



Ricerca di Sistema elettrico

Deliverable 2: Scenari di elettrificazione della distribuzione urbana delle merci a Roma – Il fabbisogno energetico

*G. Fusco, A. Alessandrini, A. Campagna,
C. Colombaroni, F. Giubilei, G.
Iazeolla, B. Kocoglu*



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

DELIVERABLE 2: SCENARI DI ELETTRIFICAZIONE DELLA DISTRIBUZIONE URBANA DELLE MERCI A ROMA – IL FABBISOGNO ENERGETICO

G. Fusco, A. Alessandrini, A. Campagna, C. Colombaroni, F. Giubilei, G. Iazeolla, B. Kocoglu
(Università di Roma La Sapienza, Centro di Ricerca per il Trasporto e la Logistica - CTL)

Settembre 2013

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2012

Area: Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia elettrica

Progetto: Prodotti per il miglioramento dell'efficienza energetica nell'elettromobilità

Obiettivo: Interazioni mobilità elettrica/reti intelligenti

Responsabile del Progetto: Antonino Genovese, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione *"Stima del fabbisogno energetico conseguente all'introduzione di flotte di veicoli elettrici per il trasporto pubblico e la distribuzione delle merci in campo urbano"*

Responsabile scientifico ENEA: Maria Pia Valentini

Responsabile scientifico CTL: Gaetano Fusco



Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE	5
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI	6
2.1 DESCRIZIONE DELL'AREA DI STUDIO	6
2.2 LA DISTRIBUZIONE DELLE MERCI ED IL TRAFFICO ATTUALE	7
2.3 ANALISI DELLA DOMANDA	9
2.4 PROCEDURA DI SIMULAZIONE	14
2.4.1 <i>Vehicle Routing</i>	14
2.4.2 <i>Stima dei consumi energetici</i>	14
2.5 DEFINIZIONE DEGLI SCENARI DI PROGETTO	15
2.6 SCENARIO A	16
2.6.1 <i>Costruzione dello scenario A di riferimento</i>	16
2.6.2 <i>Stima dei consumi elettrici</i>	18
2.6.3 <i>Risultati e analisi di sensibilità – scenario A</i>	21
2.7 SCENARIO B	24
2.7.1 <i>Costruzione dello scenario B di riferimento</i>	24
2.7.2 <i>Stima dei consumi elettrici</i>	25
2.7.3 <i>Risultati e analisi di sensibilità – scenario B</i>	29
2.8 CONFRONTO TRA GLI SCENARI	31
3 CONCLUSIONI.....	33
4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	34
5 CURRICULUM SCIENTIFICO DEL GRUPPO DI LAVORO.....	35

Sommario

Il presente lavoro, svolto nell'ambito dell'Accordo di collaborazione "Stima del fabbisogno energetico conseguente all'introduzione di flotte di veicoli elettrici per il trasporto pubblico e la distribuzione delle merci in campo urbano" tra l'ENEA ed il Centro di ricerca per il Trasporto e la Logistica dell'Università di Roma La Sapienza, ha per oggetto lo studio del fabbisogno energetico conseguente all'introduzione di un servizio di distribuzione logistica urbana mediante una flotta di veicoli elettrici a batteria. Gli aspetti metodologici relativi al calcolo dei consumi energetici per differenti tipologie di veicoli commerciali sono stati sviluppati e descritti nel Deliverable 1 dello stesso accordo e sono solo richiamati in questa sede.

Il presente Deliverable 2 si concentra sul caso di studio, in cui viene dimensionato e simulato un sistema di distribuzione delle merci nel Tridente del Centro storico di Roma. Per simulare uno scenario realistico di realizzazione del sistema nel breve periodo, si è immaginato di introdurre il sistema di distribuzione per la sola categoria degli esercizi della ristorazione, che attualmente sono destinatari di circa 450t di merce al giorno, ipotizzando un'adesione al servizio da parte del 60% degli esercenti.

Al fine di ottenere un quadro di riferimento del fabbisogno elettrico abbastanza ampio e non limitato esclusivamente alla distribuzione di prossimità, che nei Centri storici viene effettuata tipicamente con veicoli di piccole dimensioni, sono stati analizzati due differenti scenari alternativi: uno scenario A, in cui la distribuzione avviene con veicoli elettrici di medie dimensioni, aventi una portata di 7t, a partire da tre depositi alla periferia dell'area urbana, ed uno scenario B, in cui si prevede la realizzazione di 10 transit point in prossimità della zona a traffico limitato, a servizio della distribuzione effettuata con veicoli di dimensioni medio-piccole, aventi portata di 3,5t. Lo scenario B ha una maggiore valenza trasportistica, mentre lo scenario A serve ad ottenere una stima del fabbisogno energetico nel caso di realizzazione di un sistema di distribuzione su scala urbana ampia.

I risultati ottenuti evidenziano come la realizzazione di uno schema di distribuzione nell'ultimo miglio con transit point di prossimità (scenario B) consenta di servire, nel Centro storico di Roma, circa 140 esercizi della ristorazione su un'area di circa 1,7 km² con la distribuzione a destinazione di circa 140 tonnellate di merce entro un tempo di circa 4 ore, utilizzando una flotta di 19 veicoli elettrici della portata di 3,5 tonnellate, che compiono 94 giri, percorrendo complessivamente circa 240 km. Il consumo elettrico complessivo in tale scenario è di circa 137 kWh/giorno. Ogni veicolo percorre mediamente 12,7 km al giorno e consuma in media circa 7 kWh, valori ampiamente compatibili con l'autonomia delle batterie, per le quali si può assumere la ricarica notturna.

Nello scenario A, che prevede la realizzazione di 3 depositi periferici, la stessa domanda e la stessa area vengono servite con veicoli aventi portata di 7 t, con un minor numero di giri, pari a 23, ma con percorrenze comunque maggiori, di circa 1.100 veic-km. Il consumo energetico complessivo in questo scenario è di circa 1.200 kWh. Ogni veicolo copre in media circa 47 km nelle 5:43' ore di servizio e consuma circa 52 kWh/giorno. Il pacco batterie dovrà essere dimensionato opportunamente, per consentire lo svolgimento del servizio senza ricarica in punti localizzati nell'area di consegna o nel ritorno al deposito.

L'analisi di sensibilità al variare della domanda ha evidenziato come, ferme restando la struttura spaziale della domanda e la struttura dell'offerta (numero di depositi e tipo di veicolo), le variabili che risentono maggiormente del fattore di scala sono il numero di veicoli, il numero di giri ed il coefficiente di utilizzazione temporale dei veicoli, mentre i consumi specifici, dipendendo dalla tipologia di veicolo, rimangono pressoché invariati in ciascuno scenario.

1 Introduzione

La ricerca, svolta nell'ambito di un accordo di collaborazione tra l'ENEA ed il Centro di Ricerca per il Trasporto e la Logistica dell'Università degli Studi di Roma "La Sapienza", ha l'obiettivo di inquadrare i principali aspetti metodologici e tecnico-economici che incidono sulla fattibilità dell'introduzione di veicoli elettrici nel sistema di trasporto collettivo stradale di passeggeri e merci, tenendo conto sia degli elementi prettamente trasportistici di efficiente organizzazione del servizio e di efficace soddisfacimento della domanda, sia degli aspetti di approvvigionamento dell'energia elettrica. Per assicurare un adeguato livello di realismo, la ricerca è stata articolata su due casi di studio pratici, relativi rispettivamente alla rete di trasporto pubblico ed alla distribuzione urbana delle merci in particolari aree della città di Roma, opportunamente scelte in funzione della rappresentatività e della percorribilità delle prospettive realizzative.

Il presente deliverable descrive lo studio del problema di progettazione della distribuzione delle merci nell'ultimo miglio mediante veicoli elettrici.

La problematica della distribuzione delle merci nelle aree urbane ed in particolare nelle aree centrali delle metropoli è oggetto di studio da diverso tempo ed ha dato luogo ad una intensa letteratura tecnico-scientifica. Per un quadro aggiornato dello stato dell'arte si può far riferimento ai più recenti lavori di Allen et al. [1], Comi et al. [2], Delle Site et al. [3], mentre per un inquadramento metodologico di strumenti applicativi per la pianificazione e la gestione operativa dei centri di distribuzione si rinvia a precedenti studi del gruppo di lavoro [4, 5].

Negli anni sono state avviate in Italia e all'estero molte applicazioni sperimentali, di differenti dimensioni. Considerazioni su alcune rilevanti esperienze precedenti ed il resoconto di alcuni esempi applicativi possono essere trovati nel rapporto conclusivo del progetto Bestufs [6]. Significative per la presente ricerca sono la sperimentazione del progetto Logeco nell'area del Tridente del Centro storico di Roma con due veicoli elettrici [7], che fornisce la base di conoscenza per l'applicazione in simulazione di un ampliamento del servizio, e l'avvio del sistema Distripolis a Parigi [8], che presenta molte similitudini con il sistema ipotizzato. E' da dire che raramente il successo di queste applicazioni è andato oltre la fase sperimentale, sia per le difficoltà tecniche che per le difficoltà di organizzazione dell'intero sistema logistico.

E' dunque particolarmente importante un'impostazione ampia, che consenta di sviluppare tutti gli aspetti, tecnici ed organizzativi del problema. Il presente studio è finalizzato alla stima degli aspetti energetici, tenendo conto dei vincoli trasportistici sulla domanda e sull'offerta; non trascura però gli aspetti di progettazione dello schema logistico e si propone di analizzare due schemi differenti di organizzazione del sistema distributivo.

Lo studio viene pertanto focalizzato su un caso di studio reale, relativo al Tridente del Centro di Roma, che è stato oggetto recentemente di una campagna di rilievi della domanda e dell'offerta e nel quale è in corso una sperimentazione con due veicoli elettrici di piccole dimensioni. Nello studio vengono simulati due scenari alternativi di distribuzione, con contestuale ottimizzazione dei giri di consegne dai depositi ai singoli esercizi commerciali. I consumi energetici vengono stimati con un modello empirico e li estende con la metodologia già esposta nel Deliverable 1. Come risultato aggregato, lo studio produce le percorrenze complessive, i tempi di distribuzione ed i consumi energetici complessivi, per ciascuno degli scenari di distribuzione ipotizzati.

2 Descrizione delle attività svolte e risultati



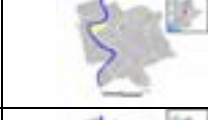
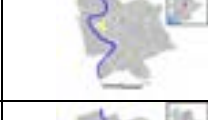
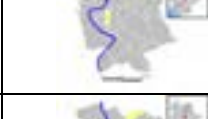

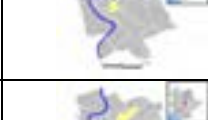

2.1 Descrizione dell'area di studio

L'area di studio analizzata nel lavoro, illustrata in Figura 1, comprende per intero i rioni Campo Marzio, Colonna, Ponte e parzialmente quelli di Parione, Sant'Eustachio, Ludovisi, Pigna e Trevi. E' pertanto leggermente più vasta del Tridente Mediceo propriamente detto, compreso tra le tre strade – via Ripetta, via del Corso, via del Babuino – che si dipanano dalla Piazza del Popolo. L'intera area di studio è soggetta alla norma di zona a traffico limitato (ZTL). L'intero territorio, esteso su un'area di circa 1,7km², è a forte vocazione commerciale come testimoniato dai circa 6.600 esercizi commerciali, pur avendo una densità abitativa media piuttosto elevata, di oltre 21.000 abitanti/km², come evidenziato in Tabella 1.



Figura 1. Delimitazione dell'area di studio

Tabella 1. Dati demografici ed economici relativo all'area di studio

Rione		Area	Popolazione	Densità	Esercizi commerciali
		[km ²]	[ab.]	[ab./km ²]	[n.]
Campo Marzio		0,8817	7214	8181.92	561
Colonna		0,2689	2703	10052.06	171
Ponte		0,3189	4535	14220.76	203
Parione		0,1938	3233	16682.15	123
Sant'Eustachio		0.1688	2450	14514.22	745
Ludovisi		0.3251	2038	6286.84	1436
Pigna		0.2063	10490	50848.28	911
Trevi		0.5503	3279	5958.57	2430

2.2 La distribuzione delle merci ed il traffico attuale

La distribuzione delle merci nel Centro storico di Roma è attualmente svolta senza consolidamento di carico e con veicoli a combustione interna. Questo comporta l'utilizzo di un maggior numero di veicoli di quanti sarebbero necessari, i quali si muovono all'interno del centro storico con un basso coefficiente di carico. Ciò a sua volta implica conseguenze nocive in termini d'inquinamento atmosferico, acustico e di congestione. Dai conteggi di traffico realizzati dal Centro di Ricerca sul Trasporto e la Logistica dell'Università di Roma "La Sapienza" tra Novembre e Dicembre 2011 nella fascia oraria 07:00 – 21:00 sono stati registrati quasi 45.000 ingressi al giorno, di cui circa il 4% sono veicoli adibiti al trasporto delle merci [9], risultato in linea con misurazioni precedenti [10]. Solo nel Tridente ogni giorno entrano oltre 19.000 veicoli, di cui più di 10.000 adibiti al trasporto merci. Dal momento che oltre il 70% delle attività commerciali presenti nel Tridente non afferiscono a grandi marche o a catene commerciali, le pratiche logistiche distributive risultano scarsamente ottimizzate [7].

Appare quindi evidente il beneficio che si potrebbe ottenere dall'implementazione di uno o più *Transit Point* per effettuare il consolidamento del carico oltreché il passaggio da un mezzo convenzionale a combustione interna ad un veicolo elettrico a batteria adibito alla distribuzione nell'ultimo miglio.

Poiché l'insieme delle attività e la quantità di consegne richieste è assai ingente, dell'ordine delle 7.000 t/giorno con un traffico attuale di circa 10.000 veicoli/giorno, non è pensabile che nel breve periodo un sistema centralizzato di distribuzione con veicoli elettrici possa essere realizzato contemporaneamente sull'intero insieme delle attività, poiché richiederebbe un altrettanto ingente investimento nella flotta e

nelle infrastrutture di deposito. Appare più realistico uno scenario in cui l'applicazione avvenga mediante l'introduzione di un servizio mirato su un singolo settore merceologico, potendo così, da una parte, sensibilizzare e trovare il consenso degli esercenti e, dall'altra, ridurre l'investimento iniziale entro proporzioni compatibili con applicazioni pilota, vale a dire con una flotta di al più 20-30 veicoli, due o tre depositi e non più di 10 transit point. Dimensioni analoghe sono previste ad esempio nel sistema Distripolis avviato nel centro di Parigi [8].

La simulazione è stata così limitata al macrosettore merceologico Ho.Re.Ca (Hotel, Restaurant, Cafè), comprendente le attività riportate in Tabella 2. Questo settore contribuisce per circa il 18% sulla domanda totale attratta; per limitare l'analisi alle dimensioni volute, si è ulteriormente limitato il settore ai Ristoranti ed alle Tavole calde, che incidono per il 6% circa della domanda, corrispondente a circa 430 t/giorno.

Tabella 2. Composizione del macrosettore Ho.Re.Ca.

Macrosettore/Settore	t/giorno	% sul Macrosettore	% sul totale delle attività
Macrosettore Ho.Re.Ca.	1340	100%	18.29%
Alberghi, Affittacamere, Residence, Case per brevi soggiorni, B&B	436	32.5%	5.95%
Bar, Pasticcerie, Gelaterie	383	28.6%	5.23%
Ristoranti, Tavole calde	436	32.5%	5.95%
Enotecche	26	2%	0.36%
Laboratori e rivendita prodotti da forno, Pizza al taglio	59	4.4%	0.81%

In mancanza di un dato disaggregato per singolo esercizio commerciale, la distribuzione spaziale della domanda è stata ottenuta tenendo conto della reale posizione degli esercizi commerciali del settore, riportata in Figura 2, che risulta molto distribuita all'interno dell'area di studio.



Figura 2. Distribuzione ristoranti nell'area di studio

2.3 Analisi della domanda

I dati su cui è stata basata l'analisi sono riportati nella matrice Origine – Destinazione relativi all'intero comune di Roma e facenti riferimento alle macro-zone mostrate in Figura 3. I corrispondenti identificativi delle 7 macro-zone incluse nell'analisi sono riportati su sfondo blu nella figura sottostante.

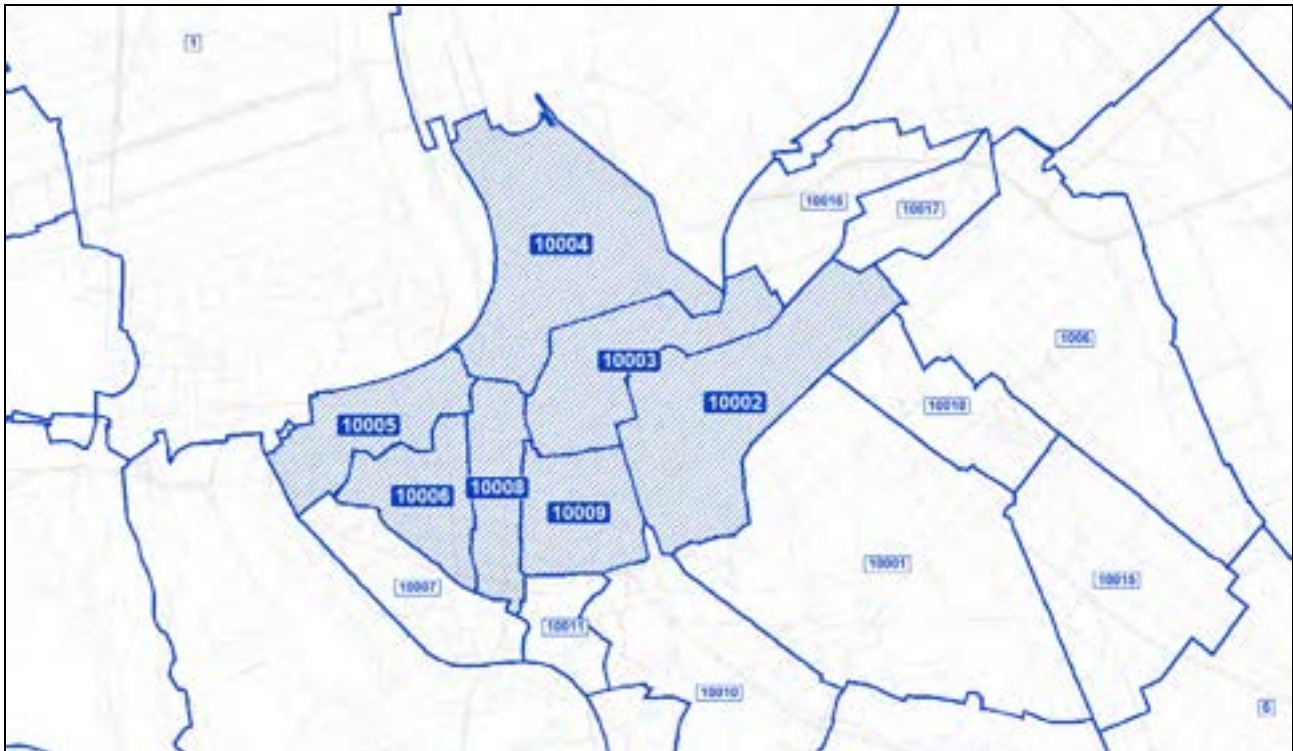


Figura 3. Macro-Zone di traffico

Dalla figura si evince quindi come la matrice faccia riferimento ad una porzione di territorio molto più ampia rispetto a quella del caso di studio analizzato. Per ricondursi ai dati di interesse sono state dunque individuate le macro-zone di traffico corrispondenti all'area di interesse, che coprono la domanda interna. Dovendo operare a livello matriciale, è necessario effettuare una aggregazione delle zone esterne, mantenendo comunque la corrispondenza in attrazione con le zone interne. Gli scambi tra zone interne rimangono ad un livello di rappresentazione disaggregata, mentre gli scambi dall'interno all'esterno non richiedono una rappresentazione, in quanto al di fuori dell'interesse dello studio.

Per chiarire le necessità e modalità di aggregazione, in Tabella 3 viene riportata una schematizzazione dell'intera matrice, con il seguente significato dei simboli:

- D_{ee} : domanda generata ed attratta dalle zone esterne all'area di studio (non campite in Figura 3);
- D_{ei} : domanda generata dalle zone esterne ed attratta da quelle interne;
- D_{ie} : domanda generata dalle zone interne ed attratta da quelle esterne;
- D_{ii} : domanda generata ed attratta dalle zone interne all'area di studio (campite in Figura 3);

Per quanto detto, la domanda utilizzata nell'analisi è data da:

$$D_{tot} = D_{ei} + D_{ii} \quad (1)$$

Tabella 3. schematizzazione della matrice OD

	Attrazione	
Generazione	D_{ee}	D_{ei}
	D_{ie}	D_{ii}

Come detto, la domanda attratta dalle zone interne ai fini del servizio di distribuzione con veicoli elettrici è solamente quella relativa al settore “Ristoranti/Tavole calde”, che risulta pari al 5.95% della domanda complessiva. Ipotizzando che non tutti gli esercizi commerciali operanti nel settore “Ristoranti/Tavole calde” siano disponibili nello stesso momento a sottoscrivere il contratto di adesione al progetto di consolidamento del carico e di passaggio alla trazione elettrica, per tenere conto della inevitabile gradualità di ampliamento del progetto, nello scenario di riferimento si è considerato il 60% della domanda del suddetto settore. Si anticipa che questa sarà rimossa e superata dalla analisi di sensibilità, in cui saranno esaminate le prestazioni del sistema di distribuzione delle merci entro un ampio intervallo di variazione della domanda.

In Tabella 4 si riportano rispettivamente i valori di attrazione complessiva relativi a tutte le categorie merceologiche, la percentuale relativa al settore “Ristoranti/Tavole calde” e infine quella di riferimento per ciascuna macro-zona in cui è suddivisa l’area di studio.

Tabella 4. attrazione macro-zone di traffico centrali

Attrazione [t/giorno]	10002	10003	10004	10005	10006	10008	10009
Totale	1316	2026	1464	325	1703	615	339
Ristoranti/Tavole calde	78	121	87	19	101	37	20
Scenario di riferimento (60%)	46.8	72.6	52.2	11.4	60.6	22.2	12

La zonizzazione cui la matrice fa riferimento non è tuttavia adeguata all’uopo: l’aggregazione delle macro-zone centrali, infatti, è troppo aggregata per consentire una riproduzione realistica dei giri di consegna. Per ovviare a questo inconveniente sono state create delle sotto-zone all’interno dell’area di studio. Dovendo ottimizzare i percorsi con una procedura di *vehicle routing* c’è la necessità di disporre un solo centroide (nodo fittizio sul quale si assume che abbiano destinazione tutti gli spostamenti della sotto-zona), sul quale viene concentrata la domanda di consegne proporzionale al numero di ristoranti o tavole calde presenti nella sotto-zona relativa e dove si immagina possa avvenire l’arresto del veicolo per le consegne limitrofe da effettuare nello stesso giro. Tali centroidi sono stati dislocati sul territorio tenendo conto di due fattori: il primo è legato alla concentrazione di esercizi commerciali da servire (imposto minore o uguale a 17); il secondo è funzione della distanza percorribile a piedi dall’operatore addetto alla consegna (comunque non

superiore a 300 m da un centroide all'altro). Secondo questi criteri il centro storico è stato discretizzato in 62 sotto-zone, con una media di circa 7 esercizi commerciali, ma con una varianza tra le sotto-zone piuttosto elevata. In Figura 4 si riporta la zonizzazione utilizzata nella procedura.

I valori di domanda complessiva sono stati ripartiti sulle nuove sotto-zone h secondo quanto riportato nella (2).

$$d_h = \frac{DMZ}{n_{MZ}} \cdot n_h \quad (2)$$

dove:

- d_h rappresenta la domanda associata alla sotto-zona h ;
- DMZ è la domanda della macro-zona in cui la sotto-zona h ricade;
- n_{MZ} è il numero di attività commerciali afferenti alla macro-zona 1;
- n_h è il numero di attività commerciali all'interno della sotto-zona h .

Con questo criterio è stata ricavata la domanda da soddisfare in ciascuna sotto-zona h . La Tabella 5 riassume i risultati ottenuti.

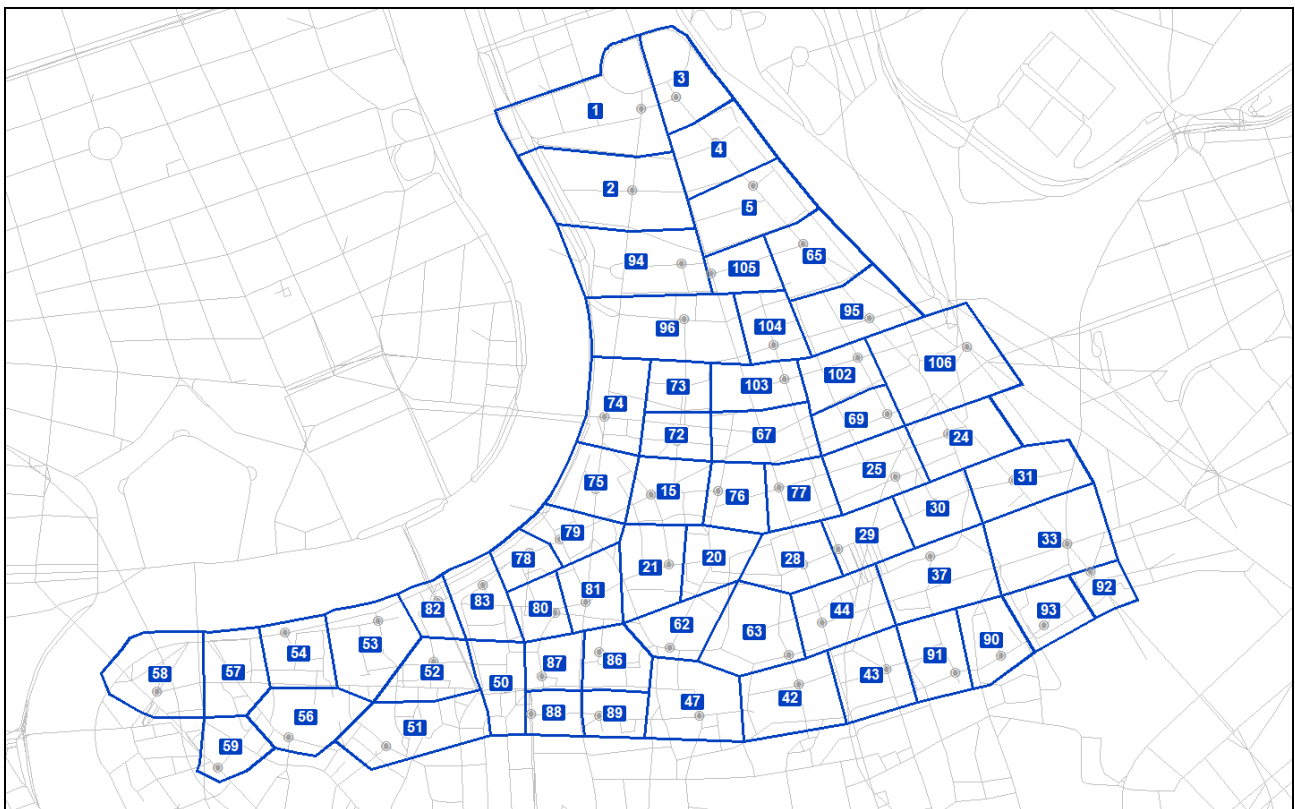


Figura 4. Sotto-zone h dell'area di studio

Tabella 5. Ripartizione della domanda giornaliera di riferimento

ID Macro-zona	Domanda Macro-zona	Ristoranti/ Tavole Calde Macro-zona	Localizzazione centroide nella sotto-zona	ID Sotto-zona	Ristoranti/ Tavole Calde per centroide	Domanda centroide
	[t/giorno]	[n.]			[n.]	[t/giorno]
10002	46.98	30	Via del Bufalo	37	2	3.13
			Via della Mercede	30	5	7.83
			Via delle Muratte	91	4	6.26
			Via dei Due Macelli	31	1	1.57
			Via del Lavatore	90	5	7.83
			Via del Tritone	33	2	3.13
			Via in Arcione	93	2	3.13
			Via del Traforo	92	9	14.09
10003	72.34	83	Via di Campo Marzio	20	9	7.84
			Via del Corso	67	1	0.87
			Piazza Colonna	63	6	5.23
			Via del Corso	77	5	4.36
			Via del Corso	28	4	3.49
			Piazza di San Silvestro	29	6	5.23
			Via del Corso	44	5	4.36
			Via della Vite	25	16	13.94
			Via Mario de' Fiori	69	4	3.49
			Via Frattina	24	17	14.82
			Via Gregoriana	106	10	8.72
			10004	52.27	158	Via di Ripetta
Via Leccosa	75	9				2.98
Via di Ripetta	74	11				3.64
Via Antonio Canova	94	8				2.65
Piazza Borghese	15	15				4.96
Via di Ripetta	1	15				4.96
Piazza Augusto Imperatore	73	5				1.65
Via del Babuino	3	4				1.32
Via dell'Arancio	72	8				2.65
Via dei Pontefici	96	8				2.65
Via del Babuino	4	8				2.65
Via del Leone	76	8				2.65
Via dei Greci	105	8				2.65
Via del Babuino	65	10				3.31
Via della Croce	104	6				1.98
Via del Babuino	5	10				3.31
Via Belsiana	103	5				1.65
Via Mario de' Fiori	102	8				2.65
Via del Babuino	95	7	2.32			
10005	11.61	78	Via dell'Arco dei Banchi	58	7	1.04

			Piazza dei Coronari	57	7	1.04
			Corso Vittorio Emanuele II	59	6	0.89
			Lungotevere Tor di Nona	54	7	1.04
			Via di Monte Giordano	56	7	1.04
			Via di Tor di Nona	53	10	1.49
			Via Giuseppe Zanardelli	82	3	0.45
			Via di Monte Brianzo	83	10	1.49
			Via di Monte Brianzo	78	14	2.08
			Via di Monte Brianzo	79	7	1.04
10006	60.80	35	Vicolo delle Vacche	51	3	5.21
			Via della Maschera d'Oro	52	6	10.42
			Piazza di Sant'Apollinare	50	6	10.42
			Via dei Pianellari	87	6	10.42
			Via Santa Giovanna d'Arco	88	10	17.37
			Via dei Pianellari	80	4	6.95
10008	21.97	39	Via della Scrofa	81	8	4.51
			Largo Giuseppe Toniolo	89	4	2.25
			Via degli Spagnoli	86	8	4.51
			Via dei Prefetti	21	15	8.45
			Via di Campo Marzio	62	4	2.25
10009	12.12	13	Via delle Colonnelle	47	6	5.59
			Via della Colonna Antonina	42	4	3.73
			Via dei Sabini	43	3	2.80

2.4 Procedura di simulazione

Nel presente paragrafo si riporta la procedura seguita per la simulazione dei giri di consegna ottimizzati (*vehicle routing*) e per il calcolo di prima approssimazione mediante curve empiriche dei consumi energetici. Non disponendo ancora di curve sperimentali di consumo per le diverse categorie di veicoli elettrici, ci si è basati sul confronto tra le curve COPERT, parametrizzate sul coefficiente di riempimento (o *load factor*) e sulla pendenza per i veicoli a combustione interna (IC), e una curva di regressione di una serie di punti di consumo osservati per un minibus elettrico (BEV), funzione della velocità media sul ciclo di guida. È stato quindi ricavato un fattore di conversione, diverso per intervalli di velocità, applicato alle curve COPERT per ricavare un andamento approssimato dei consumi per altre tipologie di veicolo elettrico, più adatte al caso di studio.

La procedura è la stessa applicata e descritta nel Deliverable 1 [11], basata sulle metodologie EEA [12]. Eventuali approfondimenti possono essere trovati nelle pubblicazioni del gruppo di lavoro [13] e [14].

2.4.1 Vehicle Routing

Per l'ottimizzazione dei giri di consegna è stato implementato un problema di *vehicle routing* in ambiente TransCAD®. Questa procedura consente di minimizzare alternativamente rispetto al tempo o alla distanza i giri di consegna, tenuto conto delle velocità d'arco a flusso nullo, oppure a valle di un'assegnazione, rispettando le finestre temporali di consegna della merce e i vincoli di capacità del veicolo. Inoltre, per il calcolo del tempo giro, s'ipotizza un tempo fisso di sosta ad ogni fermata al quale è aggiunto un tempo variabile funzione della domanda da consegnare. Un'altra variabile del problema è la possibilità di assegnare le destinazioni finali ai depositi oppure lasciare che il software rintracci l'assegnazione migliore. Riassumendo i parametri da fissare nel problema sono:

- Criterio di minimizzazione rispetto al tempo ($\min_t f.o.$) o alla distanza ($\min_d f.o.$);
- Velocità d'arco a flusso nullo (V_0) oppure a valle dell'assegnazione ($V(q)$);
- Numero di depositi (N_d);
- Numero di fermate (N_s);
- Orario di apertura dei depositi (T_d);
- Intervallo temporale di accettazione delle consegne (T_s);
- Tempo fisso di sosta a fermata (t^*);
- Tempo aggiuntivo di sosta per unità di peso della consegna ($t(q)$);
- Capacità dei veicoli (C_v);
- Assegnazione depositi automatica (A_d) oppure manuale (M_d).

I valori numerici di tali parametri per ciascuno scenario sono specificati nel paragrafo 2.5.

2.4.2 Stima dei consumi energetici

Una volta ricavati i percorsi di consegna con le relative lunghezze e velocità medie per ciascuna tratta, come già accennato, sono stati calcolati i consumi energetici mediante l'utilizzo di curve sperimentali [12] in funzione della velocità media sul ciclo di guida e parametrizzate sul fattore di carico opportunamente adattate al sistema elettrico tramite fattori di conversione ricavati secondo la procedura descritta nel Deliverable 1 [11], calibrata utilizzando dati sperimentali per veicoli elettrici e a combustione interna di dimensioni uguali, e generalizzata mediante tale fattore di conversione a veicoli elettrici di dimensioni differenti per i quali non sono disponibili dati sperimentali. A titolo di esempio si riporta in Figura 5 la curva relativa ad un veicolo a combustione interna di peso compreso tra 7,5 e 12,5 tonnellate e la corrispondente curva nel caso di veicoli elettrici.

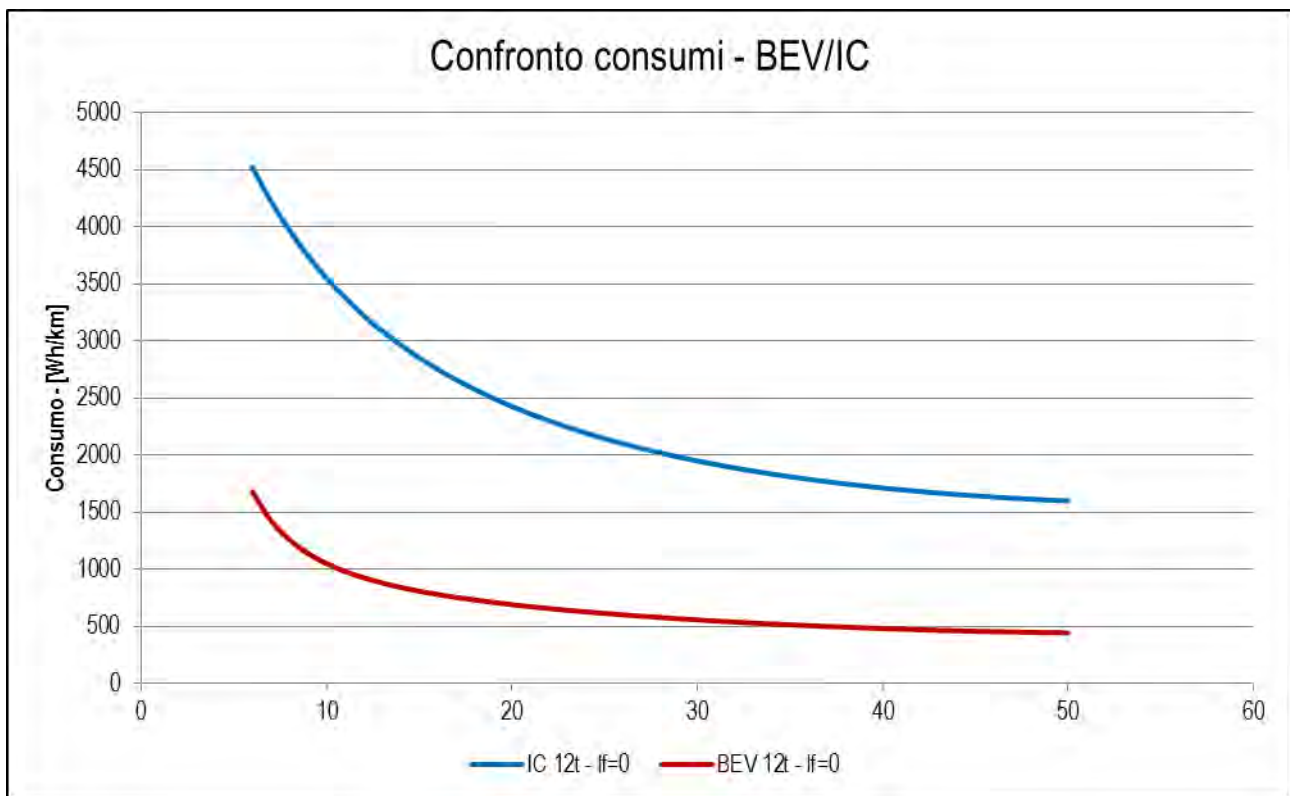


Figura 5. Confronto dei consumi energetici tra veicoli IC e BEV a parità di massa

Come si può osservare dalla figura, i consumi specifici dei veicoli elettrici per un veicolo di egual dimensione risultano nettamente più bassi rispetto ad un veicolo a combustione interno.

I valori numerici per il calcolo dei consumi elettrici sono riportati nel paragrafo 2.6 per lo scenario A e nel paragrafo 2.7 per lo scenario B.

2.5 Definizione degli scenari di progetto

La definizione dello schema funzionale di distribuzione delle merci nell'ultimo miglio è un elemento critico del progetto e prevede un ventaglio di soluzioni possibili. Secondo uno schema interpretativo chiaro e consolidato [3], l'area urbana può essere suddivisa in tre grande macro-aree:

- il Centro Urbano, al cui interno si trova il Centro storico;
- la Prima Corona, prevalentemente residenziale e con alta densità abitativa;
- la Seconda Corona, a bassa densità abitativa e servita da una rete di infrastrutture stradali di scorrimento.

In questo schema funzionale, per i centri storici e le aree pedonali si prevedono spazi logistici di prossimità o transit point, cioè piccole piattaforme di transshipment urbane nelle quali personale dedicato fornisce assistenza per lo smistamento delle consegne nell'ultimo miglio dirette al centro città. Nella Seconda Corona (cintura logistica) e nei corridoi di ingresso alla Prima Corona ed al centro Urbano (assi logistici) si localizzano i centri di distribuzione, i grossisti, nonché i centri della grande distribuzione. Al fine di sfruttare efficacemente le infrastrutture stradali e di ridurre l'impatto sulle aree residenziali, il modello funzionale prevede l'uso di veicoli di dimensioni decrescenti con l'avvicinarsi al centro, con la necessità di introdurre ulteriori rotture di carico dai veicoli più grandi a quelli più piccoli.

Nello studio sono state considerate due soluzioni alternative, che prevedono rispettivamente:

- Scenario A: la collocazione di depositi nella cintura logistica in prossimità del Grande Raccordo Anulare ed in corrispondenza degli assi logistici e l'uso di veicoli elettrici di medie dimensioni (da 7t);
- Scenario B: la collocazione di transit point ai limiti della zona a traffico limitato, secondo lo schema tipico dei servizi di prossimità delle destinazioni finali, e l'uso di veicoli elettrici di dimensioni più piccole (3,5t).

E' da precisare che lo scenario B risponde meglio alle esigenze ambientali e trasportistiche. L'introduzione dello Scenario A è motivata con l'obiettivo di verificare il fabbisogno elettrico in uno scenario di maggiore richiesta energia, nel caso in cui la distribuzione con veicoli elettrici venisse estesa ad un'ampia area urbana. In questo caso, la scelta del Tridente come area di studio ha una valenza esclusivamente esemplificativa.

2.6 Scenario A

2.6.1 Costruzione dello scenario A di riferimento

Il primo scenario implementato prevede l'utilizzo di tre depositi situati nella periferia di Roma in prossimità del Grande Raccordo Anulare, come mostrato in Figura 6. Questa scelta è stata dettata da una parte dall'esigenza del consolidamento del carico, dall'altra dalla volontà di mantenere il più lontano possibile dalla città consolidata i veicoli di grandi dimensioni provenienti dai luoghi di origine della merce. Bisogna nondimeno tener presente che, dovendo percorrere un tragitto più lungo per arrivare alle destinazioni finali, i veicoli elettrici impiegati in questo scenario devono avere una capacità delle batterie elevata al fine di garantire un'autonomia sufficiente ad effettuare un giro di consegna completo.

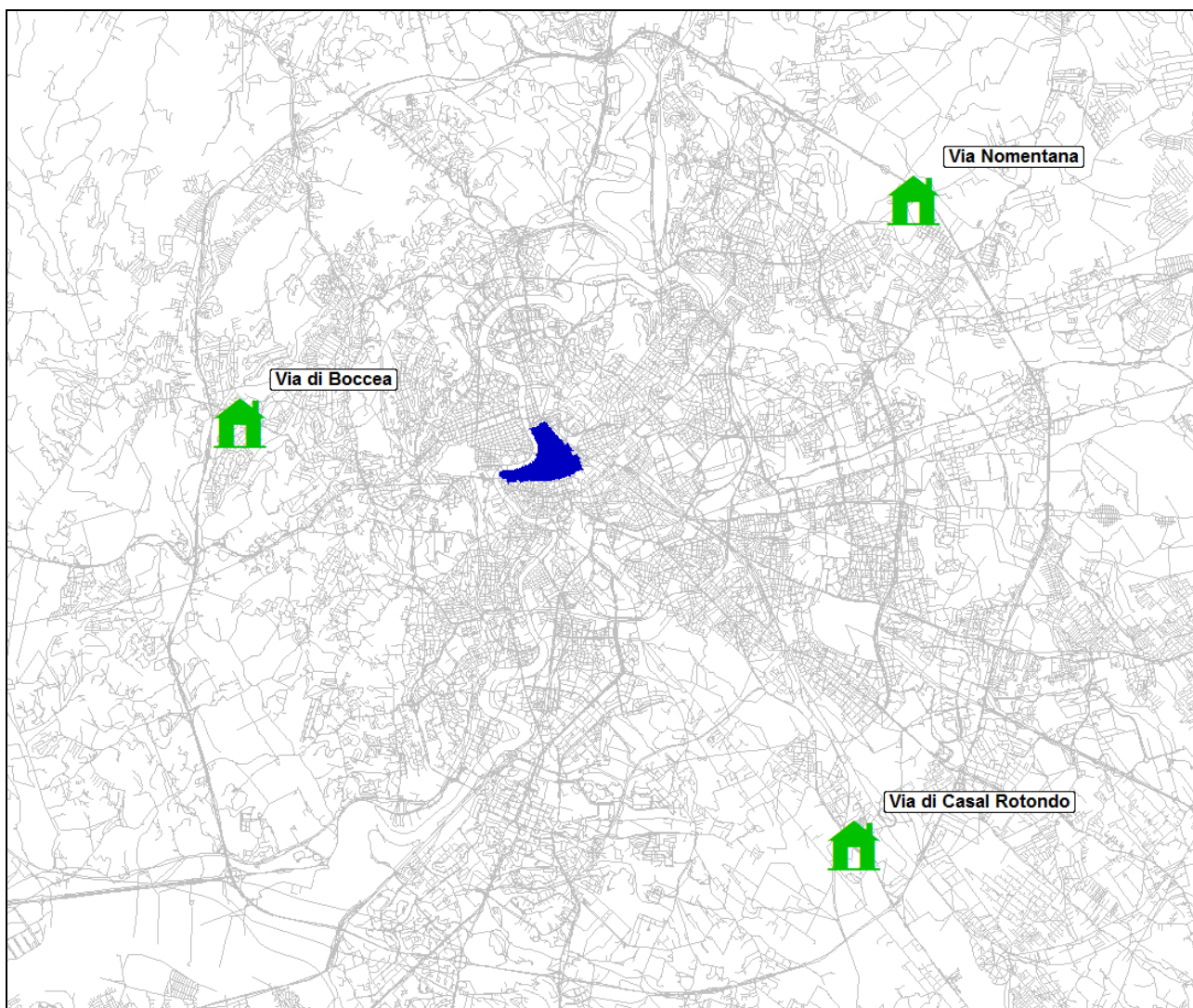


Figura 6. Localizzazione dei depositi nello scenario A

Per il calcolo dei tempi di percorrenza la procedura di *vehicle routing* tiene conto di limiti di velocità imposti all'interno della ZTL, che comportano una velocità media di 12 km/h, e della congestione per gli archi esterni a tale area (velocità media pari a 16 km/h). Facendo riferimento alla procedura riportata in 2.4.1, i parametri utilizzati nell'implementazione del *vehicle routing* per lo scenario A sono riportati in Tabella 6.

Tabella 6. Parametri del *vehicle routing* scenario A

Parametro	Descrizione	Valore
Criterio di minimizzazione	Tempo	$\min f. o.$
N_d	Numero di depositi	3
N_s	Numero di fermate	62
T_d	Orario di apertura dei depositi	06:00 – 14:00
T_s	Intervallo temporale di accettazione delle consegne	07:00 – 13:00
C_v	Capacità dei veicoli utilizzati	7 tonnellate
t^*	Tempo fisso di sosta a fermata	1 min
$t(q)$	Tempo aggiuntivo di sosta per unità di peso della consegna	8 min/t

In Figura 7 si riporta l'andamento delle tre curve parametriche in base al load factor utilizzate per il calcolo dei consumi elettrici nello scenario A.

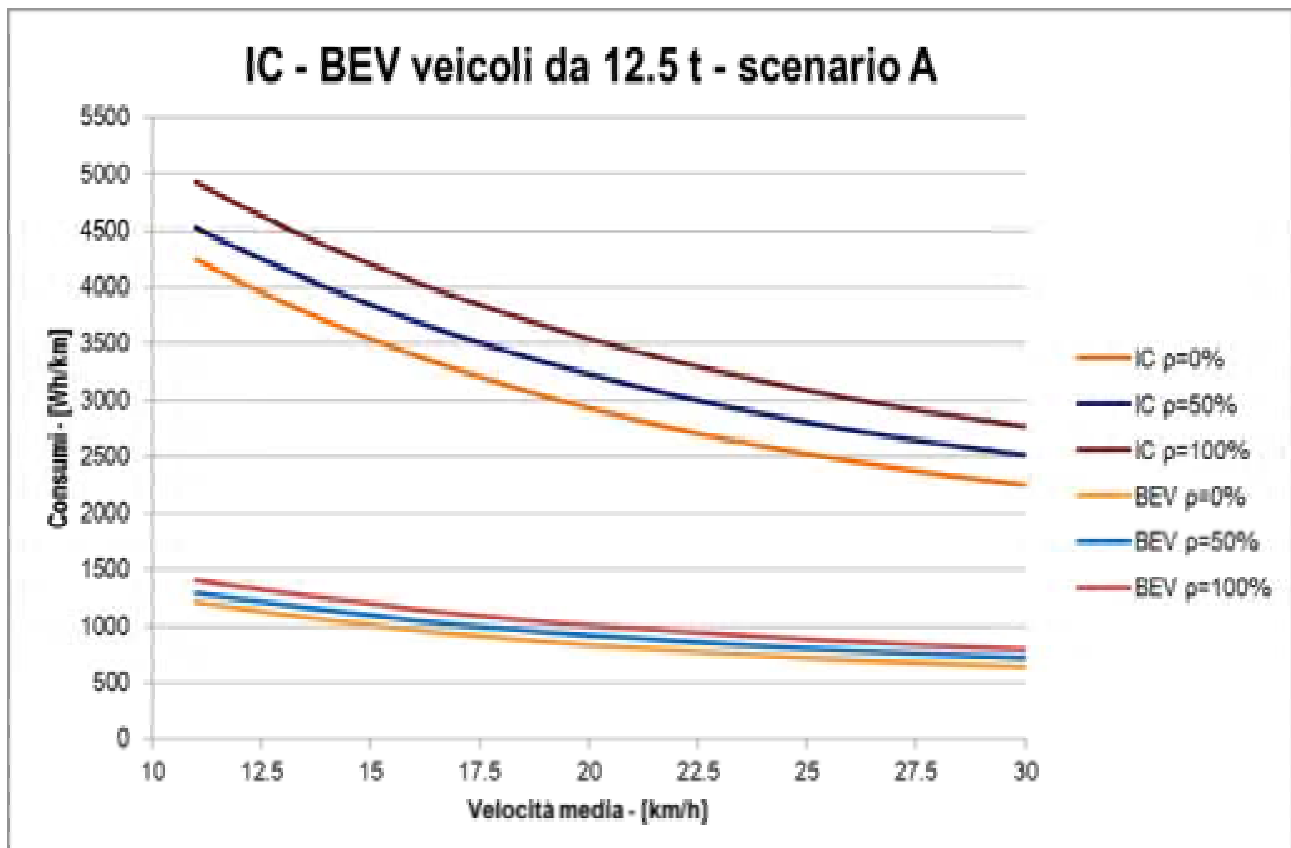


Figura 7. Confronto dei consumi energetici tra veicoli IC e BEV a parità di massa – scenario A

La domanda di riferimento, come sopra accennato, è pari al 60% della domanda del settore “Ristoranti/Tavole calde”, con la quale è stata dimensionata l’offerta in termini di numero dei giri di consegna giornalieri, numero di veicoli e capacità dei veicoli, oltre ad una serie di parametri di utilizzo i cui valori numerici sono riportati in Tabella 9.

Il dettaglio dei giri di consegna ottenuti a valle della procedura sono riportati graficamente nell’allegato A in Figura 8.

2.6.2 Stima dei consumi elettrici

Sulla base dei risultati del *vehicle routing* si è implementata la procedura di stima dei consumi elettrici. In particolare ci si è basati sulle distanze, sulle velocità medie e sul *load factor* tra le diverse fermate di ciascun percorso. Come in precedenza accennato, le curve di consumo utilizzate sono funzione della velocità media sul ciclo di guida e parametrizzate sul *load factor* corrente oltreché sul tipo di veicolo impiegato. Per tali motivi, per lo scenario A, in cui si prevede l’utilizzo di veicoli da 7 tonnellate di carico, sono state impiegate le equazioni riportate in Tabella 7. Per tali mezzi si è scelto di utilizzare le curve relative a veicoli di peso complessivo pari a 12.5 tonnellate.

Tabella 7. Espressioni delle curve di consumo [kWh/km] COPERT per veicoli IC da 12.5 tonnellate

Consumo di energia veicolo IC 12.5t 0% < p < 30%	Espressione del consumo				
	$y(V) = [e + (a \cdot \exp^{-bx}) + (c \cdot \exp^{-dx})] \cdot 12.72$				
	Tavola dei coefficienti				
	a	B	c	d	e
	486,6406	0,080972	1196063	1,629846	134,0512
Consumo di energia veicolo IC 12.5t 31% < p < 70%	Espressione del consumo				
	$y(V) = [e + (a \cdot \exp^{-bx}) + (c \cdot \exp^{-dx})] \cdot 12.72$				
	Tavola dei coefficienti				
	a	B	c	d	e
	474,497	0,07433	10230354	1,9942	146,568
Consumo di energia veicolo IC 12.5t 71% < p < 100%	Espressione del consumo				
	$y(V) = [c + (a \cdot \exp^{bx})] \cdot 12.72$				
	Tavola dei coefficienti				
	a	B	c	d	e
	503,41	-0,07251	160,5909		

Come già detto, il passaggio dai consumi termici a quelli elettrici è stato eseguito mediante fattori di conversione sperimentali per diversi intervalli di velocità media ricavati sulla base dell’analogia con la corrispondente curva termica per veicoli di egual dimensione. I fattori di conversione in funzione degli intervalli di velocità sono riportati in Tabella 8.

Tabella 8. Fattori di conversione

Fattori di conversione IC → BEV		
V0	V1	C.F.
11	15	0.2863
16	20	0.28429
21	25	0.28605
26	30	0.28645

Infine, in Tabella 9, si riportano i risultati del dimensionamento dell’offerta per lo scenario A.

Tabella 9. Risultati scenario A

Indicatori	Unità	Valore
Scenario	-	A
Capacità dei veicoli	[t]	7
Domanda di progetto	[t/giorno]	278,08
Percentuale sul settore "Ristoranti/Tavole calde"	%	60%
Itinerari	-	42
Veicoli	-	23
Numero medio di giri a veicolo	[giri/veicolo]	1,83
<i>Transit Point</i>	-	3
Lunghezza media dei giri	[km]	26,17
Veicoli-km	[vkm]	1099,03
Tempo medio dei giri	[h:mm]	2h43'
Tempo medio di sosta per fermata	[hh:mm:ss]	00:22:17
Velocità commerciale media	[km/h]	9,63
Consumo totale	[kWh]	1205,30
Consumo medio a km	[kWh/km]	1,097
Consumo medio a tonnellata trasportata	[kWh/t]	4,334
Numero medio di fermate per giro	-	2,48
Carico medio alla partenza	[t]	6,6
<i>Load factor</i> alla partenza	%	94%
Tempo addizionale di carico al deposito	[min]	20'
Tempo medio di utilizzo dei veicoli	[hh:mm:ss]	05:34:10
Finestra temporale di consegna	[h]	6h
Coefficiente di utilizzo temporale medio dei veicoli	%	92,8

Dall'esame della Tabella 9 si evince che lo scenario A presenta un consumo complessivo e specifico per tonnellata trasportata piuttosto elevato, a causa della grande distanza che separa i depositi dalle destinazioni. Tuttavia, il consolidamento ha dato buoni risultati per quanto riguarda il *load factor* medio dei veicoli alla partenza che risulta vicino al 95%. Inoltre, il tempo di utilizzo medio dei veicoli, con un numero medio di giri pari a 1,83, copre quasi per intero l'intervallo di tempo utile di consegna e ciò implica un coefficiente di utilizzo medio dei veicoli molto elevato. La lunghezza media di un giro è di circa 26 km; ne consegue che ogni veicolo copre in media circa 47 km nelle 5:43' ore di servizio e consuma circa 52 kWh/giorno. Il pacco batterie dovrà essere dimensionato opportunamente, per consentire lo svolgimento del servizio senza ricarica in punti localizzati nell'area di consegna o nel ritorno al deposito.

Nella Figura 8 si riporta il dettaglio dei percorsi dei veicoli nei diversi giri, evidenziati con il numero a fianco ai percorsi, ottenuti in corrispondenza alla domanda di progetto.

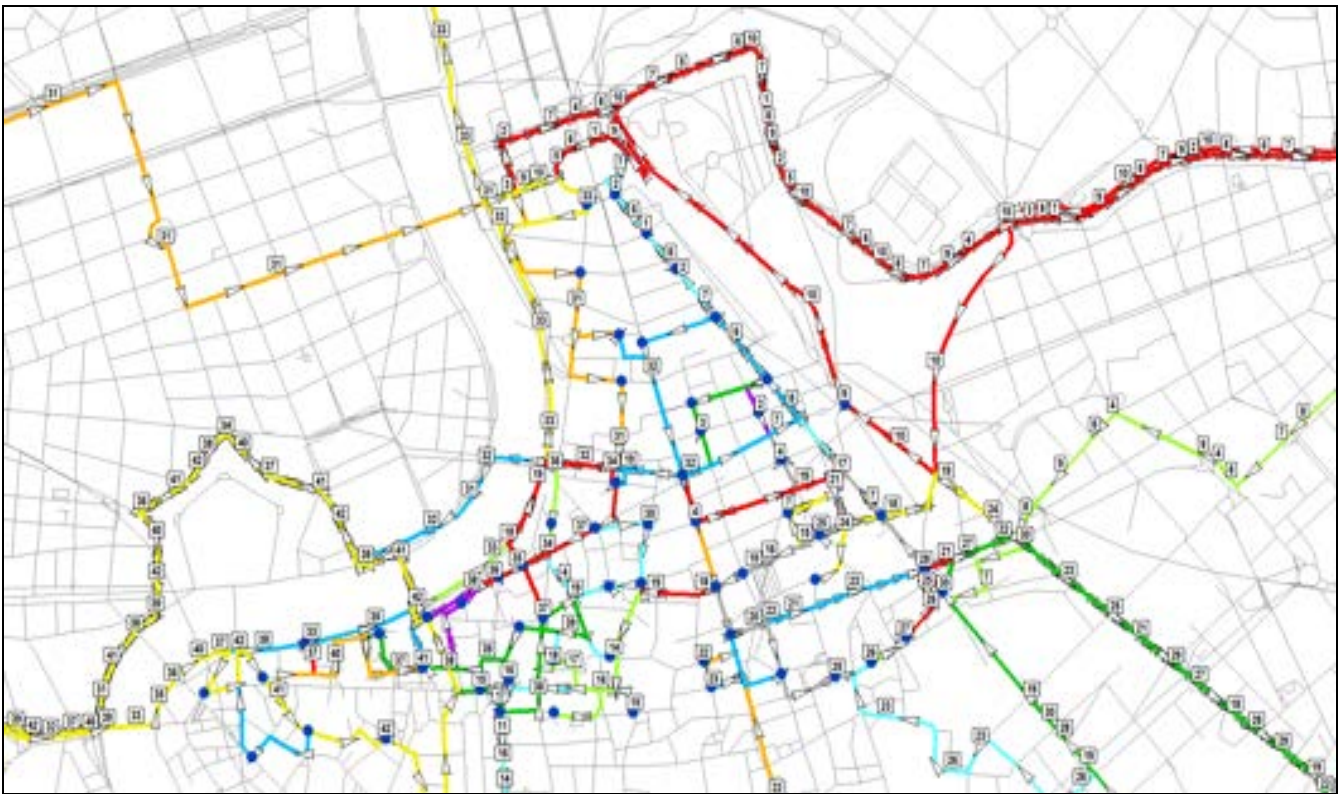


Figura 8. Dettaglio dei percorsi - scenario A

Infine, in Figura 9, si riporta l'andamento della velocità media, del carico e dei consumi specifici per un percorso a titolo esemplificativo. Come si può osservare, il tratto frastagliato indica la zona di consegna, la quale risulta molto minore rispetto al tratto da percorrere per collegare i depositi.

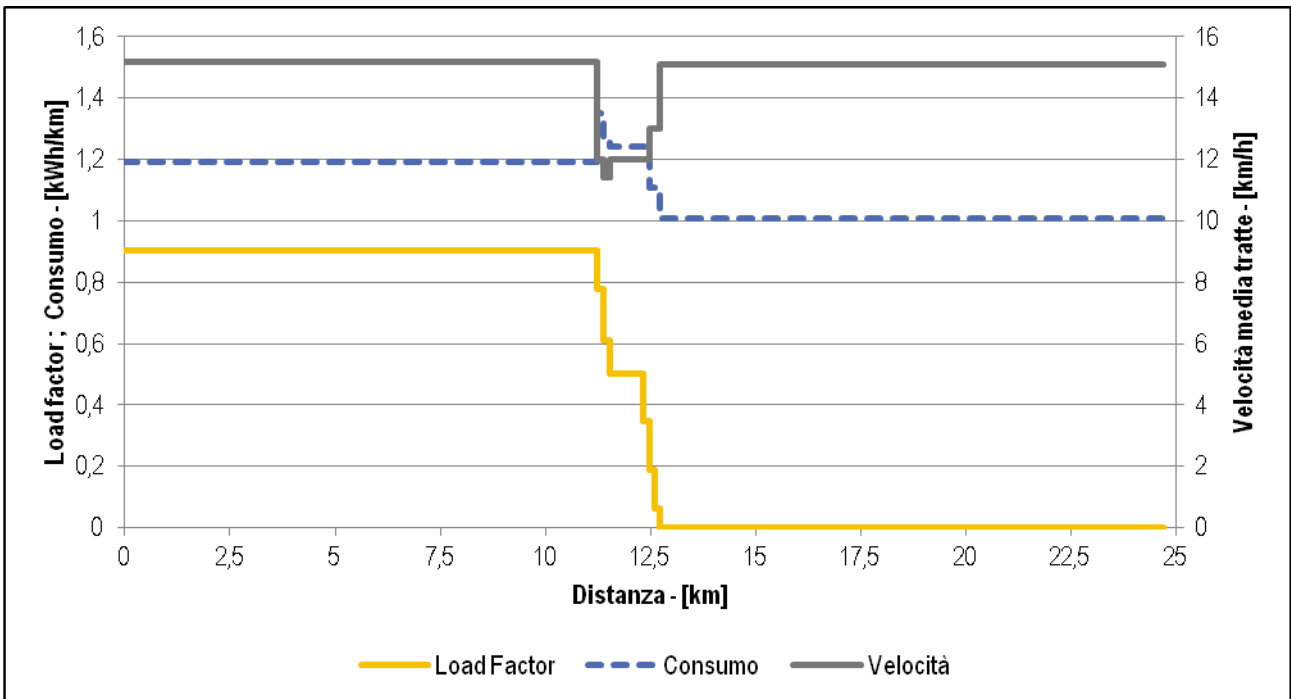


Figura 9. Esempio di andamento del load factor, consumo specifico e velocità per un percorso di consegna - scenario A

Dal grafico si evince che le velocità medie si abbassano notevolmente all'interno dell'area di consegna, in quanto l'intera area si trova all'interno della zona centrale; il fattore di carico, naturalmente, decresce man mano che il veicolo consegna la merce ai rispettivi punti di consegna. Essendo il consumo inversamente proporzionale alla velocità media e direttamente proporzionale al fattore di carico, si riscontra un netto aumento dei consumi in corrispondenza delle prime tre fermate, in cui il *load factor* è superiore al 50% e le velocità risultano più basse, mentre nell'ultimo tratto di consegna i consumi si abbassano in quanto il *load factor* tende a zero.

A valle di tale dimensionamento di massima è stata condotta un'analisi di sensibilità al variare della domanda tra il 20% ed il 110%, con lo scopo di testare la validità dell'offerta dimensionata in diverse condizioni. I risultati di tale analisi sullo scenario A al variare della domanda saranno illustrati nel paragrafo successivo.

2.6.3 Risultati e analisi di sensibilità – scenario A

In Tabella 10 ed in Tabella 11 sono riportati i risultati dell'analisi di sensibilità condotta al variare della domanda, aggregati per tutti i percorsi di consegna. In particolare, la prima tabella riporta i risultati ottenuti ipotizzando una riduzione percentuale della domanda rispetto a quella di riferimento fino ad un minimo pari al 20%. La seconda, diversamente, riporta i risultati della simulazione corrispondenti ad un aumento della domanda fino ad un massimo pari al 110%. Inoltre, come evidenziato in tabella, lo scenario di riferimento corrisponde allo scenario A5, con il 60% della domanda. Nell'analisi condotta si è ipotizzata l'invarianza di tutti gli altri parametri di progetto.

Dall'analisi delle tabelle emerge che la lunghezza media dei giri di consegna subisce una diminuzione piuttosto limitata all'aumentare della domanda; ciò accade in quanto, pur riducendosi il numero di fermate servite da ciascun veicolo, la distanza tra queste è decisamente limitata (circa 300 metri); inoltre, si deve considerare che il numero medio di fermate servite diminuisce, in valore assoluto, di poche unità. Complessivamente si nota che l'andamento non è monotono, pur essendo facilmente riscontrabile un trend decrescente con l'aumentare della domanda. Questo è dovuto al fatto che, variando la domanda, mutano morfologicamente i percorsi ed è dunque plausibile che la lunghezza media possa subire dei piccoli aumenti nonostante il numero medio di fermate diminuisca sensibilmente. Discorso diverso va fatto per i veicoli-km, i quali nello scenario A1 (corrispondente ad una percentuale di domanda pari al 20%) subiscono una riduzione del 64% rispetto allo scenario di riferimento, mentre nello scenario A10 (corrispondente ad una percentuale di domanda pari al 110%) si riscontra un aumento del 97%. Questo è dovuto al fatto che nel primo caso il numero degli itinerari è pari a 15, mentre nel secondo risulta pari a 83.

Diretta conseguenza di quanto appena asserito sono i consumi stimati. Questi, infatti, presentano un andamento direttamente proporzionale ai veicoli-km; infatti, il consumo specifico chilometrico è funzione solamente della tipologia di veicolo impiegato e del *load factor*, che si mantiene piuttosto costante. Per quanto riguarda il tempo medio di sosta, si osserva come questo sia crescente con la domanda e dipendente dal carico medio alla partenza oltretutto dal numero medio di fermate. Infine, per quanto concerne tutti gli altri indicatori riportati in tabella, non è possibile riscontrare una proporzionalità con la variazione della domanda. La causa di questo fenomeno è da rintracciarsi nella configurazione dei percorsi ottimizzati dalla procedura di *vehicle routing*.

Tabella 10. Analisi di sensibilità dal 20% al 60% della domanda

Indicatori	Unità	Valori				
		A1	A2	A3	A4	A5
Scenario	-	A1	A2	A3	A4	A5
Percentuale sul settore "Ristoranti/Tavole calde"	[t/giorno]	92,69	139,04	185,39	231,74	278,08
Domanda di progetto	%	20%	30%	40%	50%	60%
Itinerari	-	15	21	29	36	42
Veicoli	-	9	12	16	20	23
Numero medio di giri a veicolo	[giri/veicolo]	1,67	1,75	1,81	1,80	1,83
Lunghezza media dei giri	[km]	26,58	26,43	26,34	26,16	26,17
Veicoli-km	[vkm]	398,79	555,02	763,79	941,86	1099,03
Tempo medio dei giri	[h:mm]	2h53'	2h51'	2h45'	2h43'	2h43'
Tempo medio di sosta per fermata	[hh:mm:ss]	00:11:11	00:14:32	00:17:31	00:21:29	00:22:17
Velocità commerciale media	[km/h]	9,22	9,50	9,58	9,81	9,63
Consumo totale	[kWh]	435,20	609,41	833,60	1028,80	1205,30
Consumo medio a km	[kWh/km]	1,091	1,098	1,091	1,092	1,097
Consumo medio a tonnellata trasportata	[kWh/t]	4,695	4,383	4,497	4,440	4,334
Numero medio di fermate per giro	-	4,87	3,9	3,1	2,5	2,48
Carico medio alla partenza	[t]	6,2	6,6	6,4	6,4	6,6
Load factor alla partenza	%	89%	94%	91%	91%	94%
Tempo aggiuntivo di carico al deposito	[min]	20'	20'	20'	20'	20'
Tempo medio di utilizzo dei veicoli	[hh:mm:ss]	05:21:40	05:34:15	05:35:19	05:29:24	05:34:10
Coefficiente di utilizzo medio dei veicoli	%	89,4	92,8	93,1	91,5	92,8

Tabella 11. Analisi di sensibilità dal 70% al 110% della domanda

Indicatori	Unità	Valori				
		A6	A7	A8	A9	A10
Scenario	-	A6	A7	A8	A9	A10
Percentuale sul settore "Ristoranti/Tavole calde"	[t/giorno]	324,43	370,78	417,12	463,47	509,82
Domanda di progetto	%	70%	80%	90%	100%	110%
Itinerari	-	50	61	65	77	83
Veicoli	-	26	30	34	39	42
Numero medio di giri a veicolo	[giri/veicolo]	1,92	2,03	1,91	1,97	1,98
Lunghezza media dei giri	[km]	26,13	26,08	25,99	26,16	26,09
Veicoli-km	[vkm]	1306,64	1590,66	1689,49	2014,14	2165,95
Tempo medio dei giri	[h:mm]	2h41'	2h36'	2h38'	2h35'	2h35'
Tempo medio di sosta per fermata	[hh:mm:ss]	00:26:44	00:28:16	00:28:14	00:30:16	00:32:41
Velocità commerciale media	[km/h]	9,62	9,60	9,57	9,63	9,60
Consumo totale	[kWh]	1429,47	1737,40	1847,90	2204,10	2368,80
Consumo medio a km	[kWh/km]	1,094	1,092	1,094	1,094	1,094
Consumo medio a tonnellata trasportata	[kWh/t]	4,406	4,686	4,430	4,756	4,646
Numero medio di fermate per giro	-	2,02	1,79	1,88	1,64	1,54
Carico medio alla partenza	[t]	6,5	6,1	6,4	6	6,1
Load factor alla partenza	%	93%	87%	91%	86%	87%
Tempo aggiuntivo di carico al deposito	[min]	20'	20'	20'	20'	20'
Tempo medio di utilizzo dei veicoli	[hh:mm:ss]	05:48:05	05:57:52	05:40:18	05:45:31	05:45:50
Coefficiente di utilizzo medio dei veicoli	%	96,7	99,4	94,5	96,0	96,1

Quanto sopra illustrato si riporta graficamente in Figura 10.

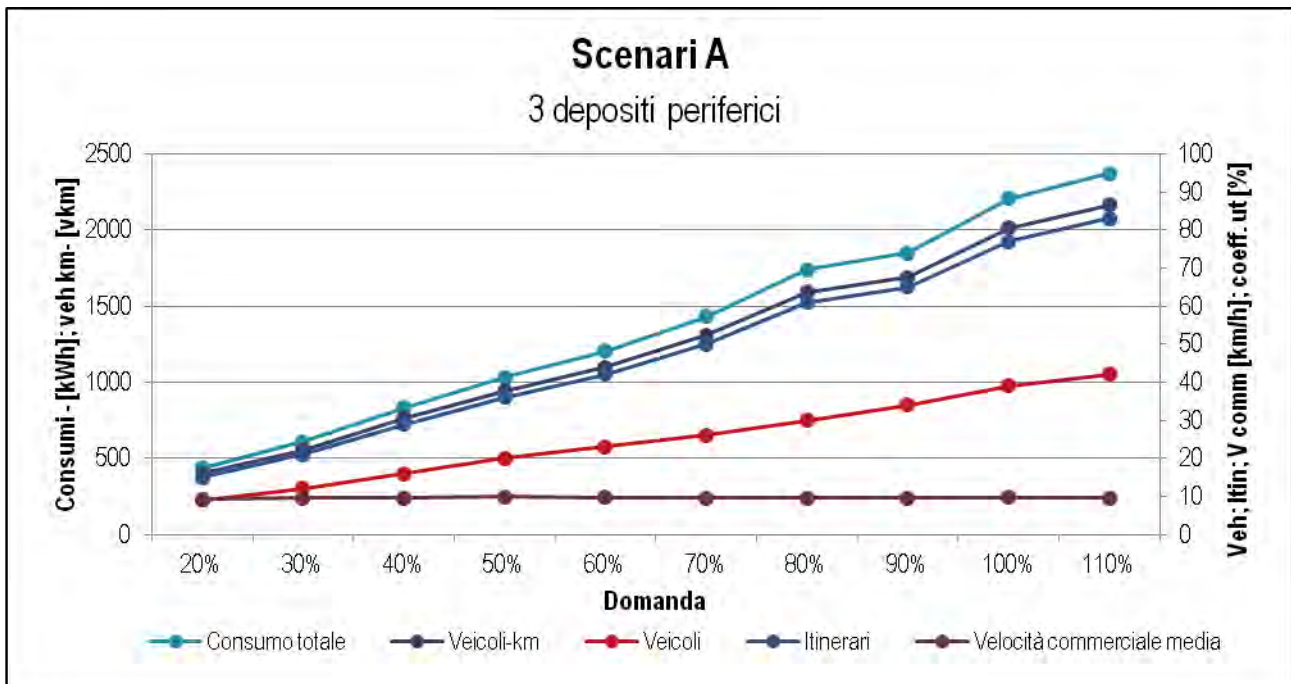


Figura 10. Analisi di sensibilità – scenario A

2.7 Scenario B

2.7.1 Costruzione dello scenario B di riferimento

Nel Scenario B è previsto l'utilizzo di 10 *transit point* di dimensioni ridotte, localizzati nelle immediate vicinanze del centro storico. Questa soluzione consente da un lato di ridurre le percorrenze totali medie di ciascun giro, dall'altro di utilizzare veicoli più piccoli e quindi più adatti alle esigenze del centro. In Figura 11 si riporta la localizzazione di tali depositi.



Figura 11. Localizzazione dei depositi nello scenario B

Facendo riferimento alla procedura riportata nel paragrafo 2.4.1, i parametri utilizzati nell'implementazione del *vehicle routing* per lo scenario B sono riportati in Tabella 12.

Tabella 12. Parametri del *vehicle routing* - scenario B

Parametro	Descrizione	Valore
Criterio di minimizzazione	Tempo	incognita
N_d	Numero di depositi	10
N_s	Numero di fermate	62
T_d	Orario di apertura dei depositi	06:00 – 14:00
T_s	Intervallo temporale di accettazione delle consegne	07:00 – 13:00
C_v	Capacità dei veicoli utilizzati	3.5 t
t^*	Tempo fisso di sosta a fermata	1 min
$t(q)$	Tempo aggiuntivo di sosta per unità di peso della consegna	8 min/t

Analogamente a quanto fatto per lo scenario A, è stata ipotizzata una variazione della domanda dal 20% al 110% per i motivi sopra esposti. La procedura per l'ottimizzazione dei giri di consegna e per il calcolo dei consumi è la medesima dello scenario precedente. Anche in questo caso la domanda di riferimento è pari al 60% della domanda del settore "Ristoranti/Tavole calde".

2.7.2 Stima dei consumi elettrici

A valle della procedura di *vehicle routing* sono stati stimati i consumi elettrici in analogia con quanto fatto nello scenario A. Le equazioni delle curve implementate si differenziano rispetto al caso precedente poiché, essendo stati utilizzati veicoli da 3.5 tonnellate di carico, sono state impiegate le curve relative a veicoli di peso complessivo pari a 7 tonnellate, i cui coefficienti, differenti rispetto al caso precedente, sono riportati in Tabella 13.

Tabella 13. Espressioni delle curve di consumo [kWh/km] COPERT per veicoli IC da 7 tonnellate

Consumo di energia veicolo IC 7t 0% < p < 30%	Espressione del consumo				
	$y(V) = (e + (a \cdot \exp^{-bx}) + (c \cdot \exp^{-dx})) \cdot 12.72$				
	Tavola dei coefficienti				
	a	b	c	d	e
	1.014595	-0.04122	187.4573	0.077275	75.34241
Consumo di energia veicolo IC 7t 31% < p < 70%	Espressione del consumo				
	$y(V) = ((a \cdot x^b) + (c \cdot x^d)) \cdot 12.72$				
	Tavola dei coefficienti				
	a	b	c	d	e
	0.001	2.55885	438	-0.4216	
Consumo di energia veicolo IC 7t 71% < p < 100%	Espressione del consumo				
	$y(V) = (((c \cdot x^2) + (b \cdot x) + a)^{-1}) \cdot 12.72$				
	Tavola dei coefficienti				
	a	b	c	d	e
	0.003614	0.000219	-1.9E-06		

Adottando i medesimi coefficienti di conversione IC - BEV riportati in Tabella 8, sono stati stimati in prima approssimazione i consumi elettrici di tutta la flotta. In Tabella 14 si riportano i risultati relativi allo scenario B.

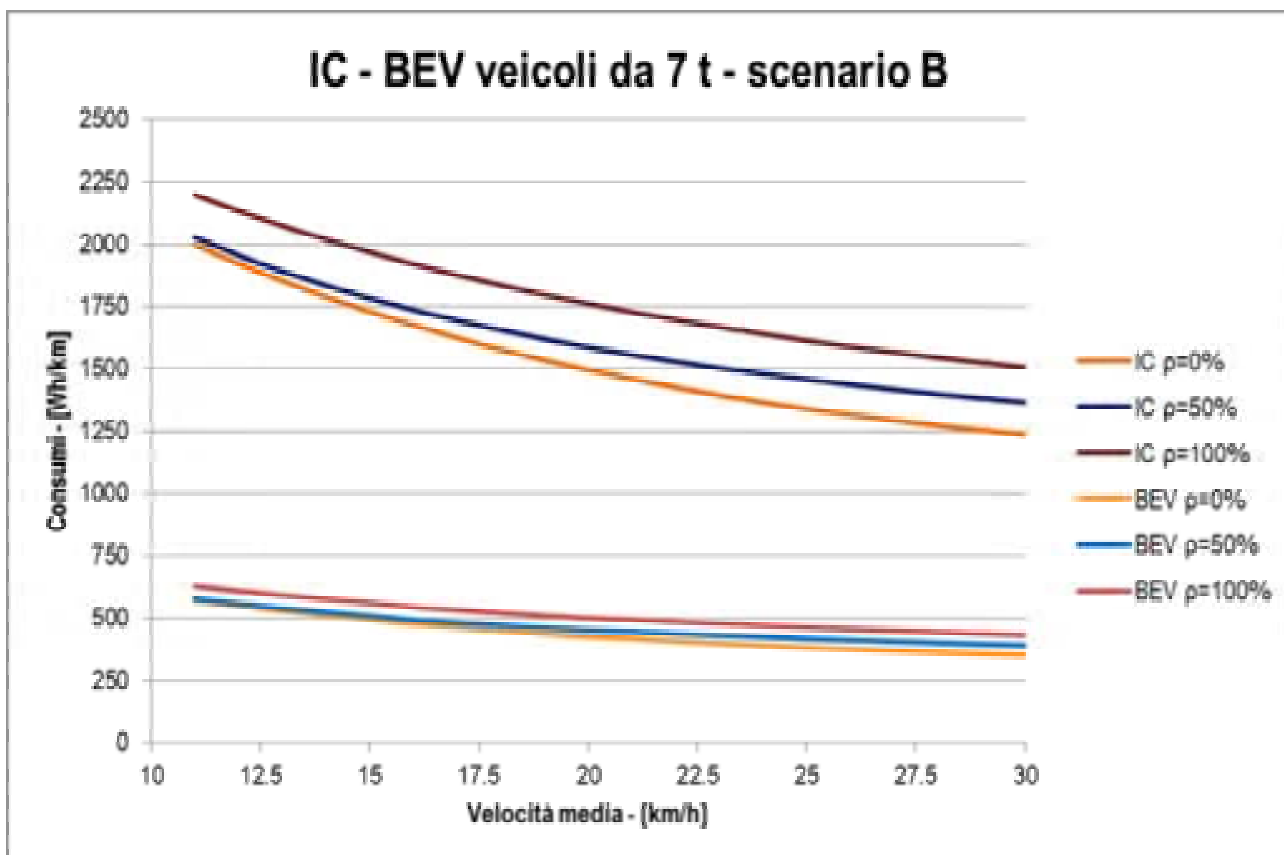


Figura 12. Confronto dei consumi energetici tra veicoli IC e BEV a parità di massa – scenario B.

Dal momento che il tempo di giro medio è nettamente più breve rispetto allo scenario precedente, il numero medio di giri che ciascun veicolo può compiere durante l'intervallo di accettazione della merce (sei ore) è notevolmente più alto. Questo implica una numerosità della flotta più bassa rispetto allo scenario A (si passa infatti da 23 a 19 veicoli). Tale risultato è tanto più importante considerando il fatto che i veicoli qui impiegati hanno una capacità pari al 50% di quelli utilizzati nello scenario A. Data la ridotta distanza tra i *transit point* e le destinazioni finali i veicoli-km, chiaramente, sono contenuti; ciò implica una riduzione del consumo complessivo dell'88% rispetto a quello stimato nello scenario A (136,9 kWh contro i 1205,3 kWh). I consumi medi per tonnellata sono in proporzione ancor più ridotti considerando che, a parità di domanda, i giri di consegna sono di lunghezza molto inferiore rispetto allo scenario precedente. Infine, si osserva come la soluzione di progetto non sfrutta appieno le potenzialità dei depositi: esistono infatti alcuni *transit point* cui affrisce un solo veicolo non utilizzando per intero la finestra temporale di esercizio. Questo risultato si traduce in un coefficiente di utilizzo temporale medio dei veicoli pari al 67,3%. Ogni veicolo percorre mediamente 12,7 km al giorno e consuma in media circa 7 kWh, valori ampiamente compatibili con l'autonomia delle batterie, per le quali si può assumere la ricarica notturna.

Tabella 14. Risultati scenario B

Indicatori	Unità	Valore
Scenario	-	B
Capacità dei veicoli	[t]	3,5
Domanda di progetto	[t/giorno]	278,08
Percentuale sul settore "Ristoranti/Tavole calde"	%	60%
Itinerari	-	94
Veicoli	-	19
Numero medio di giri a veicolo	[giri/veicolo]	4,95
<i>Transit Point</i>	-	10
Lunghezza media dei giri	[km]	2,58
Veicoli-km	[vkm]	242,50
Tempo medio dei giri	[min]	39'
Tempo medio di sosta per fermata	[hh:mm:ss]	00:16:35
Velocità commerciale media	[km/h]	3,97
Consumo totale	[kWh]	136,90
Consumo medio a km	[kWh/km]	0,565
Consumo medio a tonnellata trasportata	[kWh/t]	0,492
Numero medio di fermate per giro	-	1,54
Carico medio alla partenza	[t]	3,00
<i>Load factor</i> alla partenza	%	86%
Tempo addizionale di carico al deposito	[min]	10'
Tempo medio di utilizzo dei veicoli	[hh:mm:ss]	04:02:25
Finestra temporale di consegna	[h]	6
Coefficiente di utilizzo temporale medio dei veicoli	%	67,3

La Figura 13 illustra i percorsi seguiti dai veicoli nei diversi giri di distribuzione che partono dai diversi depositi.

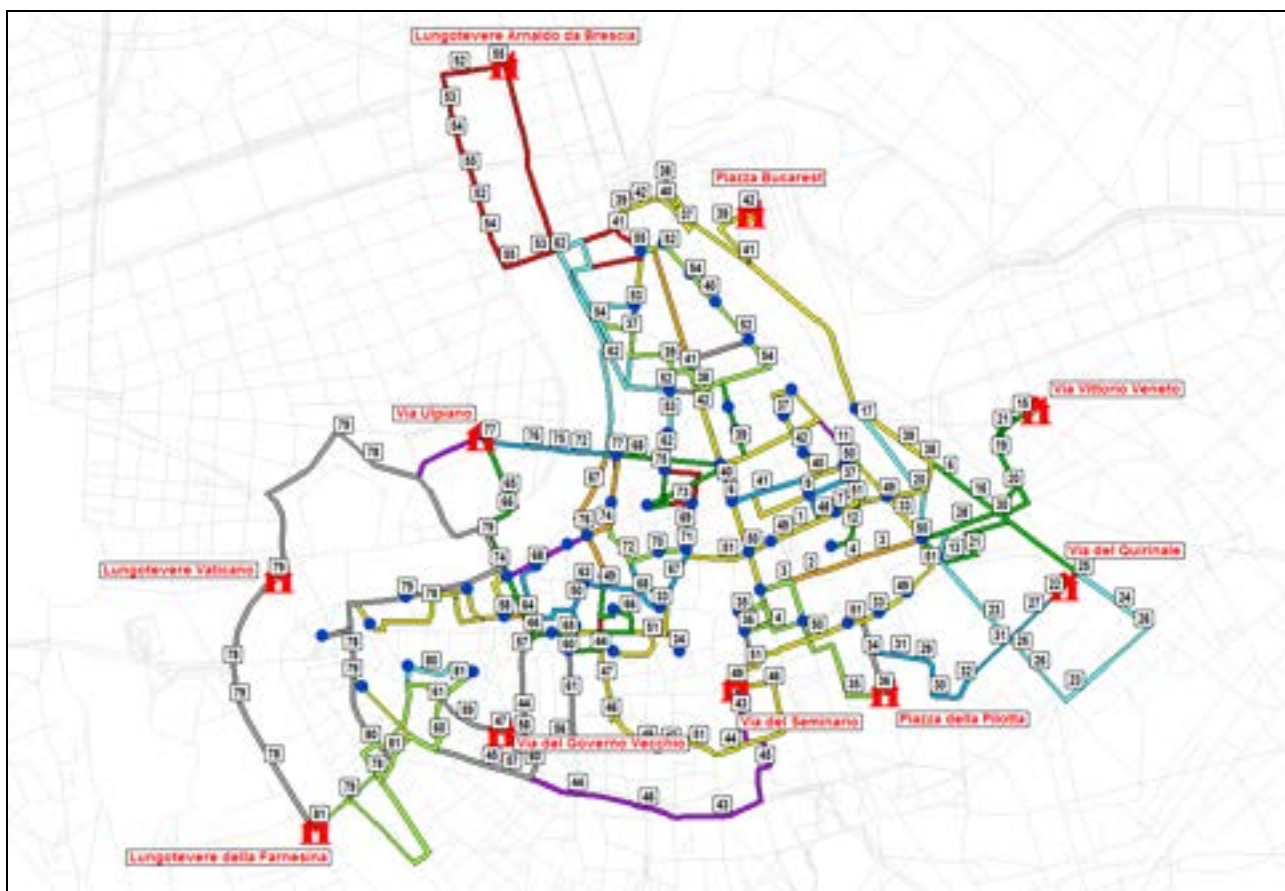


Figura 13. Dettaglio dei percorsi - scenario B

In conclusione, in Figura 14, si riporta l'andamento della velocità media, del carico e dei consumi specifici per un percorso a titolo esemplificativo. A differenza del caso precedente, nella figura non si osserva un lungo tratto senza consegne, data la vicinanza dei depositi al centro.

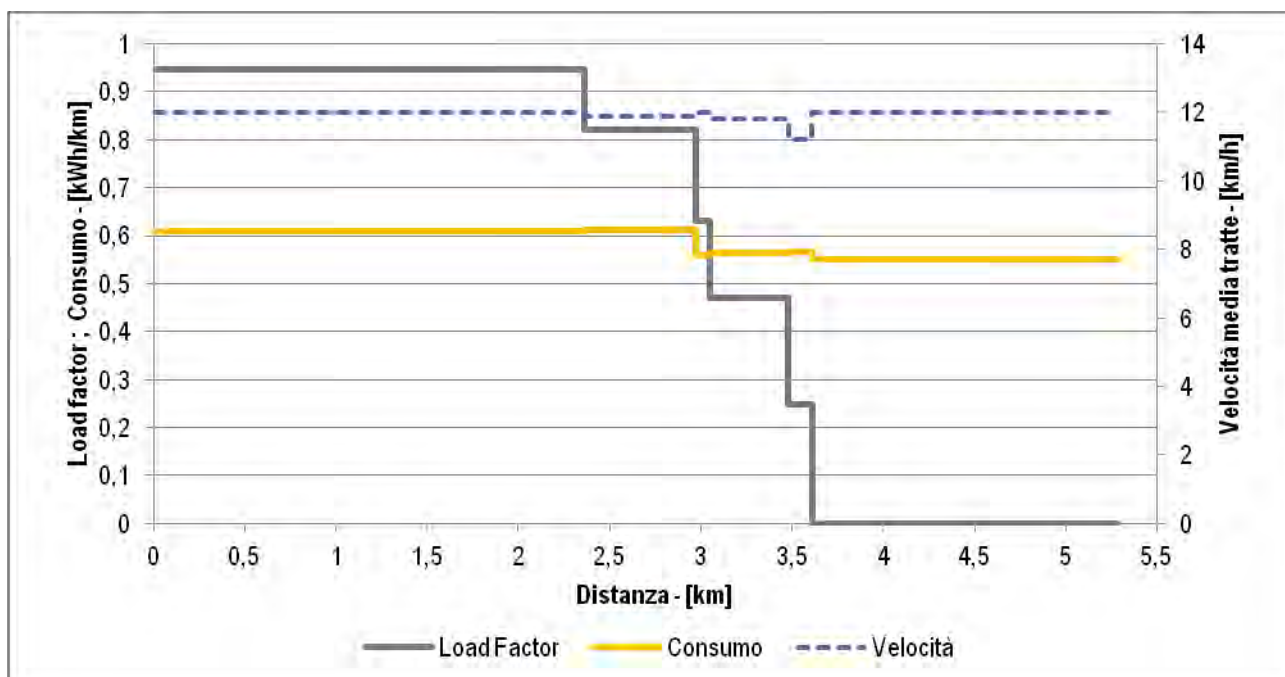


Figura 14. Andamento di *load factor*, consumo specifico e velocità per un percorso tipo - scenario B

Le considerazioni circa l'andamento delle tre grandezze fatte per lo scenario A restano valide anche qui: si nota un andamento piuttosto costante della velocità e di conseguenza dei consumi. Ciò è dovuto al fatto che si è eliminato il tratto al di fuori del centro in cui le velocità medie aumentavano.

2.7.3 Risultati e analisi di sensibilità – scenario B

Nelle Tabella 15 e nella Tabella 16 sono riportati i risultati dell'analisi di sensibilità condotta al variare della domanda, aggregati per tutti i percorsi di consegna. In particolare, la prima tabella riporta i risultati ottenuti ipotizzando una riduzione percentuale della domanda rispetto a quella di riferimento fino ad un minimo pari al 20%. La seconda, diversamente, riporta i risultati della simulazione corrispondenti ad un aumento della domanda fino ad un massimo pari al 110%. Inoltre, come evidenziato in Tabella 15, lo scenario di riferimento corrisponde allo scenario B5. Nell'analisi condotta si è ipotizzata l'invarianza di tutti gli altri parametri di progetto. È immediatamente riscontrabile un deciso aumento del coefficiente di utilizzo temporale dei veicoli all'aumentare della domanda. Ciò è dovuto ad un migliore sfruttamento dei depositi e lascia intendere che questa configurazione è più adatta a valori di domanda sempre maggiori. La velocità commerciale stimata risulta molto più bassa rispetto allo scenario A in quanto si elimina il tratto al di fuori del centro in cui le velocità medie sono più alte. Per quanto riguarda i consumi complessivi si stima un valore minimo di circa 52 kWh in corrispondenza della domanda minima ed uno massimo di 321 kWh. Anche in questo caso tutti gli altri indicatori non sembrano avere una diretta proporzionalità con l'andamento della domanda.

Tabella 15. Analisi di sensibilità dal 20% al 60% della domanda – scenario B

Analisi di sensibilità scenario B - domanda 20% -60%						
Indicatori	Unità	Valori				
Scenario	-	B1	B2	B3	B4	B5
Percentuale sul settore "Ristoranti/Tavole calde"	[t/giorno]	92,69	139,04	185,39	231,74	278,08
Domanda di progetto	%	20%	30%	40%	50%	60%
Itinerari	-	32	46	63	81	94
Veicoli	-	12	12	16	18	19
Numero medio di giri a veicolo	[giri/veicolo]	2,67	3,83	3,94	4,50	4,95
Lunghezza media dei giri	[km]	2,89	2,66	2,68	2,90	2,58
Veicoli-km	[vkm]	92,58	122,60	168,85	232,10	242,50
Tempo medio dei giri	[min]	45'	43'	41'	38'	39'
Tempo medio di sosta per fermata	[hh:mm:ss]	00:10:04	00:12:39	00:14:16	00:16:53	00:16:35
Velocità commerciale media	[km/h]	3,85	3,80	4,02	4,58	3,97
Consumo totale	[kWh]	52,30	70,00	95,90	120,40	136,90
Consumo medio a km	[kWh/km]	0,565	0,571	0,568	0,519	0,565
Consumo medio a tonnellata trasportata	[kWh/t]	0,564	0,503	0,517	0,520	0,492
Numero medio di fermate per giro	-	2,56	2,06	1,75	1,46	1,54
Carico medio alla partenza	[t]	2,9	3,0	2,90	2,90	3,00
Load factor alla partenza	%	83%	86%	83%	83%	86%
Tempo aggiuntivo di carico al deposito	[min]	10'	10'	10'	10'	10'
Tempo medio di utilizzo dei veicoli	[hh:mm:ss]	02:26:40	03:23:10	03:20:49	03:36:00	04:02:25
Coefficiente di utilizzo medio dei veicoli	%	40,7	56,4	55,8	60,0	67,3

Tabella 16. Analisi di sensibilità dal 70% al 110% della domanda – scenario B

Analisi di sensibilità - scenario B - domanda 70% - 110%						
Indicatori	Unità	Valori				
Scenario	-	B6	B7	B8	B9	B10
Percentuale sul settore "Ristoranti/Tavole calde"	%	70%	80%	90%	100%	110%
Domanda di progetto	[t/giorno]	324,43	370,78	417,12	463,47	509,82
Itinerari	-	118	127	151	191	232
Veicoli	-	23	27	29	33	37
Numero medio di giri a veicolo	[giri/veicolo]	5,13	4,70	5,21	5,79	6,27
Lunghezza media dei giri	[km]	2,54	2,54	2,63	2,61	2,52
Veicoli-km	[vkm]	299,35	322,13	397,36	498,79	584,2
Tempo medio dei giri	[min]	36'	38'	36'	34'	31'
Tempo medio di sosta per fermata	[hh:mm:ss]	00:18:47	00:18:35	00:17:14	00:16:44	00:17:18
Velocità commerciale media	[km/h]	3,91	3,91	4,05	4,02	3,88
Consumo totale	[kWh]	170,9	183,7	224,4	278,4	321,1
Consumo medio a km	[kWh/km]	0,571	0,570	0,565	0,558	0,550
Consumo medio a tonnellata trasportata	[kWh/t]	0,527	0,495	0,538	0,601	0,630
Numero medio di fermate per giro	-	1,26	1,32	1,38	1,22	1,08
Carico medio alla partenza	[t]	2,80	2,90	2,80	2,40	2,20
Load factor alla partenza	%	80%	83%	80%	69%	63%
Tempo addizionale di carico al deposito	[min]	10'	10'	10'	10'	10'
Tempo medio di utilizzo dei veicoli	[hh:mm:ss]	03:56:00	03:45:47	03:59:31	04:14:40	04:17:05
Coefficiente di utilizzo medio dei veicoli	%	65,6	62,7	66,5	70,7	71,4

In Figura 15 si riassumono gli andamenti dei principali indicatori sopra commentati.

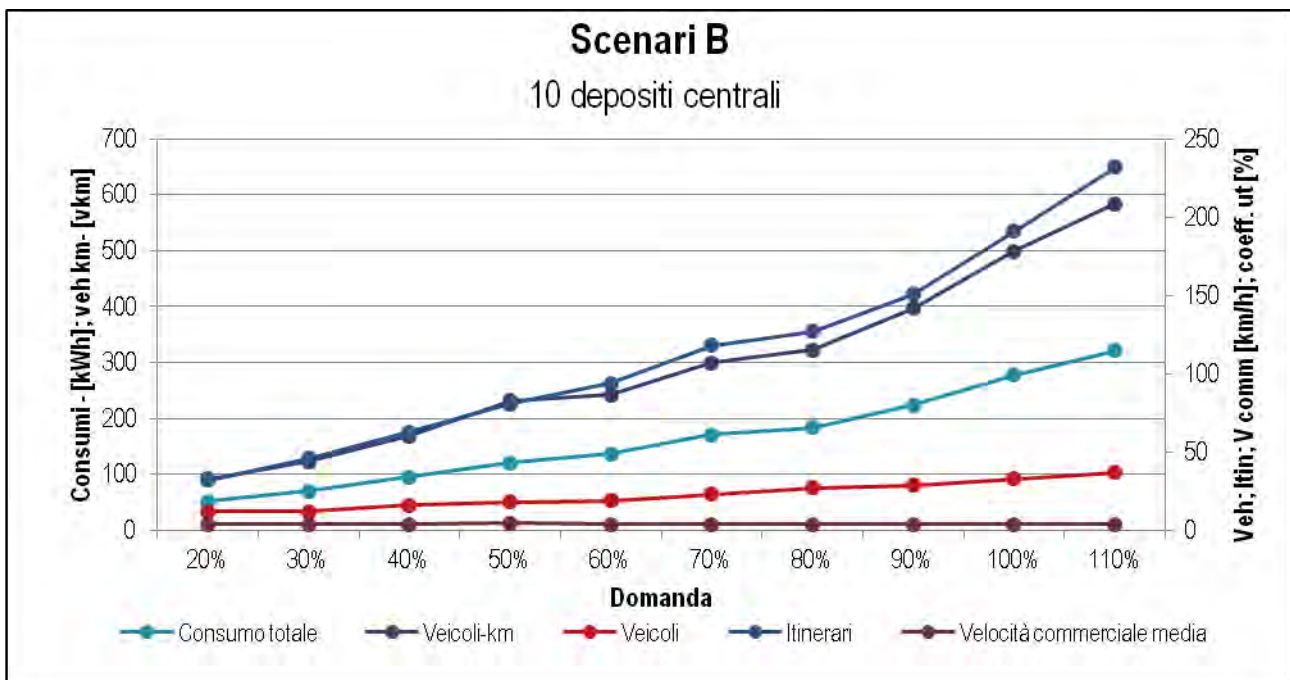


Figura 15. Analisi di sensibilità – scenario B

2.8 Confronto tra gli scenari

Lo studio ha come obiettivo una valutazione della sostenibilità di un sistema di distribuzione delle merci nell'ultimo miglio e del fabbisogno energetico relativo. A riguardo, sono stati ipotizzati due scenari alternativi, al fine di esemplificare due possibili differenti schemi di distribuzione, uno periferico (scenario A), l'altro concentrato (scenario B). Questi non sono in realtà direttamente comparabili, perché hanno una dislocazione spaziale differente. Da ciò consegue una differente percorrenza per la realizzazione delle stesse consegne, con un ovvio svantaggio per lo scenario A; questa differenza potrebbe essere corretta inserendo nello scenario B le percorrenze dei veicoli per raggiungere i depositi a ridosso dell'area centrale con mezzi di grandi dimensioni. L'operazione di omogeneizzazione non sarebbe però corretta, perché va considerato che la realizzazione di uno schema distributivo periferico, essendo distribuito su un'area più ampia, può avere un'organizzazione di distribuzione più articolata, che andrebbe definita analizzando tale area più ampia ed i suoi rapporti con il territorio esterno, poiché non necessariamente il trasporto ai transit point a ridosso dell'area centrale dovrebbe avvenire con consegne dirette.

Ciononostante, le figure seguenti riportano un confronto di alcuni indicatori di efficienza (consumo di energia per tonnellata trasportata, consumo di energia a km e coefficiente di utilizzazione temporale dei veicoli) nei due scenari.

L'obiettivo del confronto, per quanto detto in precedenza, non è di individuare lo scenario distributivo più conveniente, ma individuare le principali differenze strutturali nei due scenari, evidenziandone così le peculiarità, più in termini esemplificativi che di effettiva comparazione.

Lo scenario A, con distribuzione mediante depositi periferici, ha percorsi più lunghi con meno fermate e su strade di migliore scorrimento; per questo ha un consumo a km minore. Lo scenario B, con distribuzione mediante depositi a ridosso del Centro, ha percorsi più brevi e con numerose consegne; a fronte di un consumo chilometrico maggiore, è però molto più efficiente per tonnellata trasportata, poiché trasportare le stesse quantità vengono trasportate coprendo una distanza molto minore (Figura 16).

Viceversa, lo scenario B, per gli scenari di domanda meno elevata, fa un uso meno efficiente dei veicoli, in quanto conclude le consegne in tempi più rapidi dello scenario A (Figura 17). In questo caso il risultato è motivato dal vincolo operativo di associare un veicolo ad un deposito ed al dimensionamento della rete di depositi, effettuato sul massimo valore di domanda. Poiché anche nell'ipotesi di servire la totalità della domanda il numero di depositi risulta sovrabbondante, in un eventuale successiva fase di approfondimento

progettuale dello schema di distribuzione si renderebbe opportuna una correzione del dimensionamento. Tuttavia, poiché l'obiettivo dello studio consisteva in una stima di massima del fabbisogno energetico, e questo in realtà non cambierebbe molto con la riduzione del numero di depositi, che comporterebbe solo una riorganizzazione dei giri su un'area comunque limitata, né con la contestuale riduzione del numero di veicoli, che comporterebbe un allungamento dei tempi di consegna, richiedendo più giri per veicolo, senza però modificarne il percorso, i risultati sin qui riportati possono ritenersi significativi.

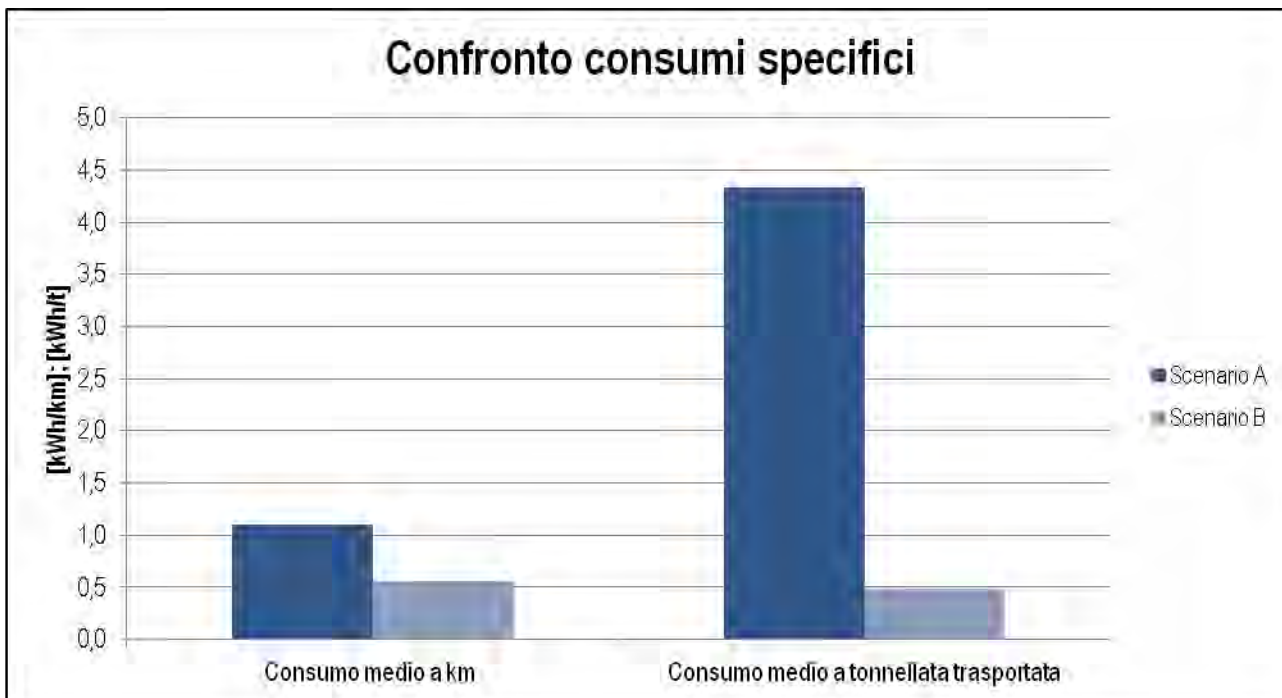


Figura 16. Confronto dei consumi specifici per tonnellata e km tra gli scenari A e B

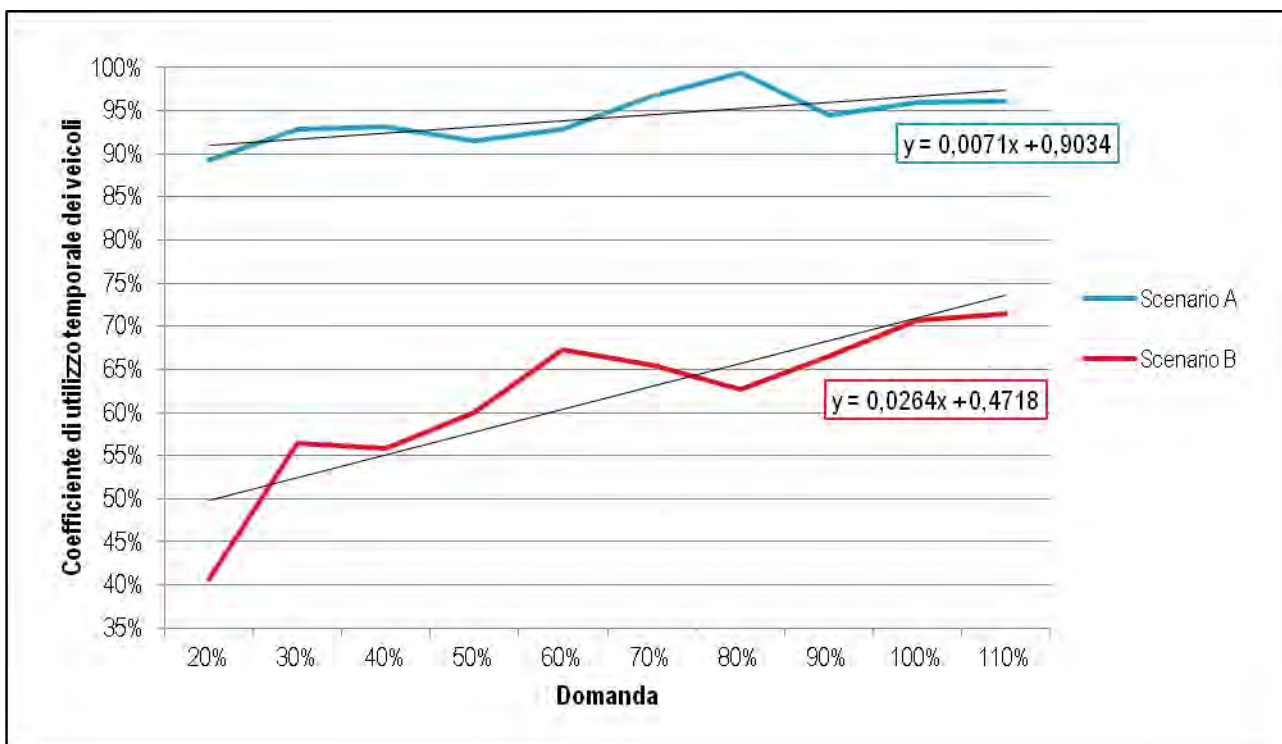


Figura 17. Confronto tra i coefficienti di utilizzo temporale dei veicoli

3 Conclusioni

Nel Deliverable sono stati descritti i risultati dell'applicazione di uno schema di distribuzione delle merci nel settore della ristorazione presenti in un'area di circa 1,7km² nel Centro storico di Roma, ipotizzando diverse percentuali di adesione al servizio e di variazione della domanda, e due scenari di offerta: il primo (scenario A), con 3 depositi periferici veicoli aventi portata di 7 t; il secondo (scenario B) con 10 transit point ai limiti dell'area centrale e veicoli con portata di 3,5 t.

Nello scenario A, la domanda di progetto, pari a 278 t, viene servita da 23 veicoli che percorrono circa 1.100 veic·km in 23 giri. Il consumo energetico complessivo in questo scenario è di circa 1.200 kWh. Ogni veicolo copre in media circa 47 km nelle 5:43' ore di servizio e consuma circa 52 kWh/giorno. Ciò implica la necessità di attenzione nel dimensionamento del pacco batterie, per consentire lo svolgimento del servizio senza ricarica in punti localizzati nell'area di consegna o nel ritorno al deposito.

Lo scenario B risulta più efficiente dal punto di vista trasportistico, in quanto evita i ritorni a vuoto. L'utilizzo di 10 *transit point* di dimensioni ridotte localizzati nelle immediate vicinanze del centro storico consente da un lato di ridurre le percorrenze totali medie di ciascun giro e dall'altro di utilizzare veicoli più piccoli e quindi più adatti alle esigenze del Centro storico e con un minor consumo specifico di energia.

I vantaggi di questo scenario risiedono innanzitutto nel fatto che essendo il tempo giro medio nettamente più basso rispetto allo scenario precedente, il numero medio di giri che ciascun veicolo può compiere durante l'intervallo di accettazione della merce (sei ore) è notevolmente più alto. Questo implica una numerosità della flotta più bassa rispetto allo scenario A (si passa infatti da 23 a 19 veicoli, nell'ipotesi di adesione del 60% degli esercizi di ristorazione). Tale risultato è importante considerando il fatto che i veicoli impiegati hanno una capacità pari al 50% di quelli utilizzati nello scenario A.

Data la ridotta distanza tra i *transit point* e le destinazioni finali, le percorrenze complessive sono ovviamente più contenute: circa 240 veicoli-km coperti in 94 giri; questo implica una riduzione del consumo complessivo dell'88% rispetto a quello stimato nello scenario A (137 kWh contro 1205 kWh). I consumi medi per tonnellata sono in proporzione ancor più ridotti (0,49 kWh/t contro 4,4kWh/t dello scenario A) poiché, a parità di domanda, i giri di consegna sono di lunghezza molto inferiore rispetto allo scenario precedente.

Ogni veicolo percorre mediamente 12,7 km al giorno e consuma in media circa 7 kWh, valori ampiamente compatibili con l'autonomia delle batterie, per le quali si può assumere la ricarica notturna.

L'unico svantaggio di tale soluzione di progetto risiede nel fatto che essa non sfrutta in pieno le potenzialità dei depositi: esistono infatti alcuni *transit point* cui affrisce un solo veicolo, che non utilizza per intero la finestra temporale di esercizio. Questo risultato si traduce in un coefficiente di utilizzo temporale medio dei veicoli pari al 67,3%.

Tutti i dati riportati in questo paragrafo di conclusioni sono riferiti allo scenario di domanda B5, cioè lo scenario con la domanda pari al 60% della domanda totale.

Per avere un'idea della rilevanza del consumo complessivo dei servizi di distribuzione merci rispetto ad altri segmenti del trasporto urbano, può essere interessante un confronto con i consumi energetici ottenuti nello studio dell'elettrificazione del trasporto pubblico, illustrati nel Deliverable 1.

Nell'applicazione al bacino Tiburtina, 10 linee di autobus sono esercite con una flotta di circa 100 veicoli elettrici di medio-grandi dimensioni (da 8 a 12m), che nell'ora di punta percorrono complessivamente circa 670km, trasportando circa 5.700 persone, con un consumo complessivo orario di circa 1.500kWh/h, superiore a quello giornaliero (circa 1.200kWh/giorno) richiesto nello scenario A per trasportare 278t utilizzando 23 veicoli da 12t di peso lordo, che percorrono complessivamente circa 617 km, per la distribuzione delle merci a circa 100 operatori della ristorazione, su un orizzonte temporale di poco meno di 6 ore. Per completezza del confronto, è opportuno si ricorda che il consumo giornaliero medio delle 10 linee di autobus del bacino Tiburtina è, nello scenario più efficiente, pari a circa 41.000kW/giorno.

La sola distribuzione nell'ultimo miglio, attuata con uno schema logistico più razionale, come nello scenario B, riduce ovviamente il consumo energetico di ben un ordine di grandezza, a fronte di una riduzione a circa 1/3 delle percorrenze complessive, realizzate però con veicoli di minori dimensioni.

In definitiva, l'introduzione di un servizio di distribuzione delle merci nell'ultimo miglio per i ristoranti e le tavole calde in un'ampia area del Centro storico, che rappresentano circa il 6% delle merci complessivamente attratte nell'area, comporta (ipotizzando un'adesione del 60% al servizio, corrispondente a circa 280t/giorno) un fabbisogno energetico di circa 140kWh/giorno e non pone problemi di ricarica durante i giri di consegna, che hanno un'estensione limitata, mediamente pari a circa 2,5km. La flotta necessaria, nell'ipotesi di servizio fatte nello studio (adesione del 60% degli esercenti, orario di distribuzione su non più di 6 ore, veicoli da 3,5t) è di 19 veicoli, che possono espletare il servizio di distribuzione in poco più di 4 ore. Il numero di transit point ipotizzato, 10, è relativamente elevato; ciò è stato fatto immaginando la possibilità di estensione del servizio ad altre categorie o al 100% degli esercizi di ristorazione. Nel caso di incremento della domanda da servire da 278t a 510t, richiederebbe 37 veicoli ed un consumo energetico di circa 320kWh/giorno, per coprire 580km complessivi.

4 Riferimenti bibliografici

1. Unindustria (2013). "Logeco". Sito web: www.logeco.it
2. Geodis (2012). "Distripolis: Geodis invents the urban logistics of the future". Press kit. http://www.geodislogistics.fr/file/dossierpresse/pj/b1/e9/08/a5/dp_distripolis_en5382574943892199980.pdf
3. Centro di Ricerca per il Trasporto e la Logistica (2008). "Studio di settore per la mobilità delle merci a Roma" per conto di ATAC, Agenzia per la Mobilità del Comune di Roma.
4. S.T.A. (2000). "Studio per la mobilità delle merci nell'area centrale di Roma". Rapporto tecnico a cura di Gaetano Fusco. Società Trasporti Automobilistici, Roma, Italia.
5. J. Allen, T. Cherret, M. Browne (2012). "Towards a more detailed understanding of urban road freight activity", submitted to Research in Transportation Economics.
6. A. Comi, P. Delle Site, F. Filippi, A. Nuzzolo (2012). "Urban freight transport demand modelling: A state of the art". European Transport, Vol. 51.
7. P. Delle Site, F. Filippi, A. Nuzzolo (2013). "Linee guida dei piani di logistica urbana sostenibile". Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna, Italia.
8. G.Fusco, M.P.Valentini (2007). "A Dynamic Procedure for Real-Time Delivery Operations at an Urban Freight Terminal", in Transport Science and Technology, edited by Kostas Goulias, Elsevier Science, 2007.
9. M.P. Valentini, G. Fusco, C. Colombaroni, V. Conti (2008). "Citylog@, A Software Tool for City Logistics Operation: Testing and Validation Activities", in "Innovation in City Logistics" edited by Eiichi Taniguchi and Russell G. Thompson. Nova Science Publishers Inc., ISBN 978-1-60456-725-0.
10. Bestufs (2007). Buone pratiche di trasporto merci in ambito urbano. http://www.bestufs.net/download/BESTUFS_II/good_practice/Italian_BESTUFS_Guide.pdf.
11. G. Fusco, C. Colombaroni, F. Giubilei (2013). "Deliverable 1: Scenari di elettrificazione della rete di trasporto pubblico a Roma – Il fabbisogno energetico".
12. EEA (2007). European Environment Agency, EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook – 2007, Technical Report no. 16/2007, Chapter B710, Published December 06, 2007.
13. F. Giubilei, "Progettazione di una rete di trasporto pubblico con veicoli elettrici", Tesi di laurea magistrale, marzo 2013, Università degli Studi di Roma La Sapienza, Facoltà di Ingegneria Civile e Industriale.
14. G. Fusco, A. Alessandrini, C. Colombaroni, M.P. Valentini (2013). A model for transit design with choice of electric charging system", paper submitted for publication to: Procedia - Social and Behavioral Sciences, Elsevier.

5 Curriculum scientifico del gruppo di lavoro

Gaetano Fusco (Responsabile scientifico)

Ingegnere civile trasporti dal 1990, ricercatore universitario dal 1992, dal 2005 è professore associato di Trasporti presso l'Università degli Studi di Roma "La Sapienza", dove insegna Ingegneria del traffico e Sistemi di trasporto intelligenti. E' esperto tecnico scientifico del MIUR, per conto del quale svolge attività di valutazione dei progetti di ricerca industriale e di base.

E' coordinatore scientifico di numerosi progetti di ricerca nel campo dei trasporti, commissionati da enti pubblici e privati per conto del Dipartimento di Ingegneria, Civile, Edile ed Ambientale e del Centro di Ricerca per il Trasporto e la Logistica dell'Università degli Studi di Roma "La Sapienza".

I suoi interessi scientifici, documentati in oltre 70 pubblicazioni, riguardano la progettazione dei sistemi di trasporto, la regolazione delle reti, la gestione dei sistemi di trasporto e distribuzione delle merci.

Adriano Alessandrini

Ingegnere meccanico dal 1998 e dottore di ricerca in energetica dal 2003, è attualmente Ricercatore presso il CTL – Centro di Ricerca per il Trasporto e la Logistica dell'Università degli Studi di Roma "La Sapienza". Svolge, principalmente, attività di ricerca in due settori: il consumo energetico e della produzione di emissioni inquinanti di veicoli e reti di trasporto; i veicoli ed i sistemi di trasporto innovativi. Fra le sue attività vi sono la partecipazione e la conduzione a progetti di ricerca europei, la realizzazione di studi di fattibilità, il rilievo sperimentale di dati sui veicoli e la valutazione dei progetti.

Dal Settembre del 2012 Adriano è coordinatore del progetto Europeo CityMobil2 una delle maggiori iniziative della Commissione Europea per diffondere i sistemi di trasporto a guida automatica non vincolata. Nel Progetto 12 città si contendono 5 dimostrativi.

Andrea Campagna

Ingegnere meccanico dal 2001 e dottore di ricerca in Ingegneria dei Trasporti dal 2005, è attualmente Assegnista di Ricerca presso il CTL – Centro di ricerca per il Trasporto e la Logistica della stessa università. Collabora con la Regione Lazio, Direzione Trasporti, in qualità di Coordinatore tecnico/scientifico del progetto strategico FUTUREMED nell'ambito del Programma MED della Commissione Europea ed ha lavorato in diversi progetti europei di ricerca per conto dell'Università La Sapienza sin dal 2002. Ha condotto diversi progetti sulla logistica urbana, tra cui, recentemente LOGeco. Svolge anche attività di formazione sulla logistica, il supply chain management, le tecnologie ICT per il trasporto merci. Ha partecipato come relatore in diversi convegni internazionali.

Chiara Colombaroni

Ingegnere dei sistemi di trasporto dal 2006 e dottore di ricerca in Ingegneria dei Trasporti dal 2011, dal 2006 al 2013 ha collaborato con il Centro di Ricerca per il Trasporto e la Logistica dell'Università degli Studi di Roma "La Sapienza", dove dal 2011 al 2013 è stata assegnista di ricerca. E' attualmente ricercatrice a tempo determinato presso l'Università di Roma Niccolò Cusano, dove insegna Tecnica ed economia dei trasporti e Tecnologie per il trasporto sostenibile.

La sua attività di ricerca riguarda la macro e micro simulazione dei sistemi di trasporto, la regolazione delle reti, la calibrazione di modelli comportamentali e prestazionali.

Federico Giubilei

Ingegnere dei Sistemi di Trasporto, laureato con lode presso l'Università di Roma "La Sapienza" nel marzo 2013, con una tesi sulla progettazione di linee di trasporto pubblico di superficie con veicoli elettrici. È coautore di una pubblicazione sul "Journal of Transport Literature" dal titolo "Urban Freight by rail". E' titolare di una borsa di studio conferita dal Centro di Ricerca per il Trasporto e la Logistica dell'Università degli Studi di Roma "La Sapienza" per una ricerca sui consumi energetici dei veicoli elettrici.

Giuliana Iazeolla

Ingegnere dei Sistemi di Trasporto, laureata con lode presso l'Università di Roma "La Sapienza" nel marzo 2013, con una tesi sulla calibrazione dei modelli di assegnazione mediante dati FCD (Floating Car Data). Il suo interesse scientifico riguarda l'ingegneria del traffico e i sistemi di trasporto intelligenti. E' titolare di una borsa di studio conferita dal Centro di Ricerca per il Trasporto e la Logistica dell'Università degli Studi di Roma "La Sapienza" per una ricerca sulla simulazione dei sistemi di trasporto.

Burcu Kocoglu

Studentessa iscritta al quarto anno della Facoltà di Ingegneria della Middle East Technical University (METU) di Ankara (Turchia), è titolare di una borsa di studio del programma di collaborazione internazionale Erasmus Internship Activity, in virtù della quale collabora con il Dipartimento di Ingegneria, Civile, Edile ed Ambientale dell'Università degli Studi di Roma "La Sapienza".