0.79798568 0.950
	$\sigma_{CTS}$	2.20086044 0.964
	$ASA_{MINI}$	0.18242413 0.598
	$ASA1_{MINI}$	0.37303568 0.882
	$\sigma_{MINI}$	1.62244255 0.790
$\rho^2=0.56802$		$\rho^2_{adj}=0.56574$

**Modello Mixed Logit con  $ASA_{CTS}$  e  $ASA_{MINI}$  parametri stocastici correlati all'attributo età espresso come variabile binaria con distribuzione uniforme**

Script NLOGIT 3.0

Calc;ran(12345)\$

NLOGIT

; Lhs = choice,cset,alti

; Choices = 1, 2, 3, 4

; Halton

; rpl

; fcn=ASACTS(u), ASACTS1(u), ASAMIN(u), ASAMIN1(u)

; pts=100

; Show model

; Model:

U(1)=Beta1\*Dpiedi /

U(2)=Beta2\*Luce+Beta3\*Clima+Beta7\*Confort+ASACTS+ASACTS1\*Age /

U(3)=Beta1\*Dpiedi/

U(4)=Beta2\*Luce+Beta3\*Clima+Beta7\*Confort+ ASAMIN+ASAMIN1\*Age \$

	Parametro	Significatività
<b>Parametri deterministici</b>		
$\beta_1$ (piedi)	-0.00234159	-1.847
$\beta_2$ (Luce)	-0.60028868	-1.729
$\beta_3$ (Clima)	-1.84705772	-1.878
$\beta_7$ (Confort)	0.40786595	1.563
<b>Parametri stocastici</b>		
$ASA_{CTS}$	0.97111461	1.780
$ASA1_{CTS}$	0.64185647	1.190
$\sigma_{CTS}$	2.96157508	1.166
$ASA_{MINI}$	0.17553518	0.671
$ASA1_{MINI}$	0.31516617	1.051
$\sigma_{MINI}$	2.14049110	0.945
$\rho^2=0.56793$		$\rho^2_{adj}=0.56565$

**Modello Mixed Logit con  $ASA_{CTS}$  e  $ASA_{MINI}$  parametri stocastici correlati all'attributo età espresso come variabile binaria con distribuzione triangolare**

Script NLOGIT 3.0

Calc;ran(12345)\$

NLOGIT

; Lhs = choice,cset,alti

; Choices = 1, 2, 3, 4

; Halton

; rpl

; fcn=ASACTS(t), ASACTS1(t), ASAMIN(t), ASAMIN1(t)

; pts=100

; Show model

; Model:

U(1)=Beta1\*Dpiedi /

U(2)=Beta2\*Luce+Beta3\*Clima+Beta7\*Confort+ASACTS+ASACTS1\*Age /

U(3)=Beta1\*Dpiedi/

U(4)=Beta2\*Luce+Beta3\*Clima+Beta7\*Confort+ ASAMIN+ASAMIN1\*Age \$

	Parametro	Significatività
<b>Parametri deterministici</b>		
	$\beta_1$ (piedi)	-0.00267694 -1.252
	$\beta_2$ (Luce)	-0.67754780 -1.209
	$\beta_3$ (Clima)	-2.09640817 -1.267
	$\beta_7$ (Confort)	0.46285531 1.152
<b>Parametri stocastici</b>		
	$ASA_{CTS}$	1.08280001 1.277
	$ASA1_{CTS}$	0.79603813 0.878
	$\sigma_{CTS}$	5.31007657 0.878
	$ASA_{MINI}$	0.18339555 0.595
	$ASA1_{MINI}$	0.37503752 0.829
	$\sigma_{MINI}$	3.91924014 0.740
$\rho^2=0.56800$		$\rho^2_{adj}=0.56572$

**Modello Mixed Logit con  $ASA_{CTS}$  e  $ASA_{MINI}$  parametri stocastici correlati all'attributo età espresso come variabile continua con distribuzione normale**

Script NLOGIT 3.0

Calc;ran(12345)\$

NLOGIT

; Lhs = choice,cset,alti

; Choices = 1, 2, 3, 4

; Halton

; rpl

; fcn=ASACTS(n), ASACTS1(n), ASAMIN(n), ASAMIN1(n)

; pts=100

; Show model

; Model:

U(1)=Beta1\*Dpiedi /

U(2)=Beta2\*Luce+Beta3\*Clima+Beta7\*Confort+ASACTS+ASACTS1\*Age /

U(3)=Beta1\*Dpiedi/

U(4)=Beta2\*Luce+Beta3\*Clima+Beta7\*Confort+ ASAMIN+ASAMIN1\*Age \$

	Parametro	Significatività
<b>Parametri deterministici</b>		
	$\beta_1$ (piedi)	-0.00166588 -6.766
	$\beta_2$ (Luce)	-0.43019598 -3.980
	$\beta_3$ (Clima)	-1.30018587 -11.192
	$\beta_7$ (Confort)	0.28741901 2.661
<b>Parametri stocastici</b>		
	$ASA_{CTS}$	0.44632652 2.013
	$ASA1_{CTS}$	0.02237536 2.145
	$\sigma_{CTS}$	0.04360649 2.512
	$ASA_{MINI}$	0.25812756 1.311
	$ASA1_{MINI}$	-0.00206283 -0.353
	$\sigma_{MINI}$	0.00081206 0.032
$\rho^2=0.56809$		$\rho^2_{adj}=0.56581$

**Modello Mixed Logit con  $ASA_{CTS}$  e  $ASA_{MINI}$  parametri stocastici correlati all'attributo età espresso come variabile continua con distribuzione uniforme**

Script NLOGIT 3.0

Calc;ran(12345)\$

NLOGIT

; Lhs = choice,cset,alti

; Choices = 1, 2, 3, 4

; Halton

; rpl

; fcn=ASACTS(u), ASACTS1(u), ASAMIN(u), ASAMIN1(u)

; pts=100

; Show model

; Model:

$U(1)=\beta_1 * D_{piedi} /$

$U(2)=\beta_2 * Luce + \beta_3 * Clima + \beta_7 * Confort + ASACTS + ASACTS1 * Age /$

$U(3)=\beta_1 * D_{piedi} /$

$U(4)=\beta_2 * Luce + \beta_3 * Clima + \beta_7 * Confort + ASAMIN + ASAMIN1 * Age \$$

	Parametro	Significatività
<b>Parametri deterministici</b>		
$\beta_1$ (piedi)	-0.00165419	-6.849
$\beta_2$ (Luce)	-0.43010061	-3.998
$\beta_3$ (Clima)	-1.29362903	-11.331
$\beta_7$ (Confort)	0.28608364	2.662
<b>Parametri stocastici</b>		
$ASA_{CTS}$	0.44890858	2.029
$ASA1_{CTS}$	0.02194531	2.120
$\sigma_{CTS}$	0.06944405	2.774
$ASA_{MINI}$	0.26089647	1.332
$ASA1_{MINI}$	-0.00207936	-3.356
$\sigma_{MINI}$	0.00133246	0.029
$\rho^2=0.56804$		$\rho^2_{adj}=0.56576$

**Modello Mixed Logit con  $ASA_{CTS}$  e  $ASA_{MINI}$  parametri stocastici correlati all'attributo età espresso come variabile continua con distribuzione triangolare**

Script NLOGIT 3.0

Calc;ran(12345)\$

NLOGIT

; Lhs = choice,cset,alti

; Choices = 1, 2, 3, 4

; Halton

; rpl

; fcn=ASACTS(t), ASACTS1(t), ASAMIN(t), ASAMIN1(t)

; pts=100

; Show model

; Model:

U(1)=Beta1\*Dpiedi /

U(2)=Beta2\*Luce+Beta3\*Clima+Beta7\*Confort+ASACTS+ASACTS1\*Age /

U(3)=Beta1\*Dpiedi/

U(4)=Beta2\*Luce+Beta3\*Clima+Beta7\*Confort+ ASAMIN+ASAMIN1\*Age \$

	Parametro	Significatività
<b>Parametri deterministici</b>		
	$\beta_1$ (piedi)	-0.00165939 -6.800
	$\beta_2$ (Luce)	-0.43010104 -3.989
	$\beta_3$ (Clima)	1.29684547 -11.250
	$\beta_7$ (Confort)	0.28649230 2.660
<b>Parametri stocastici</b>		
	$ASA_{CTS}$	0.44737476 2.019
	$ASA1_{CTS}$	0.02213420 2.136
	$\sigma_{CTS}$	0.10208832 2.606
	$ASA_{MINI}$	0.25989687 1.324
	$ASA1_{MINI}$	-0.00207235 -0.355
	$\sigma_{MINI}$	0.00177242 0.027
$\rho^2=0.56806$		$\rho^2_{adj}=.56578$