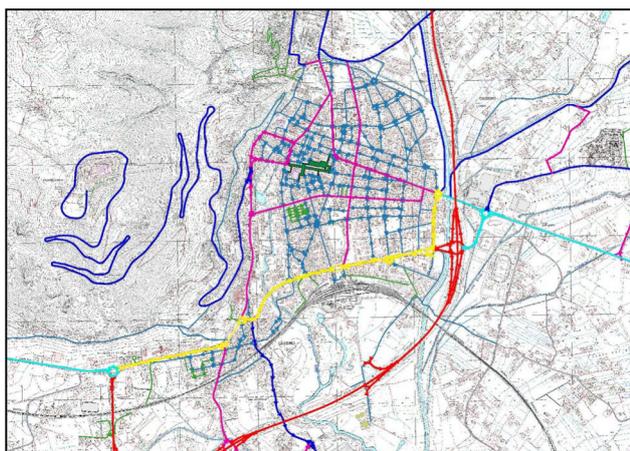


COMUNE DI CASSINO

Provincia di Frosinone

PIANO GENERALE DEL TRAFFICO URBANO



contenuto del fascicolo:

RELAZIONE GENERALE

Elaborato n°

1A bis

rif.

revisione

data

15 Febbraio 2024

AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI CASSINO



Progettisti:

Ufficio tecnico del Comune di Cassino: Ing. Mario Lastoria

Consulenza scientifica: Università degli studi di Cassino e del Lazio Meridionale

Gruppo di lavoro: Prof. Ing. Mauro D'Apuzzo, Ing. Giuseppe Cappelli, Ing. Martina Furioso, Ing. Sofia Nardoiani, Ing. Gianluca Felice Pilla

03043 CASSINO (FR) Via Di Biasio 144 Tel./fax 0776/311097

Sommario	
Indice delle figure	2
Indice delle tabelle	5
INTRODUZIONE E PREMESSA METODOLOGICA.....	7
INTEGRAZIONE ED AGGIORNAMENTO AL PUT 2016.....	15
QUADRO CONOSCITIVO.....	17
Descrizione dell'area di studio.....	17
Recenti interventi sulla mobilità	17
Dati socioeconomici e descrizione degli spostamenti.....	19
Rilievi di traffico.....	25
Questionario sulla mobilità di Cassino	28
<i>Inquadramento territoriale</i>	29
<i>Struttura del questionario</i>	31
<i>Analisi dei risultati</i>	32
<i>Risultati concernenti il modulo "Quanto sei green?"</i>	35
<i>Proposte per migliorare la mobilità sostenibile di Cassino</i>	37
Analisi dei flussi pedonali.....	41
<i>Costruzione della rete e raccolta delle variabili</i>	41
<i>Rilievo dei pedoni</i>	44
<i>Risultati</i>	46
<i>Analisi con dati post-Covid</i>	50
Rilevazione linee TPL.....	54
<i>Inquadramento territoriale</i>	54
<i>Descrizione delle linee TPL</i>	55
<i>Verifica dei nuovi percorsi</i>	56
QUADRO PROGETTUALE.....	59
Richiami metodologici.....	59
<i>Modello di generazione o emissione</i>	62
<i>Modello di distribuzione</i>	63
<i>Modello di scelta modale</i>	63
<i>Modello di scelta del percorso</i>	64
Analisi e macrosimulazione dello stato di fatto: calibrazione del modello.....	65
<i>Raccolta dati e conteggi di traffico</i>	67
<i>Validazione del modello di traffico macroscopico</i>	75

Analisi e macrosimulazione di traffico dello stato di progetto	77
<i>Analisi delle prestazioni tramite un approccio micro-simulativo</i>	81
<i>Modello microscopico ed analisi microsimulativa</i>	89
<i>Analisi dei tempi di percorrenza tra stato di fatto e di progetto</i>	92
<i>Descrizione degli impianti semaforici nella zona di studio</i>	93
Descrizione delle proposte progettuali	96
<i>Valutazione del risparmio temporale</i>	99
<i>Analisi mediata sulle fasce orarie: risultati</i>	101
<i>Riepilogo delle soluzioni migliorative mediate sulle fasce orarie</i>	106
<i>Analisi sulla singola fascia oraria: risultati</i>	109
Analisi di traffico della zona pedonale con la presenza del mercato	124
Analisi di traffico nuova viabilità zona Folcara	129
Valutazione degli ingombri dinamici	131

Indice delle figure

Fig. 1. Piazza XV Febbraio.	18
Fig. 2. Pista ciclo-pedonale, rappresentazione tratta dall'estratto "piste ciclabili" del PUT 2016 Figura 3-20 rete degli itinerari ciclabili esistenti.	18
Fig. 3. Andamento popolazione su scala annuale (2002-2019).	20
Fig. 4. Popolazione totale.	21
Fig. 5. Occupati residenti.	22
Fig. 6. Addetti attratti	22
Fig. 7. Attività presenti.	23
Fig. 8. Studenti residenti.	23
Fig. 9. Modulo del rilievo del traffico veicolare di una intersezione.	25
Fig. 10. Sezione di indagine.	26
Fig. 11. Istituti scolastici nel Comune di Cassino.	29
Fig. 12. Struttura del questionario.	32
Fig. 13. Compilazione in base al numero dei componenti che si spostano in modo autonomo.	33
Fig. 14. Frequenza nell'utilizzo della bici.	35
Fig. 15. Tempo trascorso in bici.	36
Fig. 16. Interventi al fine di aumentare la frequenza del trasporto pubblico.	37
Fig. 17. Interventi al fine di aumentare la frequenza dello spostamento a piedi o con mezzi non motorizzati.	38
Fig. 18. Problematiche che rallentano la corsa verso la mobilità sostenibile.	39
Fig. 19. Interventi da promuovere per l'incentivazione della mobilità sostenibile.	40
Fig. 20. Porzione del centro di Cassino interessata dallo studio.	41
Fig. 21. Descrizione della procedura.	42
Fig. 22. Zone isolate del centro in quanto prive di attraversamento pedonale.	43
Fig. 23. Bing Mappe Veduta aerea; a sinistra, cerchiata in rosso, la posizione della rotatoria nell'area dell'anfiteatro romano di Cassino e a destra ingrandita nel dettaglio. (Fonte: https://	

//www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html? webmap=4628bbe4f10b4a81b41b520ba5cae20).	45
Fig. 24. Rappresentazione tematica dei risultati dell'analisi ponderata con P_{prox} , con legenda dei valori di Integrazione in base ai colori.	47
Fig. 25. Identificazione degli attrattori presenti nell'area di studio	48
Fig. 26. Esercizi commerciali presenti in rete	48
Fig. 27. Risultati con analisi ibrida ponderata.	50
Fig. 28. Percorso feriale post-Covid.	51
Fig. 29. Percorso pre-festivo post-Covid.	51
Fig. 30. Confronto tra il conteggio dei pedoni pre e post Covid.	52
Fig. 31. Pre-Covid a) calibrazione del modello predittivo di conteggio dei pedoni e b) corrispondenti statistiche di Pearson tra flussi pedonali misurati e previsti.	52
Fig. 32. Post-Covid a) calibrazione del modello predittivo di conteggio dei pedoni e b) corrispondenti statistiche di Pearson tra flussi pedonali misurati e previsti.	53
Fig. 33. Attuale offerta TPL nel Comune di Cassino.	54
Fig. 34. Linee TPL (PUT 2016).	55
Fig. 35. Linea 8 - Magni (in verde indicata l'attuale area pedonale).	56
Fig. 36. Linea 17 - Magni (in verde indicata l'attuale area pedonale).	57
Fig. 37. Linea 11 - Mastrantoni (in verde indicata l'attuale area pedonale).	57
Fig. 38. Linea 12 - Mastrantoni (in verde indicata l'attuale area pedonale).	58
Fig. 39. Linea 16 – Mastrantoni (in verde indicata l'attuale area pedonale).	58
Fig. 40. Linea 18 - Mastrantoni (in verde l'attuale area pedonale).	59
Fig. 41. Comune di Cassino (QGis): Zonizzazione ed individuazione dei centroidi.	66
Fig. 42. Comune di Cassino (QGis): Zonizzazione ed individuazione dei centroidi (particolare).	66
Fig. 43. Localizzazione delle diverse intersezioni prese in esame al fine di ricavare dei conteggi di traffico adatti alle analisi svolte ed alla calibrazione del modello di traffico macroscopico.	67
Fig. 44. Nuovi conteggi di traffico raccolti a maggio 2023 a seguito dell'inizio lavori per la realizzazione dell'isola pedonale.	68
Fig. 45. Rappresentazione grafica della domanda mediante linee di desiderio (mattina).	70
Fig. 46. Rappresentazione grafica della domanda mediante linee di desiderio (pranzo).	70
Fig. 47. Rappresentazione grafica della domanda mediante linee di desiderio (pomeriggio).	71
Fig. 48. Risultato grafico dell'assegnazione per la fascia oraria pomeridiana di punta (17:30-18:30).	72
Fig. 49. Risultato grafico dell'assegnazione per la fascia oraria mattutina di punta mediante la rappresentazione del rapporto di saturazione (07:15-08:15).	72
Fig. 50. Risultato grafico dell'assegnazione per la fascia oraria di pranzo di punta mediante la rappresentazione del rapporto di saturazione (12:30-13:30).	73
Fig. 51. Risultato grafico dell'assegnazione per la fascia oraria pomeridiana di punta mediante la rappresentazione del rapporto di saturazione (17:30-18:30).	73
Fig. 52. Confronto flussi prima della fase di calibrazione nella finestra temporale in esame (07:15-08:15) di un giorno feriale tipo ($P=0.7068$).	74
Fig. 53. Confronto flussi dopo la fase di calibrazione nella finestra temporale in esame (07:15-08:15) di un giorno feriale tipo ($P=0.9508$).	74
Fig. 54. Confronto flussi prima della fase di calibrazione nella finestra temporale in esame (12:30-13:30) di un giorno feriale tipo ($P=0.4283$).	74
Fig. 55. Confronto flussi dopo la fase di calibrazione nella finestra temporale in esame (12:30-13:30) di un giorno feriale tipo ($P=0.9217$).	74
Fig. 56. Confronto flussi prima della fase di calibrazione nella finestra temporale in esame (17:30-18:30) di un giorno feriale tipo ($P=0.5303$).	74
Fig. 57. Confronto flussi dopo la fase di calibrazione nella finestra temporale in esame (17:30-18:30) di un giorno feriale tipo ($P=0.9223$).	74
Fig. 58. Risultati relativi alla procedura di validazione per la fascia oraria delle 07:30-08:30.	76

Fig. 59. Risultati relativi alla procedura di validazione per la fascia oraria delle 12:30-13:30.	76
Fig. 60. Risultati relativi alla procedura di validazione per la fascia oraria delle 17:30-18:30.	77
Fig. 61. Un dettaglio dell'area di studio: in verde l'area pedonale e in rosso la Zona 30 nello scenario ex post.	78
Fig. 62. Due itinerari per effettuare trasferimenti tra punto A e punto B in condizione ex-ante.	78
Fig. 63. Nella condizione ex-post, per i viaggi tra A e B, gli utenti dovranno scegliere itinerari diversi e sperimenteranno tempi di percorrenza diversi.	79
Fig. 64. Risultato grafico dell'assegnazione per la fascia oraria pomeridiana di punta (17:30-18:30).	79
Fig. 65. Risultato grafico dell'assegnazione per la fascia oraria mattutina di punta mediante la rappresentazione del rapporto di saturazione (07:15-08:15).	80
Fig. 66. Risultato grafico dell'assegnazione per la fascia oraria di pranzo di punta mediante la rappresentazione del rapporto di saturazione (12:30-13:30).	80
Fig. 67. Risultato grafico dell'assegnazione per la fascia oraria serale di punta mediante la rappresentazione del rapporto di saturazione (17:30-18:30).	81
Fig. 68. Illustrazione grafica della teoria del Car Following.	84
Fig. 69. Illustrazione grafica della teoria del Lane Changing.	87
Fig. 70. Illustrazione grafica della teoria del Gap Acceptance.	87
Fig. 71. Area di studio presa in esame al fine di valutare, tramite un modello microsimulativo, le caratteristiche in termini di prestazione della rete di Cassino nella zona più influenzata dalla realizzazione dell'isola pedonale.	91
Fig. 72. Confronto tempi di percorrenza tra lo stato di fatto e quello di progetto con la presenza dell'isola pedonale.	92
Fig. 73. Rappresentazione dei ritardi sperimentati tra lo stato di fatto e di progetto.	93
Fig. 74. Impianto semaforico tra Corso della Repubblica e Via Marconi.	94
Fig. 75. Impianto semaforico tra Corso della Repubblica, Via Verdi e Via Bari.	94
Fig. 76. Impianto semaforico tra Via Enrico De Nicola, Via degli Eroi e Via Bari.	94
Fig. 77. Impianto semaforico tra Via Enrico De Nicola, Via Marconi	95
Fig. 78. Impianto semaforico tra Via Gari, Via Pascoli e Via Arigni.	95
Fig. 79. Impianto semaforico tra Via Enrico De Nicola, Via Falaise e Via Giovanni Pascoli	95
Fig. 80. Impianto semaforico tra Via Bonomi e Viale Dante.	96
Fig. 81. Schema attuale dei mercati del sabato mattina suddivisi per tipologia merceologica.	125
Fig. 82. Rappresentazione della saturazione degli archi stradali nel Comune di Cassino nello scenario di punta delle 09:15-10:15 del sabato mattina con la presenza dei diversi mercati rionali.	126
Fig. 83. Prima proposta del Comune di Cassino riguardo una nuova disposizione degli stalli degli espositori del mercato del sabato mattina.	127
Fig. 84. Seconda proposta del Comune di Cassino riguardo una nuova disposizione degli stalli degli espositori del mercato del sabato mattina.	127
Fig. 85. Viabilità zona Folcara nello stato di fatto.	129
Fig. 86. Viabilità zona Folcara nello stato di progetto.	130
Fig. 87. Raggi minimi per la svolta di un autobus.	132
Fig. 88. Dimensioni Autobus urbano.	132
Fig. 89. Raggi minimi per la svolta di un autoarticolato.	133
Fig. 90. Dimensioni Autoarticolato.	133
Fig. 91. Svolta autoarticolato da C.so della Repubblica a Via Arigni.	134

Indice delle tabelle

Tab. 1. Elaborati PUT 2016 – Integrazione 2024.	16
Tab. 2. Popolazione in diversi anni di rilevamento.	19
Tab. 3. Alcune informazioni sulle zone di traffico individuate.	20
Tab. 4. Pesi veicoli equivalenti.	28
Tab. 5. Conteggi di compilazione.	33
Tab. 6. Confronto tra flussi stimati con il modello microscopico e flussi rilevati mediante conteggi di traffico mediante il coefficiente P (coefficiente di Pearson).	75
Tab. 7. Descrizione delle soluzioni progettuali base prese in esame.	97
Tab. 8. Matrice di combinazione delle soluzioni progettuali base.	99
Tab. 9. Tabella riassuntiva delle proposte progettuali che presentano in miglioramento rispetto allo stato di fatto in termini di risparmio temporale.	103
Tab. 10. Tabella riassuntiva delle migliori dieci proposte progettuali trovate.	106
Tab. 11. Tabella riassuntiva delle migliori soluzioni progettuali trovate per la fascia oraria della mattina.	110
Tab. 12. Tabella riassuntiva delle migliori soluzioni progettuali trovate per la fascia oraria del pranzo.	114
Tab. 13. Tabella riassuntiva delle migliori soluzioni progettuali trovate per la fascia oraria del pomeriggio.	119
Tab. 14. Migliori soluzioni individuate per singola fascia oraria.	123
Tab. 15. Distribuzione degli avventori ai mercati rionali di Cassino mediante l'utilizzo di un modello gravitativo.	126
Tab. 16. Migliori soluzioni individuate per singola fascia oraria.	128
Tab. 17. Riepilogo analisi sulla zona Folcara per singola fascia oraria.	131

INTRODUZIONE E PREMESSA METODOLOGICA

L'articolo 36 del nuovo Codice della Strada (D. Lgs. 30 Aprile 1992, n. 285) rende obbligatoria per tutti i comuni con popolazione residente superiore ai 30.000 abitanti l'adozione del "Piano Urbano del Traffico veicolare" (PUT); lo stesso obbligo è esteso anche a tutti quei comuni che, pur avendo popolazione residente inferiore al limite fissato, registrino una particolare affluenza turistica o siano interessati da elevati fenomeni di pendolarismo o, ancora, siano impegnati alla soluzione di rilevanti problematiche derivanti dalla congestione della circolazione stradale.

Nel Supplemento Ordinario alla G. U. del 24/06/1995; sono state emanate le "Direttive per la Redazione, Adozione ed Attuazione dei Piani Urbani del Traffico", che trattano sia la fase della redazione del PUT, per la quale hanno "valenza di prescrizioni", sia le fasi dell'adozione e dell'attuazione dello stesso. Il PUT viene definito come "*un insieme coordinato di interventi per il miglioramento delle condizioni della circolazione stradale nell'area urbana, dei pedoni, dei mezzi pubblici e dei veicoli privati, realizzabili nel breve periodo - arco temporale biennale - e nell'ipotesi di dotazioni di infrastrutture e mezzi di trasporto sostanzialmente invariate*"; esso è perciò fondamentalmente teso ad una migliore gestione degli spazi stradali esistenti e, ove necessario, del sistema di trasporto pubblico collettivo stradale. In questo caso il PUT viene più propriamente denominato "Piano della mobilità".

Il PUT, in funzione del grado di affinamento delle proposte di intervento e dei livelli approvati, viene suddiviso in tre livelli di progettazione, rappresentativi anche del suo specifico iter di approvazione da parte degli organi istituzionali competenti.

Il *primo livello di progettazione* è il **Piano generale del traffico urbano (PGTU)**, inteso come progetto preliminare relativo all'intero centro abitato. Esso deve indicare la politica intermodale adottata, la qualificazione funzionale dei singoli elementi della viabilità principale e degli eventuali elementi della viabilità locale destinata esclusivamente ai pedoni, il dimensionamento preliminare degli interventi previsti ed il loro programma generale di esecuzione (priorità di interventi). Con riferimento alla domanda di mobilità, il piano deve proporre progetti di miglioramento e/o riorganizzazione delle quattro componenti fondamentali del traffico (circolazione pedoni, movimento dei veicoli collettivi, movimento dei veicoli privati, organizzazione della sosta). Gli elaborati progettuali del PGTU si compongono di una serie elaborati grafici accompagnati da una

relazione tecnica contenente gli effetti previsti dall'attuazione del piano sulla domanda di mobilità e la descrizione dei dati e dei metodi di calcolo utilizzati.

Il *secondo livello di progettazione* è quello dei ***Piani particolareggiati del traffico urbano***, intesi quali progetti di massima per l'attuazione del PGTU; essi riguardano ambiti territoriali più ristretti di quelli dell'intero centro abitato (circoscrizioni, settori urbani, quartieri, etc.) od ambiti modali specifici quali ad esempio l'organizzazione delle sosta ed il Piano Urbano Parcheggi, l'organizzazione e la progettazione di dettaglio della mobilità sostenibile che si sostanzia prevalentemente nello studio degli itinerari ciclo-pedonali, la razionalizzazione dell'offerta del Trasporto Pubblico Locale, dentro il perimetro degli interventi e delle disponibilità proprie dell'Amministrazione Comunale. Gli interventi previsti devono costituire dei lotti funzionali, nel senso che con la loro attuazione non deve peggiorare la situazione del traffico nelle aree circostanti a quella di intervento. I piani particolareggiati devono indicare il dimensionamento di massima degli interventi previsti per tutta la viabilità, principale e locale, all'interno del rispettivo ambito territoriale di studio con i rispettivi schemi di circolazione. Anche gli elaborati grafici previsti in questo livello di progettazione devono essere accompagnati da una relazione tecnica comprendente il proporzionamento degli interventi proposti, i dati, le analisi ed i metodi di calcolo utilizzati; inoltre deve essere data una stima sommaria dei costi di intervento e, se sono previsti interventi strutturali di rilevante impegno economico, una analisi di convenienza economica e di fattibilità finanziaria.

Il *terzo livello di progettazione* è quello dei ***Piani esecutivi del traffico urbano***, intesi come progetti esecutivi dei Piani particolareggiati del traffico urbano. La progettazione esecutiva può riguardare l'intero complesso degli interventi previsti da un singolo piano particolareggiato, ovvero singoli lotti funzionali all'interno di esso. Detti piani esecutivi definiscono completamente gli interventi proposti nei rispettivi piani particolareggiati. Per i centri urbani di modesta dimensione, soprattutto se interessati da fenomeni stagionali di affluenza turistica, il secondo e terzo livello possono essere riuniti in un'unica fase (*Piani di dettaglio*).

Poiché l'oggetto di tali strumenti di pianificazione rimane la mobilità in ambito urbano che è un fenomeno fisico soggetto a dinamiche accelerate rispetto a quelle che comandano gli indirizzi urbanistici di sviluppo del territorio declinati alle varie scale di intervento, la validità di tali piani rimane necessariamente confinata entro **i tre anni**.

Nel dicembre 2015 è stata redatta e rilasciata una prima versione del Piano Urbano di Traffico. Il documento conteneva un articolato di analisi conoscitive e di interventi onerosi da realizzare nel breve, medio e lungo periodo che avevano come comun denominatore un miglioramento della mobilità cittadina in chiave sostenibile.

In merito alle analisi conoscitive, vengono presentati dei rilievi di traffico condotti nel corso degli anni su diversi assi viari, il censimento dell'offerta di sosta nonché l'assetto dell'offerta di Trasporto Pubblico Locale. Vengono inoltre riportate statistiche descrittive ricavate su dati di incidentalità raccolti nel periodo 2009-2014 dalla Polizia Municipale. In relazione agli interventi, viene proposta l'istituzione di una zona pedonale nel centro città, all'interno di una più ampia zona 30, un diverso assetto circolatorio a servizio di tali interventi, la modifica funzionale di diverse intersezioni stradali con conversione in rotonde e mini-rotonde ed infine una proposta di rete di itinerari ciclabili che si innesta nei tratti all'epoca già presenti od in procinto di essere realizzati.

Pur condividendo gli obiettivi generali di promozione della mobilità sostenibile contenuti nell'impostazione del documento di pianificazione proposto, l'Amministrazione Comunale, di concerto con l'Ufficio Tecnico, ha ritenuto di dover procedere ad un aggiornamento ed integrazione del suddetto documento in base alle seguenti considerazioni:

- come già evidenziato sulla diversa scala delle dinamiche di mobilità, essendo trascorsi ormai otto anni dal precedente rilascio si pone la necessità di valutare un aggiornamento dello strumento di pianificazione;
- nell'intenzione di avviare la realizzazione della riqualificazione dell'area pedonale di Corso della Repubblica (intervento a valere su finanziamenti esterni) al fine di rendere permanente il nuovo assetto circolatorio, si è posta la necessità di approfondire gli impatti sulla circolazione veicolare dell'area ed in generale sulle modifiche all'accessibilità in chiave *quantitativa*, al fine di consentire lo studio preventivo di nuovi interventi di fluidificazione della mobilità.

Lo strumento di pianificazione pertanto è stato *integrato* con nuove ed approfondite analisi di tipo tecnico-scientifico, non rinvenibili nel precedente documento e finalizzate a prevedere gli impatti in termini concreti e misurabili degli interventi sulla mobilità già

in fase di attuazione e di alcuni interventi futuri che si prevede di avviare compatibilmente con la disponibilità delle risorse da parte della suddetta Amministrazione.

Poiché la dimensione della mobilità in ambito urbano è connotata da una elevata **complessità** dovendo coniugare un quadro “esigenziale” di spostamento di una comunità che è sempre variegato e difficile da indagare in tutte le sue sfaccettature, con una necessità di garantire una adeguata sicurezza ed una sostenibilità ambientale, sono altrettanto complesse le metodologie e la modellistica attualmente disponibili per un approccio al problema con un adeguato rigore tecnico-scientifico.

Si è pertanto individuato nell’Università degli studi di Cassino e del Lazio meridionale, in qualità di massimo presidio tecnico-scientifico del territorio, il naturale interlocutore per avviare i necessari approfondimenti quantitativi a supporto delle scelte di mobilità che l’Amministrazione intende intraprendere.

La presente relazione riguarda le attività svolte in collaborazione con l’Ufficio Tecnico del Comune nell’ambito della convenzione stipulata tra *Comune di Cassino e l’Università* sulle analisi di impatto di alcuni interventi previsti nel precedente PUT ed in particolare quelli relativi alla istituzione dell’isola pedonale nel centro urbano attraverso la parziale pedonalizzazione di *Corso della Repubblica*.

Da un punto di vista metodologico-operativo, la stima dei riflessi sulla circolazione per effetto delle scelte progettuali formulate nell’ambito dei diversi livelli di specificazione del PUT viene affrontata mediante lo sviluppo e la calibrazione di un modello matematico-ingegneristico di stima della domanda di traffico.

Un modello di stima della domanda simula il numero medio di spostamenti che avvengono nell’area di studio nel periodo di riferimento (h) con le seguenti caratteristiche:

- il motivo per il quale si compie lo spostamento (s);
- la categoria socioeconomica degli utenti (i);
- le zone di origine e destinazione dello spostamento (o,d);
- il modo con cui lo spostamento viene effettuato (m);
- il percorso seguito nello spostamento (k).

Formalmente il flusso di domanda si può esprimere come:

$$d_{od}^i [s, h, m, k] = d(SE, T) \quad (1)$$

in funzione delle variabili socioeconomiche, SE, e delle caratteristiche del servizio offerto dal sistema di trasporto. Il modello di domanda più diffuso è il Modello a Quattro Stadi costituito dal prodotto di quattro sotto-modelli ognuno dei quali simula una scelta dell'utente:

$$d_{od}^i [h,s,m,k] = n^i[o] p^i[s/oh](SE,T) p^i[d/ohs](SE,T) p^i[m/ohsd](SE,T).p^i[k/ohsdm](SE,T) \quad (2)$$

dove:

$n^i[o]$ numero di individui della categoria i che si trovano nella zona di origine o .

$p^i [s/oh] (SE, T)$ modello di emissione o generazione che fornisce la percentuale di individui di categoria i che, trovandosi in o , si spostano per il motivo s nella fascia oraria (periodo) h .

$p^i [d/ohs] (SE, T)$ modello di distribuzione che fornisce la percentuale di individui di categoria i che, spostandosi da o per il motivo s nel periodo h , si recano alla zona di destinazione d .

$p^i [m/ohsd] (SE, T)$ modello di scelta o ripartizione modale, fornisce la percentuale di utenti di categoria i che, spostandosi fra o e d per il motivo s nel periodo h , utilizzano il modo di trasporto m .

$p^i [k/ohsdm] (SE, T)$ modello di scelta del percorso, fornisce la percentuale di utenti di categoria i che, spostandosi fra o e d per il motivo s nel periodo h con il modo m , utilizza il percorso k .

Attraverso il quadro metodologico precedentemente descritto, sono state sviluppate diverse analisi finalizzate a:

- prevedere la nuova redistribuzione dei flussi veicolari a seguito dell'istituzione dell'isola pedonale, nonché i ritardi che saranno sperimentati dagli utenti rispetto allo stato di fatto;
- valutare eventuali proposte migliorative della circolazione di basso impatto economico in conformità con quanto chiaramente espresso del disposto legislativo (dotazione infrastrutturale sostanzialmente invariata) prevedendo nella fattispecie la modifica dei regimi di semaforizzazione e rimozione di alcuni stalli di sosta in punti critici della rete;
- prevedere la nuova redistribuzione dei flussi veicolari ed eventuali criticità nello scenario operativo del sabato mattina in occasione dei mercati rionali nel loro attuale assetto ed in quello di progetto proposto dalla Amministrazione Comunale;
- valutare i problemi di accessibilità all'area Folcara e gli impatti conseguenti ad una nuova disciplina di circolazione in uno alla realizzazione di un nuovo tronco stradale di collegamento.

Per simulare questo tipo di interventi sono necessari strumenti di simulazione performanti (di macrosimulazione ed anche di microsimulazione) poiché è necessario prevedere uno scenario realistico di traffico futuro e valutare i corrispondenti impatti sul traffico, sulla sicurezza e sui livelli di impatto ambientale. In questo ambito, a seguito dell'analisi dello stato di fatto e di progetto mediante un approccio modellistico di tipo macro-simulativo (effettuando inoltre la calibrazione ed una prima validazione del modello con gli ultimi conteggi di traffico ricavati), l'attenzione è stata posta su una zona più circoscritta al centro urbano della città di Cassino, al fine di valutare i tempi di percorrenza, nonché i ritardi, mediante l'utilizzo di un modello di micro-simulazione.

Al fine di integrare la conoscenza dell'assetto di mobilità attuale di Cassino è stato veicolato nelle scuole della città un questionario dal titolo "Fai sentire la tua voce per muoverti sostenibile ed in salute". Esso vede il suo fulcro nella condivisione degli orientamenti ed esigenze di mobilità della città di Cassino, al fine di promuovere nuove idee e progetti per la futura mobilità sostenibile, innanzitutto comprendendo quella attuale.

Tuttavia, la realizzazione di aree pedonali è una delle tante modalità di applicazione della mobilità sostenibile ed è la misura più radicale e praticabile per un preciso motivo: perché

vieta il transito del traffico pubblico e privato: solo gli utenti vulnerabili (in particolare pedoni e ciclisti, fatta eccezione per i veicoli che svolgono un servizio di emergenza o adibiti a persone disabili) sono consentiti, modificando così l'attuale paradigma che è quello centrato sull'autovettura privata. Le aree pedonali sono per lo più situate nel centro città o in aree urbane strategiche, dove si trovano le principali attività sociali ed economiche. La presenza di una zona pedonale ha evidentemente la capacità di promuovere la pedonalità come modo preminente di spostamento in competizione con gli altri modi (auto/modo/tpl) per una ampia casistica di spostamenti. Per questo motivo occorre da un lato indagare sugli scenari di mobilità pedonale che caratterizzano area cittadina e dell'altro sugli impatti in termini di sicurezza stradale che tali scenari possono indurre.

A tale proposito, gli scenari di affollamento pedonale sono stati studiati mediante un innovativo approccio di tipo ibrido (basato su una combinazione di metodi configurazionali e basati sulla domanda di mobilità) che ha permesso di valutare i percorsi maggiormente interessati dal traffico pedonale. In base ai risultati conseguiti con tale approccio, sarà possibile attuare una più razionale pianificazione degli interventi di manutenzione e di messa in sicurezza dei suddetti percorsi pedonali.

Oltre agli interventi necessari per garantire la fluidificazione del traffico con l'istituzione dell'area pedonale, è stato necessario valutare l'impatto della nuova disciplina di circolazione su tutto il parco veicolare e segnatamente sui **veicoli commerciali**. La presenza della nuova zona pedonale dà luogo infatti a nuovi percorsi di circolazione per i quali si pone la necessità di valutare la compatibilità con l'ingombro dinamico di svolta degli autobus urbani e degli autoarticolati; è stato pertanto effettuata una analisi dei punti critici nella rete cittadina mediante la simulazione delle aree "spazzate" dalle sagome di veicoli commerciali tipo quando effettuano le svolte. In alcuni casi si è visto che l'area spazzata dalla sagoma del veicolo in svolta poteva sovrapporsi parzialmente con qualche stallo di sosta che pertanto è stato suggerito di rimuovere.

Alla luce di queste premesse l'articolazione della presente relazione sarà strutturata come di seguito riportato.

Una prima sezione denominata “Quadro Conoscitivo” in analogia con quanto riscontrato nella precedente stesura della relazione di accompagnamento del PUT, dove viene riportata:

- una descrizione dei rilievi di traffico aggiuntivi effettuati,
- una caratterizzazione socio demografica dell’area di studio con un approfondimento sulla mobilità desunta dai dati dei Censimenti ISTAT,
- una descrizione del sondaggio sulla mobilità somministrato alla Comunità Cassinate e principali risultati,
- una valutazione degli scenari di affollamento pedonale,
- una indagine sui servizi TPL,
- una verifica dei nuovi percorsi.

Nella successiva sezione denominata “Quadro progettuale” sono stati invece riportati i principi teorici alla base dei modelli ingegneristici di simulazione della mobilità in ambito urbano secondo un approccio di tipo macro-simulativo e micro-simulativo e la loro validazione sperimentale.

Si è inoltre effettuata una disamina sistematica delle soluzioni di fluidificazione del traffico secondo due scenari operativi (giornaliero e per fascia oraria) nell’ipotesi che sia possibile implementare nuove strategie di regolazione semaforica calibrate in base ai diversi pattern di traffico che si manifestano nei diversi periodi della giornata. Sono infine riportati i risultati prestazionali relativi agli scenari operativi del sabato mattina (mercati rionali) ed agli interventi di fluidificazione del traffico finalizzati al miglioramento della accessibilità nella zona Folcara.

Sono infine riportati gli approcci metodologici impiegati nella valutazione degli ingombri dinamici dei veicoli commerciali necessari per la stima della manovrabilità di tali categorie di traffico relativa ai nuovi percorsi originati dalla entrata in funzione della nuova isola pedonale.

INTEGRAZIONE ED AGGIORNAMENTO AL PUT 2016

Presa visione del PUT del 2016, sono stati realizzati dei nuovi elaborati rappresentanti cambiamenti sullo stato di fatto ad oggi esistente e su interventi a breve termine (e a basso costo) da attuare in virtù dell'istituzione dell'area pedonale i cui lavori sono iniziati ufficialmente il 16 Marzo 2023.

Nella tabella sottostante (**Tab.1**) vengono riportati gli elaborati presenti nel PUT 2016 e quelli integrati in tale lavoro.

La lettura della tabella deve essere così effettuata:

- Simbolo “/” indica l’integrazione al vecchio piano con analisi specifiche aggiuntive;
- Simbolo “-” indica l’assenza di modifiche dell’elaborato specifico dal PUT 2016 all’attuale integrazione;
- La denominazione “bis” indica la duplicazione dell’elaborato presente nel PUT 2016 ma con modifiche effettuate nel presente lavoro di integrazione.

Tab. 1. Elaborati PUT 2016 – Integrazione 2024.

<i>PUT 2016</i>	<i>Integrazione 2024</i>
0 Elenco elaborati	0 bis Elenco elaborati
1-A Relazione generale	1-A bis Relazione generale
1-B Allegati analisi flussi veicolari	1-B bis Allegati rilievi di traffico veicolari
/	1-C Allegato valutazione degli ingombri dinamici
/	1-D Relazione sul questionario
/	1-E Relazione rilievo pedonale
/	1-F Relazione linee tpl ed ingombri dinamici
3A Corografica	-
4A Planimetria generale del territorio – Classificazione stradale esistente	-
4-B Planimetria stato di fatto – Cassino Area Urbana	-
4-B2 Planimetria stato di fatto - Località Folcara	-
4-C Sezione di indagine	4-C bis Sezione di indagine
4-D L'incidentalità sulle strade urbane	-
4-E Offerta di sosta nel centro urbano	-
4-F Rete del trasporto pubblico collettivo - Cassino Area	4-F bis Rete del trasporto pubblico collettivo - Cassino Area
4-F2 Rete del trasporto pubblico collettivo - Cassino Area Urbana	4-F2 bis Rete del trasporto pubblico collettivo - Cassino Area Urbana
	4-F3 bis Rete del trasporto pubblico collettivo – Cassino Area Urbana
	4-F4 bis Rete del trasporto pubblico collettivo – Cassino Area Urbana
	4-F5 bis Rete del trasporto pubblico collettivo – Cassino Area Urbana
	4-F6 bis Rete del trasporto pubblico collettivo – Cassino Area Urbana
	4-F7 bis Rete del trasporto pubblico collettivo – Cassino Area Urbana
	4-F8 bis Rete del trasporto pubblico collettivo – Cassino Area Urbana
5-A Tavola delle strategie	5-A1 bis Tavola delle strategie
	5-A2 bis Tavola delle strategie
	5-A3 bis Tavola delle strategie
5-B Classificazione funzionale della viabilità' - Cassino Area	-
5-C Schema di circolazione - cassino area urbana	-
5-D Schema di circolazione - Cassino centro	-
5-D Schema di circolazione - Cassino centro	-
5-E Offerta di sosta nel centro urbano	-
5-F Gli interventi di moderazione e di sicurezza e del traffico - Cassino Area urbana	-
5-F2 Gli interventi di moderazione e di sicurezza e del traffico - Località Caira e Località San Nicola	-
5-F3 Isola ambientale e gli interventi di moderazione e di sicurezza e del traffico - Area pedonale permanente	-
5-G Rete degli itinerari ciclabili	-
5-I Articolazione temporale degli interventi	-

QUADRO CONOSCITIVO

Descrizione dell'area di studio

Lo studio è stato condotto nella città di Cassino, comune italiano situato nella parte meridionale del Lazio e precisamente nella provincia di Frosinone. È considerata la seconda città della provincia per numero di abitanti (infatti al 01/01/2022 contava circa 35235 abitanti a fronte dei 43830 della Città di Frosinone), con una densità abitativa di 422 ab/km². La Città si sviluppa ad un'altitudine media di 40 m s.l.m. (non considerando le zone montuose che ne fanno parte, tra cui il ben noto Montecassino, sede dell'Abbazia e situato a 520 m s.l.m., al di sotto del quale si sviluppa il centro urbano) per una superficie di 83.42 km². La Città che oggi si osserva è il frutto di evoluzioni che sono avvenute nel tempo a partire dalla completa ricostruzione nel Dopoguerra a seguito della distruzione totale causata dai bombardamenti della Seconda Guerra Mondiale. All'interno del centro urbano principale trovano spazio i servizi amministrativi e civili, il tribunale, il municipio, il genio civile, l'università, scuole di diverso ordine e grado, l'ospedale, centri di interesse culturale e attività commerciali (soprattutto lungo Corso della Repubblica, Viale Dante e Via Enrico De Nicola). Questa grande varietà di attrazioni che caratterizzano la Città fa sì che ci sia un numero elevato di veicoli su strada nelle diverse ore del giorno che comporta il verificarsi delle problematiche legate all'insostenibilità dei sistemi di trasporto.

Recenti interventi sulla mobilità

Negli ultimi anni sono stati realizzati degli interventi al fine di migliorare la mobilità del Comune di Cassino e di promuoverne la sostenibilità.

Tra questi i più significativi:

- Realizzazione dell'area pedonale di C.so della repubblica e Piazza Diamare con delibera n.160 del 08.07.2020 e successive integrazioni;
- Istituzione dell'area pedonale in Piazza XV Febbraio e Via XX Settembre con delibera n.174 del 18.07.2022 e successiva pedonalizzazione di Via Falese con delibera n.167 del 29.06.2021;



Fig. 1. Piazza XV Febbraio.

- Percorso ciclo-pedonale di collegamento del Centro urbano-Parco del Gari-Terme Varroniane (2021).

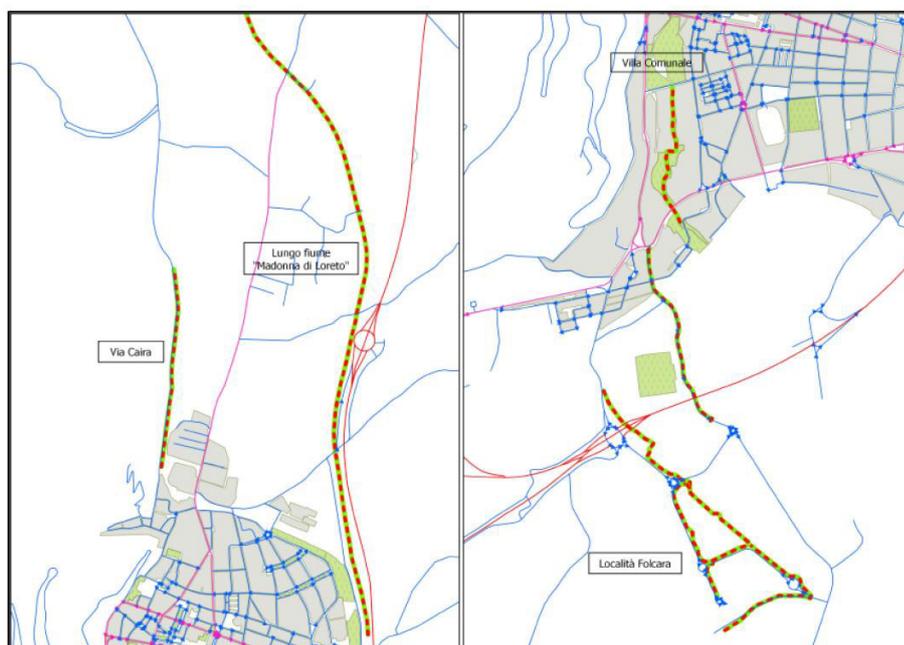


Fig. 2. Pista ciclo-pedonale, rappresentazione tratta dall'estratto "piste ciclabili" del PUT 2016 Figura 3-20 rete degli itinerari ciclabili esistenti.

Dati socioeconomici e descrizione degli spostamenti

Con l'ausilio della banca dati open source messa a disposizione dell'Istat, si può osservare, nella **Fig. 3** ma anche nella tabella **Tab.2**, che la popolazione del Comune di Cassino ha subito una forte crescita negli anni tra il 2002 e il 2017, mentre a partire dal 2018 si comincia ad identificare un ramo di decrescita, anche se ancora non è possibile ascriverlo ad una questione meramente statistica oppure demografica.

Tab. 2. Popolazione in diversi anni di rilevamento.

Anno	Popolazione	Data rilevamento
2002	32.729	31-dic
2003	32.714	31-dic
2004	32.592	31-dic
2005	32.603	31-dic
2006	32.643	31-dic
2007	32.886	31-dic
2008	33.038	31-dic
2009	33.071	31-dic
2010	33.153	31-dic
2011	33.628	31-dic
2012	33.703	31-dic
2013	34.994	31-dic
2014	35.913	31-dic
2015	36.142	31-dic
2016	36.46	31-dic
2017	36.497	31-dic
2018	36.349	31-dic
2019	36.201	31-dic

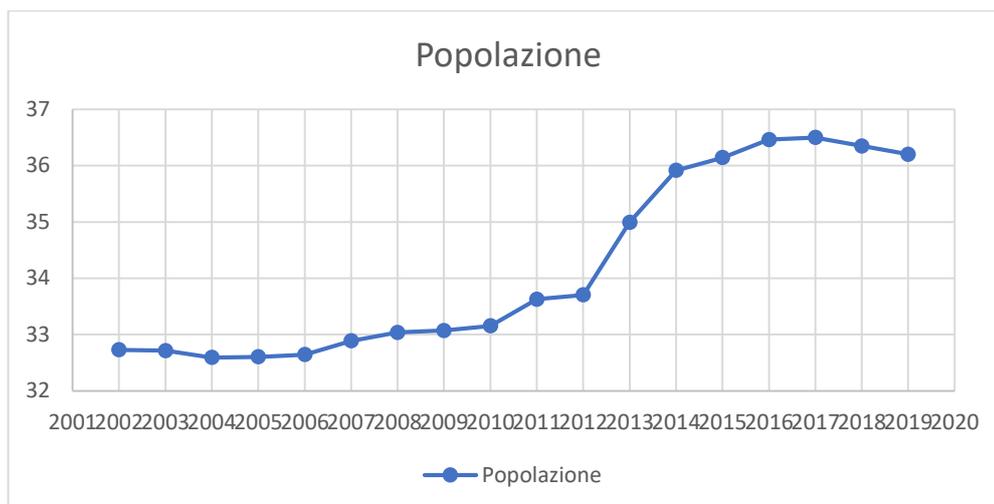


Fig. 3. Andamento popolazione su scala annuale (2002-2019).

Altri dati importanti per le successive elaborazioni, nonché dati input necessari per la realizzazione del modello di Traffico, sono i dati offerti dal database open source predisposto dall'Istat ed in particolare i dati relativi al XV Censimento generale della popolazione (data di riferimento: 9 ottobre 2011) e al IX censimento delle attività economiche. Nella tabella sottostante (**Tab. 3**) e nelle immagini successive (da **Fig. 4** in poi), si riportano alcune informazioni riguardo le 30 microzone individuate dall'Istat e da cui si fa riferimento, necessarie per le elaborazioni future. Maggiori informazioni saranno presentate quando si parlerà dell'assemblaggio della matrice Origine-Destinazione.

Tab. 3. Alcune informazioni sulle zone di traffico individuate.

Zona	Popolazione Residente	Studenti Residenti	Occupati Residenti	Addetti Totali (Scuole incluse)	Attività Totali (Scuole Incluse)
1	2818	510	992	301	111
2	1207	194	434	411	74
3	2217	455	837	346	83
4	6021	1026	2123	1573	325
5	1045	209	391	143	52
6	683	114	243	95	35
7	1373	233	503	1504	125
8	947	162	362	151	59
9	1250	244	483	120	61
10	2502	416	825	444	67
11	1743	322	577	734	177
12	1077	151	308	63	24

13	349	72	146	309	53
14	219	41	75	679	129
15	327	48	110	437	113
16	284	36	84	225	37
17	1057	177	398	299	91
18	256	42	94	835	136
19	212	33	77	751	220
20	342	46	110	225	87
21	325	67	123	52	27
22	338	55	116	161	92
23	57	6	19	168	14
24	1441	279	536	582	213
25	505	103	197	481	141
26	509	94	181	579	127
27	307	51	126	2270	247
28	512	78	169	152	57
29	362	46	130	332	89
30	3373	549	1229	1157	384

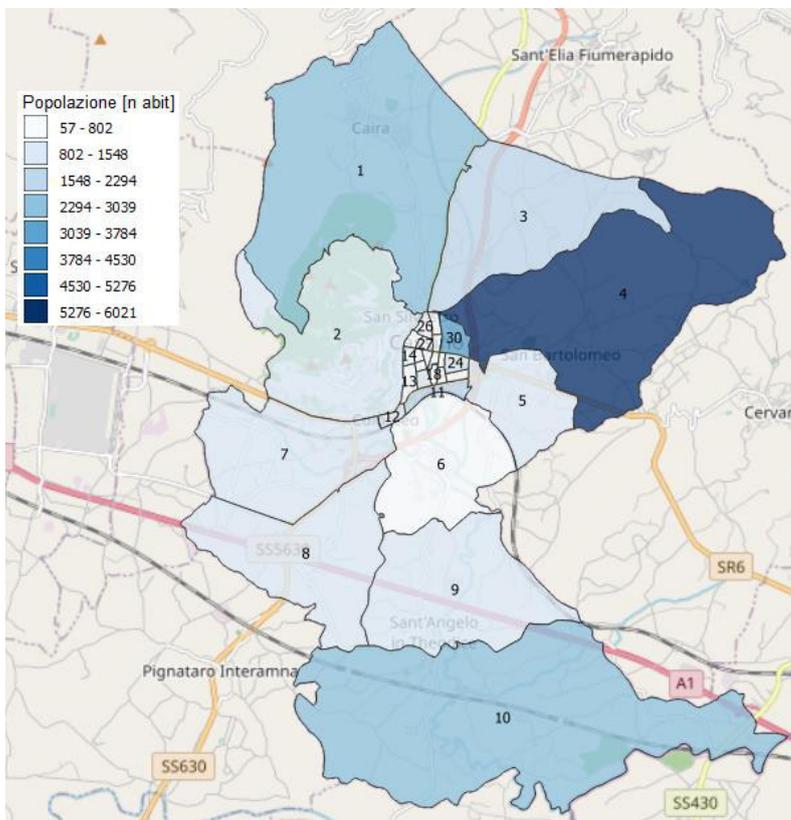


Fig. 4. Popolazione totale.

Fig. 5. Occupati residenti.

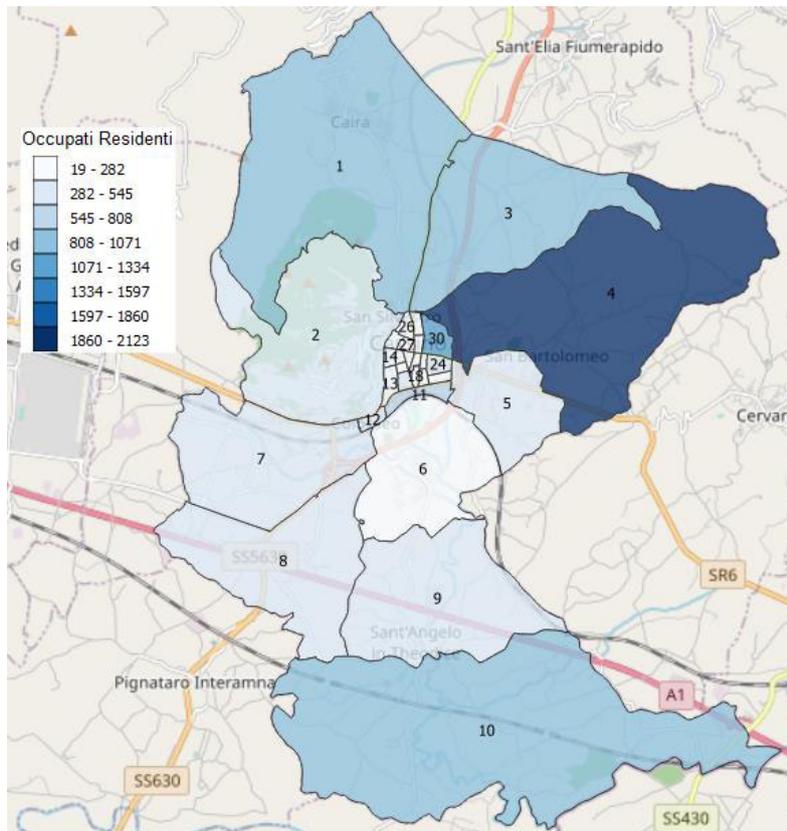
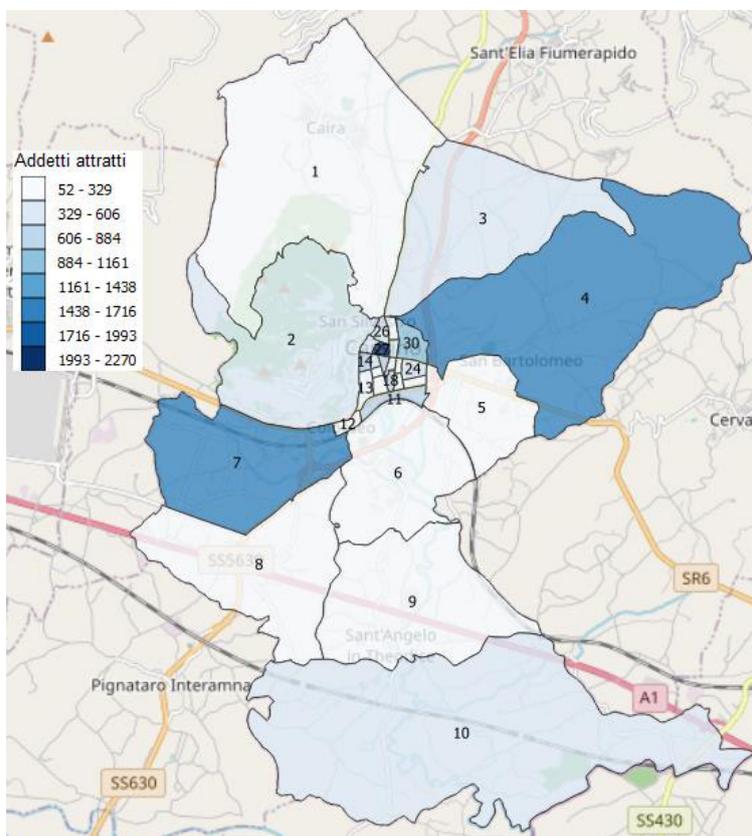


Fig. 6. Addetti attratti



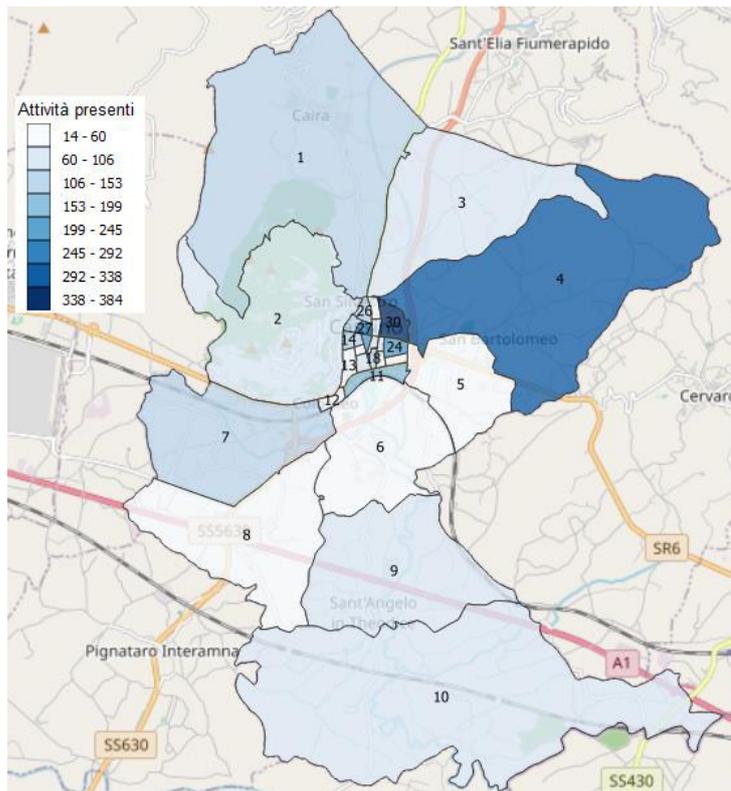
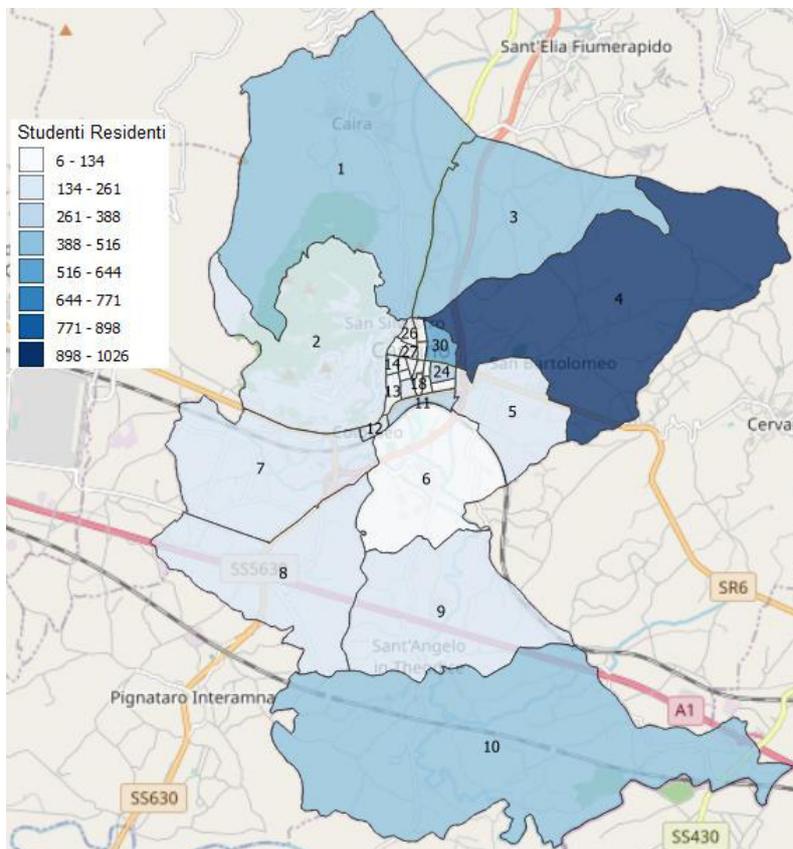


Fig. 7. Attività presenti.

Fig. 8. Studenti residenti.



All'interno del database si possono individuare diverse famiglie di dati che racchiudono le più disparate informazioni. Nel caso in esame, si fa riferimento solo ai dati che contribuiscono alla raccolta di informazioni relative agli spostamenti su base pendolaristica per il motivo casa-lavoro e casa-studio, ovvero la matrice del pendolarismo ed i micro-dati.

La *matrice del pendolarismo* è composta da record fissi che contengono informazioni atte a caratterizzare un generico spostamento, tra cui troviamo:

- Provincia di residenza;
- Comune di residenza;
- Sesso;
- Motivo dello spostamento;
- Luogo di studio o di lavoro;
- Provincia abituale di studio o di lavoro;
- Comune abituale di studio o di lavoro;
- Stato estero di studio o di lavoro;
- Mezzo;
- Orario di uscita;
- Tempo impiegato.

I *micro-dati*, invece, si caratterizzano per la geocodifica (geolocalizzazione a livello di particella censuaria ISTAT) degli arrivi e delle partenze, senza tuttavia dare informazioni relative a mezzo di trasporto utilizzato, fascia oraria di partenza e durata del tragitto. La tecnica di geocodifica avviene attraverso l'uso e l'analisi di varie fonti e questo genera un'attribuzione parziale degli spostamenti (pari al 76,57% su scala Nazionale).

Gli spostamenti, che entreranno a far parte della matrice Origine-Destinazione, possono essere classificati come quanto segue:

- Spostamenti interni al comune (Cassino- Cassino);
- Spostamenti da Cassino verso l'esterno del comune;
- Spostamenti dall'esterno del comune verso Cassino;
- Spostamenti di attraversamento del comune.

Rilievi di traffico

Al fine di effettuare la calibrazione e, successivamente, la validazione del modello, sono stati effettuati rilievi di traffico nel Comune di Cassino dal 2015 al 2023 ed utilizzati nelle simulazioni come segue:

- Rilievi di traffico effettuati nell'anno 2015 per la calibrazione del modello;
- Rilievi di traffico effettuati nell'anno 2022 per la calibrazione del modello;
- Rilievi di traffico effettuati nell'anno 2023 per la validazione del modello.

I suddetti rilievi sono stati svolti in giorni infrasettimanali, quando gli spostamenti principali sono del tipo casa-lavoro-studio.

In particolare il modulo utilizzato per il rilievo del traffico risulta essere:

Data rilievo		Operatore							
Ora inizio		Ora fine							
Nome intersezione		Codici delle manovre: sx , attr , dx							
Svolta a sinistra									
Auto									
	5	10	15	20	5	10	15	20	5
	25	30	35	40	10	15	20	25	30
	45	50	55	60	15	20	25	30	35
	65	70	75	80	20	25	30	35	40
	85	90	95	100	25	30	35	40	45
	105	110	115	120	30	35	40	45	50
	125	130	135	140	35	40	45	50	
	145	150	155	160	40	45	50		
	165	170	175	180	45	50			
	185	190	195	200	50				
Attraversamento									
Auto									
	5	10	15	20	5	10	15	20	5
	25	30	35	40	10	15	20	25	30
	45	50	55	60	15	20	25	30	35
	65	70	75	80	20	25	30	35	40
	85	90	95	100	25	30	35	40	45
	105	110	115	120	30	35	40	45	50
	125	130	135	140	35	40	45	50	
	145	150	155	160	40	45	50		
	165	170	175	180	45	50			
	185	190	195	200	50				
Svolta a destra									
Auto									
	5	10	15	20	5	10	15	20	5
	25	30	35	40	10	15	20	25	30
	45	50	55	60	15	20	25	30	35
	65	70	75	80	20	25	30	35	40
	85	90	95	100	25	30	35	40	45
	105	110	115	120	30	35	40	45	50
	125	130	135	140	35	40	45	50	
	145	150	155	160	40	45	50		
	165	170	175	180	45	50			
	185	190	195	200	50				
	Auto	2 ruote	Pesanti	Totale					
Svolta a sinistra									
Attraversamento									
Svolta a destra									

Fig. 9. Modulo del rilievo del traffico veicolare di una intersezione.

Le principali informazioni da riportare sono:

- data e orari di inizio e fine dei rilievi;
- dicitura dell'intersezione;
- numero di autovetture, veicoli a due ruote e veicoli pesanti, su base quarto d'ora, che effettuano una determinata manovra, che è possibile effettuare da uno specifico braccio dell'intersezione stessa.

In particolare il rilievo di ogni intersezione è stato effettuato in tre fasce orarie della giornata. La prima fascia oraria di rilievo è della mattina che generalmente va dalle ore 7:00 alle ore 9:00; la seconda fascia oraria, invece, è quella pomeridiana che va dalle 12:00 alle 14:00; mentre la terza fascia oraria, fascia serale, è quella che generalmente si pone tra le 17:00 e le 19:00.

Di seguito si riporta la geolocalizzazione delle sezioni di rilievo (**Fig.10**)

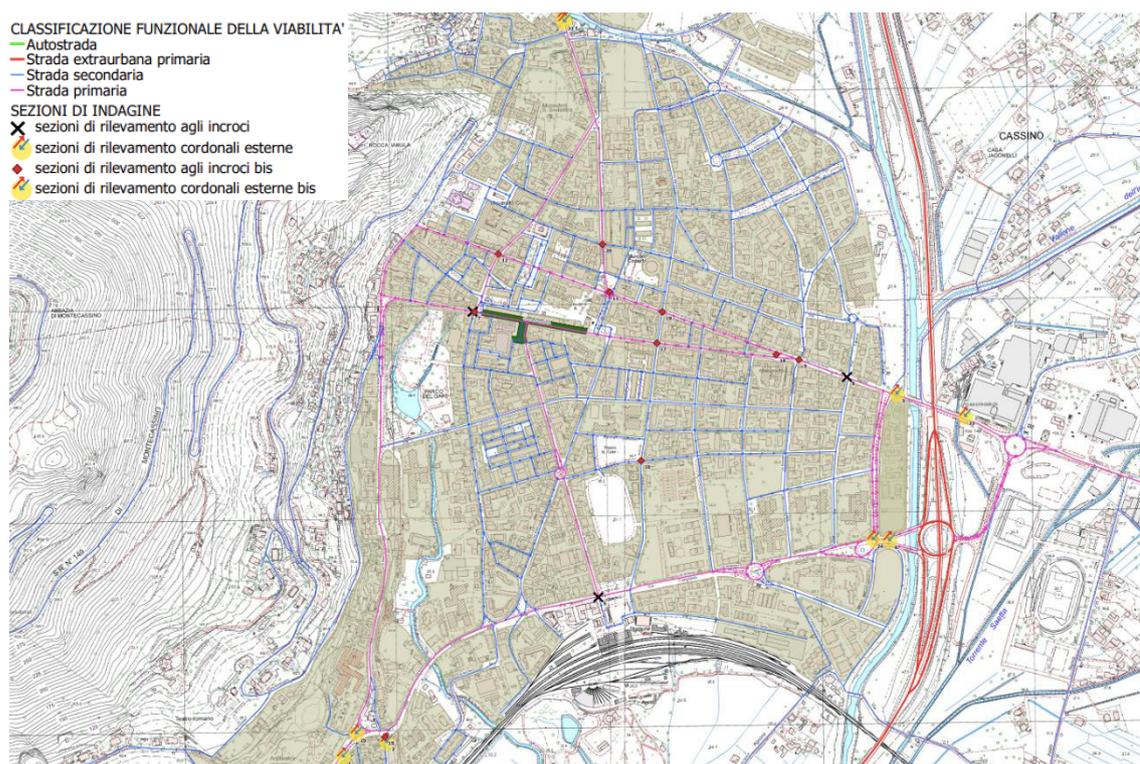


Fig. 10. Sezione di indagine.

Nello specifico le intersezioni rilevate sono:

➤ *RILIEVI ANNO 2015*

Nell'anno 2015 in particolare sono state analizzate 3 intersezioni e quattro sezioni al cordone:

- Incrocio Via E. De Nicola, Via Donizetti, Via Zamosch
- Incrocio Via E. De Nicola, Via S.Pagano, Via XX Settembre
- Incrocio Via E. De Nicola, Via Marconi
- Sezione al cordone Via E. De Nicola
- Sezione al cordone Via Casilina Nord
- Sezione al cordone Via Sferracavalli
- Sezione al cordone Via Garigliano

➤ *RILIEVI ANNO 2022*

Nell'anno 2022 sono state analizzate 7 intersezioni:

- Rotatoria Folcara
- Intersezione Via Casilina Nord, Via Ausonia
- Intersezione Via Sant'Angelo, Via Bonomi
- Intersezione C.so della Repubblica, Via Marconi, Via Arigni
- Intersezione C.so della Repubblica, Via Bari, Via Verdi
- Rotatoria Via Casilina Nord, Via Di Biasio, Via Bonomi
- Intersezione C.so della Repubblica, Via E. De Nicola

➤ *RILIEVI ANNO 2023*

Nell'anno 2023, al fine della validazione del modello, sono state rilevate 4 intersezioni:

- Intersezione Via E. De Nicola, Via Bari, Via Degli Eroi
- Intersezione Via Lombardia, Via XX Settembre
- Intersezione C.so della Repubblica, Via Marconi, Via Arigni
- Intersezione C.so della Repubblica, Via E. De Nicola

Una volta raccolti i dati di traffico, è stato necessario elaborarli, andando a valutare il numero di veicoli equivalenti ovvero la somma pesata dei veicoli, ottenuta assegnando a priori un peso ad ogni tipologia di veicolo a seconda del suo ingombro sulla strada come mostrato in **Tab.4**.

Tab. 4. Pesi veicoli equivalenti.

TIPOLOGIA DI VEICOLI	PESI
Autovettura (c_1)	1,00
Veicolo a due ruote (c_2)	0,50
Veicolo pesante (c_3)	2,00

Dunque il calcolo di tali veicoli equivalenti è stato effettuato come segue:

$$veic. eq./15min = c_1 * Automobile + c_2 * Veicoli a due ruote + c_3 * Veicoli pesanti \quad (3)$$

I veicoli equivalenti su base quarto d'ora sono stati poi trasformati in veicoli equivalenti su base oraria, in modo tale da ottenere il flusso orario:

$$veic. eq./h = veic. eq./15min. * \frac{60 min.}{15 min.} \quad (4)$$

Per consultare i rilievi effettuati e i relativi dati elaborati si rimanda all'allegato 1B-bis.

Questionario sulla mobilità di Cassino

Il questionario "Fai sentire la tua voce per muoverti sostenibile ed in salute" vede il suo fulcro nella condivisione degli orientamenti ed esigenze di mobilità della città di Cassino, al fine di promuovere nuove idee e progetti per la futura mobilità sostenibile, innanzitutto comprendendo quella attuale.

Il questionario è stato indirizzato agli studenti dei plessi scolastici di vario ordine e grado presenti a Cassino, con l'intento di farlo compilare non solo agli stessi studenti ma anche ai loro genitori.

Le informazioni che sono state richieste sono principalmente finalizzate a caratterizzare quali spostamenti autonomi ogni nucleo familiare (ricondotto sinteticamente a soli tre componenti: un capofamiglia, un coniuge ed un figlio/a) effettua in modo sistematico (ossia per motivi di lavoro o studio) o in modo non sistematico (acquisti, servizi etc).

Inquadramento territoriale

Il Comune di Cassino, in Provincia di Frosinone, è dotato di 34 istituti scolastici tra scuole dell'infanzia, primarie e scuole di I e II grado.

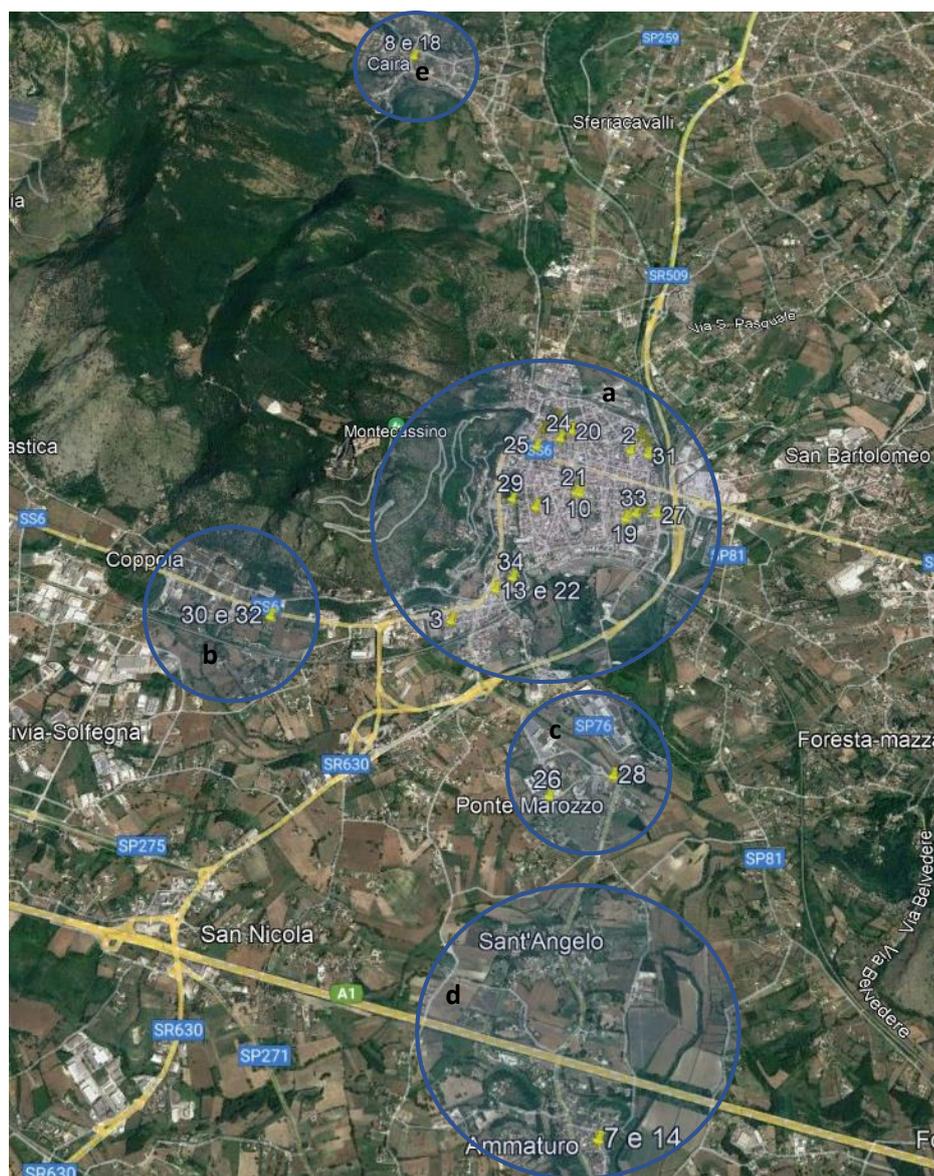


Fig. 11. Istituti scolastici nel Comune di Cassino.

1. Scuola dell'infanzia "Via Argini"- Via Argini
2. Scuola dell'infanzia "Via Zamosch" - Via Zamosch
3. Scuola dell'Infanzia "Via Montecifalco" – Via Montecifalco

4. Scuola dell'infanzia "Donizetti" – Via Donizetti
5. Scuola dell'infanzia Arno - Via Arno
6. Scuola dell'infanzia San Benedetto – Via San Bertario
7. Scuola dell'infanzia Sant'Angelo in Theodice – Sant'Angelo in Theodice
8. Scuola dell'infanzia Caira – C.so San Basilio
9. Scuola dell'infanzia Via Pascoli – Via Pascoli/Via V.Alfieri
10. Nido Alfieri – Via V.Alfieri
11. Nido Botticelli – Via Botticelli
12. Scuola primaria Enzo Mattei – Via Herold
13. Scuola primaria San Giovanni Bosco – Piazza Piave
14. Scuola Primaria Sant'Angelo in Theodice – Sant'Angelo in Theodice
15. Scuola primaria Pio Di Meo – Via G.Pascoli
16. Scuola primaria San Silvestro – Via Santa Liberata
17. Scuola primaria San Benedetto – Via San Bertario
18. Scuola Caira – C.so San Basilio
19. Scuola media Di Biasio – Via Bellini
20. Scuola media G.Conte – Via XX Settembre
21. Scuola media Diamare - Via V.Alfieri
22. Scuola media San Giovanni Bosco – Piazza Piave
23. Scuola di I grado San Benedetto – Via San Bertario
24. Liceo classico Carducci – Via Lombardia
25. Liceo Artistico Augusto Righi – Via Guglielmo Marconi
26. Liceo Scientifico G.Pellecchia – Via Sant'Angelo
27. Liceo Magistrale "Varrone" – Viale Europa
28. ITIS E.Majorana – Via Sant'Angelo
29. ITGC Medaglia d'oro – Via Gari
30. IIS Alberghiero San Benedetto – Via Casilina Nord
31. I.P.S.I.A. – Via Berlino
32. IIS Agrario Medaglia d'oro – Via Casilina Nord
33. CPIA – Via Bellini
34. Centro di formazione professionale – Viale Bonomi

Il riscontro ottenuto dalla divulgazione del questionario suddetto ha evidenziato che dei 34 istituti scolastici diffusi sul territorio del comune di Cassino solo in 24 lo hanno compilato.

Una percentuale maggiore di compilazione è stata effettuata dall' ITIS E. Majorana (42,09 %) sito in località Folcara, a seguire il Liceo Scientifico Gioacchino Pellicchia (18,14%) sito anch'esso in località Folcara ed infine la scuola media G. Conte (8,6%) sita in Via XX Settembre nel centro di Cassino.

Struttura del questionario

Il questionario in oggetto risulta essere strutturato in cinque parti:

- I. Informazioni generali riguardanti il nucleo familiare (numero di componenti, fascia d'età di ciascuno di essi, tipologia di mezzi posseduti, fascia di reddito);
- II. Spostamenti del capofamiglia, con particolare riferimento al motivo e al modo in cui viene compiuto oltreché alla propensione che ha per la mobilità sostenibile;
- III. Spostamenti del coniuge, con particolare riferimento al motivo e al modo in cui viene compiuto oltreché alla propensione che ha per la mobilità sostenibile;
- IV. Spostamenti del figlio/a, con particolare riferimento al motivo e al modo in cui viene compiuto oltreché alla propensione che ha per la mobilità sostenibile;
- V. In riferimento al capofamiglia, è presente la sezione riguardante “Quanto sei green?” con la possibilità di inserire delle proposte migliorative al fine di rendere la città più sostenibile.

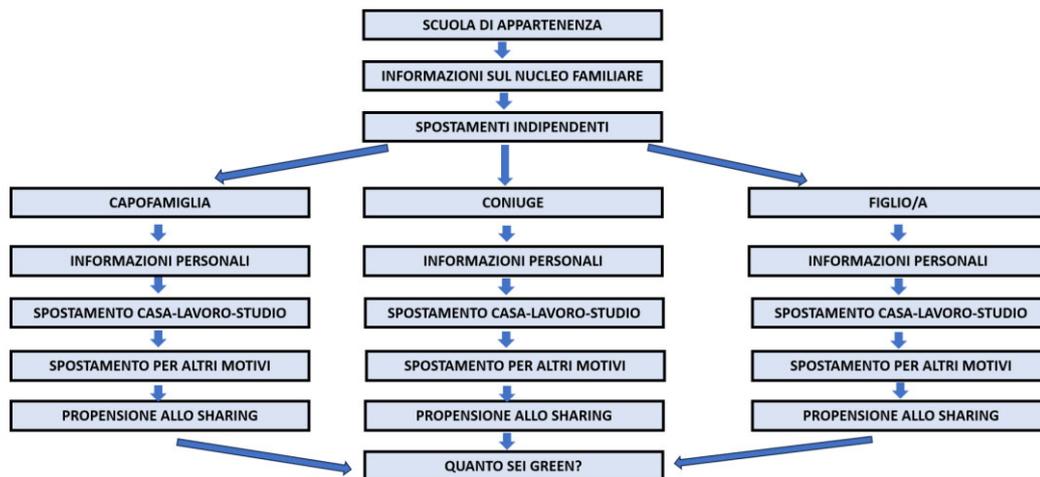


Fig. 12. Struttura del questionario.

Analisi dei risultati

Il questionario è stato compilato da 430 nuclei familiari.

Come descritto nel paragrafo precedente, esso vede tre sezioni di differenti per il capofamiglia, il coniuge e il figlio/a; tali sezioni vengono compilate, se e solo, il generico componente della famiglia compie uno spostamento in modo autonomo.

In virtù di quanto suddetto, è possibile ricavare le percentuali di compilazione in base al numero di componenti della famiglia che ha risposto al questionario come segue;

- Compilazione da parte di 1 solo componente (1);
- Compilazione da parte di 2 componenti (2);
- Compilazione da parte di 3 componenti (3).

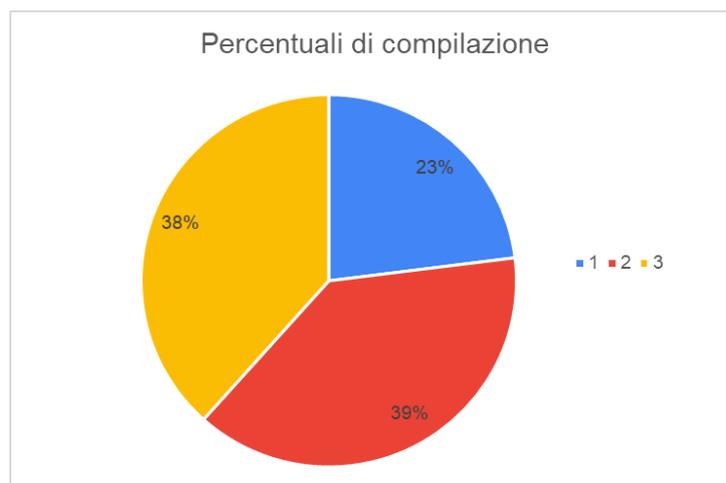


Fig. 13. Compilazione in base al numero dei componenti che si spostano in modo autonomo.

È possibile evincere che le famiglie che hanno partecipato al sondaggio presentano perlopiù tra i 2 e i 3 componenti che compiono uno spostamento in modo autonomo.

Inoltre, è possibile dedurre che, il numero di compilazione in base alle singole persone che hanno partecipato al sondaggio, è pari a 926.

Tab. 5. Conteggi di compilazione.

Compilazione per singoli componenti		
1	2	3
99	166	165
Totale utenti		926

Per ciò che concerne lo spostamento per motivi di studio e/o lavoro è stata analizzata la frequenza settimanale e il tempo impiegato per compiere lo stesso.

La frequenza dominante dello spostamento per motivi di studio e/o lavoro è pari a cinque volte a settimana corrispondente ai giorni usuali di studio e/o lavoro; mentre per ciò che concerne il tempo impiegato nello spostamento avviene prevalentemente tra i 5 e i 20 minuti.

Da ciò si può evincere che, gli utenti sono propensi a compiere spostamenti di breve termine.

Altro quesito indagato riguarda il mezzo di trasporto utilizzato per compiere lo spostamento.

Si è evinto che, mettendo a confronto i vari modi di trasporto, la maggior parte degli utenti stradali utilizza molto frequentemente l'auto rispetto agli altri mezzi di trasporto.

Il secondo mezzo più utilizzato risulta essere l'autobus o la navetta ed il terzo invece risulta essere la modalità a piedi.

Il mezzo meno utilizzato in assoluto è la bicicletta a pedalata assistita.

Essendo la Sharing mobility un fenomeno che sta sempre prendendo più piede nel settore dei trasporti è stata analizzata la propensione degli utenti nell'esercitarla.

Si è evinto che la maggior parte dei cittadini che hanno risposto al questionario non risulta essere molto propensa all'utilizzo di servizi sharing, ma comunque sia, quando è presente la propensione, essa tende verso l'utilizzo di automobile.

Nella parte finale del questionario vengono analizzate le proposte da parte degli utenti per migliorare la mobilità sostenibile a Cassino

Gli utenti richiedono principalmente:

- Mezzi più frequenti e puntuali, oltreché la presenza di fermate vicine e accessibili;
- Presenza di piste ciclo-pedonali o percorsi protetti per pedoni o ciclisti;
- Aumento dei mezzi di trasporto pubblico locale sul comune di Cassino;
- Migliore mobilità interna, oltreché la riduzione di inquinamento e consumi energetici.

Per una spiegazione esaustiva riguardante tale argomento si rimanda all'allegato 1-D.

Risultati concernenti il modulo “Quanto sei green?”

Questa sezione vede lo scopo di indagare quanto sia la propensione verso una mobilità sostenibile con la richiesta iniziale della frequenza e del tempo di uso della bicicletta.

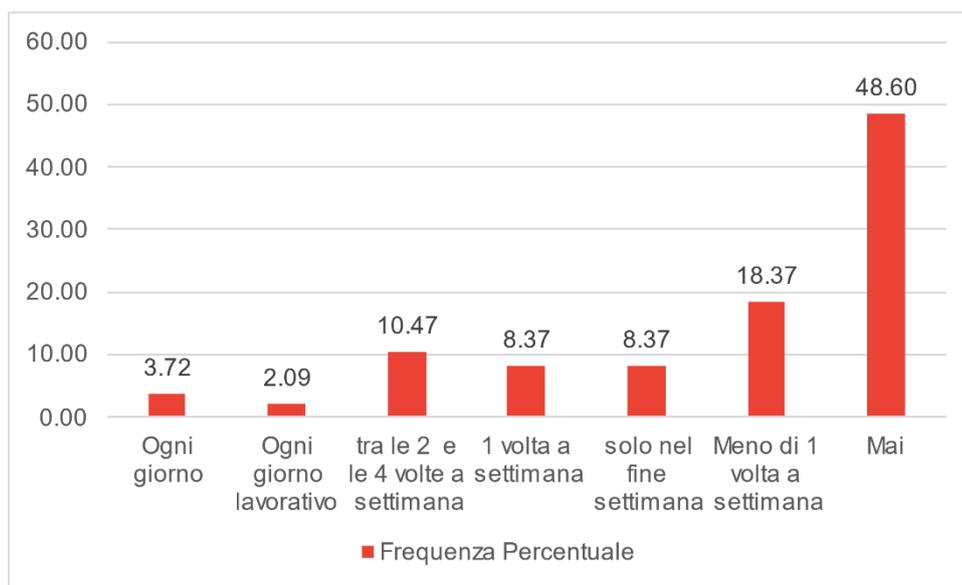


Fig. 14. Frequenza nell'utilizzo della bici.

Come si evince dal grafico, la maggior parte degli utenti che ha compilato il questionario non utilizza mai il modo bici oppure lo utilizza molto poco (meno di una volta a settimana).

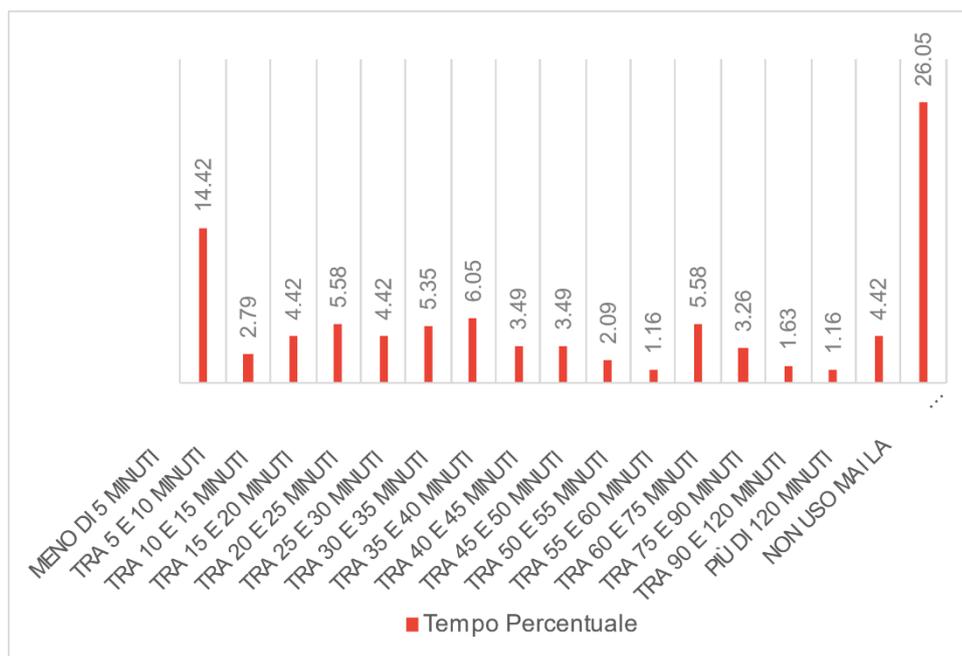


Fig. 15. Tempo trascorso in bici.

Stesso risultato ottenuto per il tempo impiegato per compiere lo spostamento in bici con un accento sui tempi brevi, testimonianza del fatto che, gli utenti della strada presentano la propensione ad effettuare spostamenti per i quali impiegano minor tempo possibile.

Proposte per migliorare la mobilità sostenibile di Cassino

Tale sezione nasce per dar voce ai compilatori de Form e comprendere da ciò le esigenze e le richieste da implementare al fine di favorire una migliore mobilità verso una maggiore sostenibilità.

Tra le varie richieste del risultano:

- “A tuo giudizio quali interventi ti spingerebbero ad utilizzare con più frequenza il trasporto pubblico?”

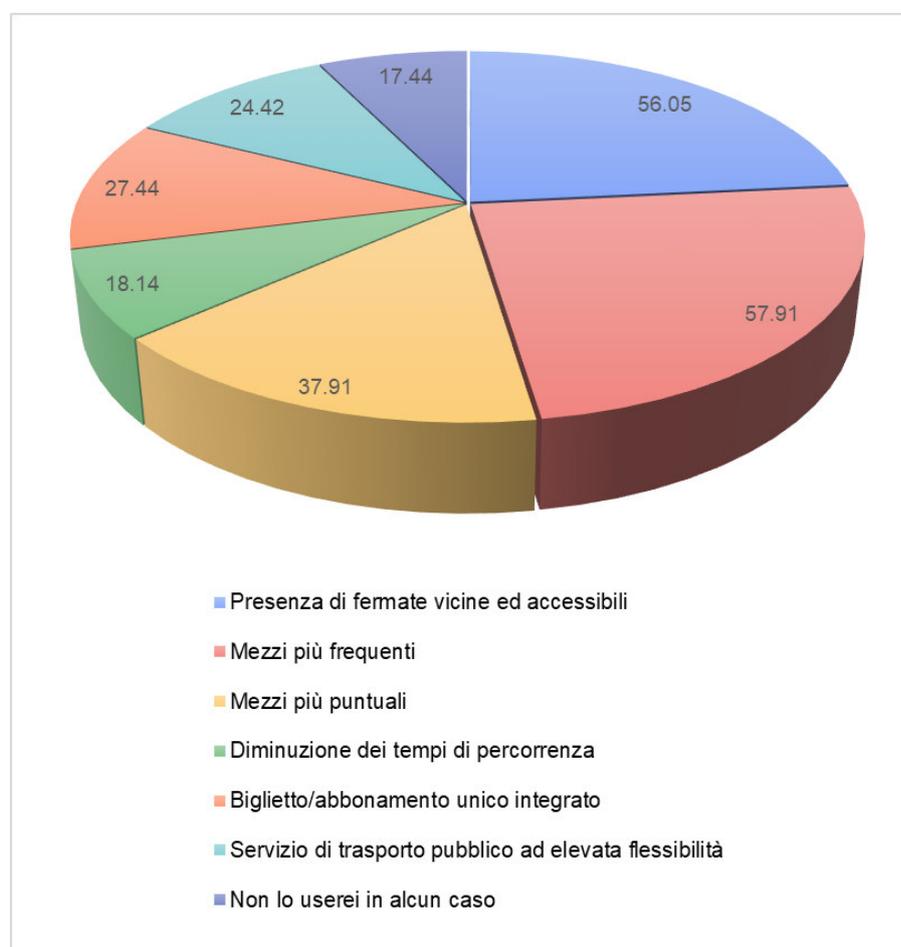


Fig. 16. Interventi al fine di aumentare la frequenza del trasporto pubblico.

Gli utenti richiedono principalmente mezzi più frequenti e puntuali, oltreché la presenza di fermate vicine e accessibili.

Dunque sicuramente tra i possibili interventi sarebbe opportuno prevedere un aumento degli orari delle corse presenti sul comune di Cassino ed aumentarne le fermate.

- “A tuo giudizio quali interventi ti spingerebbero a spostarti con più frequenza a piedi o con mezzi non motorizzati?”

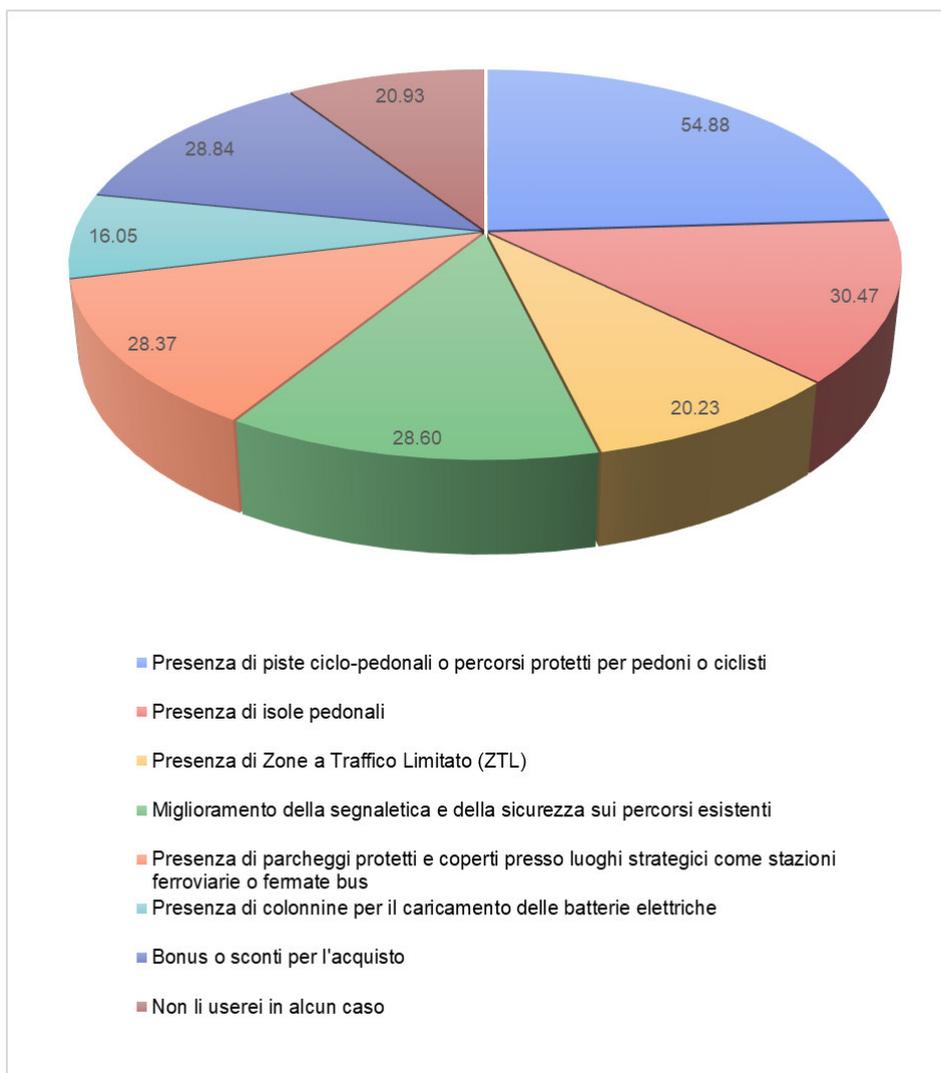


Fig. 17. Interventi al fine di aumentare la frequenza dello spostamento a piedi o con mezzi non motorizzati.

Gli utenti richiedono principalmente la presenza di piste ciclo-pedonali o percorsi protetti per pedoni o ciclisti.

Da ciò si evince che, gli utenti tendono a non utilizzare la bici in quanto non si sentono completamente protetti e sicuri; la realizzazione di aree dedicate, quali piste ciclo-pedonali sicuramente risolverebbe tale tipo di disturbo.

- “Secondo te, cosa potrebbe rallentare la nostra corsa verso una mobilità più sostenibile nella città di Cassino?”

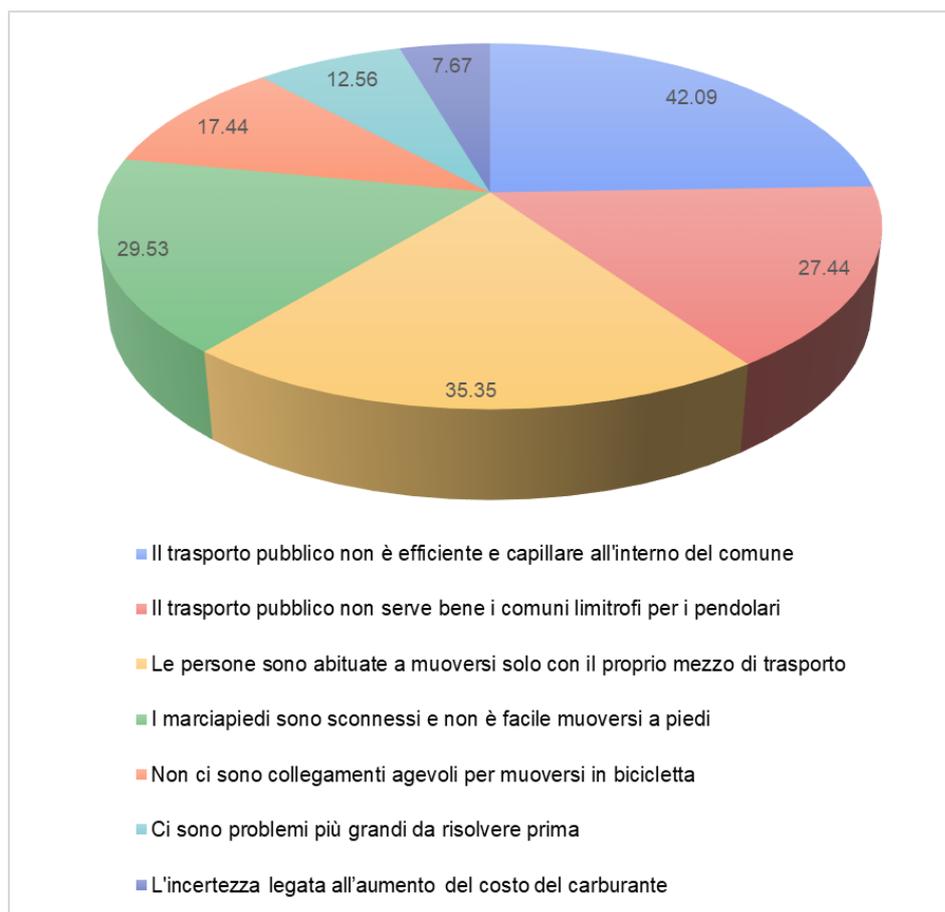


Fig. 18. Problematiche che rallentano la corsa verso la mobilità sostenibile.

Anche per tale richiesta, si evince una necessità di aumento dei mezzi di trasporto pubblico locale sul comune di Cassino, in accordo con la domanda sopra descritta.

- “Quali sono gli obiettivi più importanti che l’amministrazione dovrebbe promuovere per incentivare la mobilità sostenibile?”



Fig. 19. Interventi da promuovere per l'incentivazione della mobilità sostenibile.

Gli utenti richiedono una migliore mobilità interna, oltreché la riduzione di inquinamento e consumi energetici.

Analisi dei flussi pedonali

Per la corretta progettazione e gestione di opere che portino al ridotto utilizzo dei mezzi di trasporto motorizzati e che spingano i cittadini all'uso di mobilità più sostenibili, sono necessari studi preliminari per creare un ambiente che sia percepito dall'utente come sicuro e confortevole. Quindi il progettista deve curare l'estetica dell'opera ma soprattutto ridurre i possibili rischi con cui il pedone può interagire. Per fare questo è necessario dimensionare l'opera conoscendo non solo i dati antropometrici dell'utente medio ma anche l'esposizione pedonale, quindi il flusso pedonale. In analogia con gli studi sulle capacità delle infrastrutture per i veicoli, il flusso serve a definire la capacità di uno spazio pedonale come sua massima possibilità di ricezione.

In questo ambito verrà riportato uno studio che fonde l'approccio puramente configurazionale con le caratteristiche dell'area di esame.

In relazione a ciò sono state realizzate delle simulazioni sul flusso pedonale nel centro di Cassino, avvalendosi anche di una calibrazione grazie alla raccolta dati effettuata mediante osservatori mobili.

Costruzione della rete e raccolta delle variabili

Per calibrare il modello previsionale dei flussi pedonali è necessario partire dalla raccolta e dall'elaborazione dei dati sull'area centrale della città di Cassino (FR).

Lo studio è stato condotto nell'area del centro città dove presumibilmente si manifesta la maggiore attività pedonale.

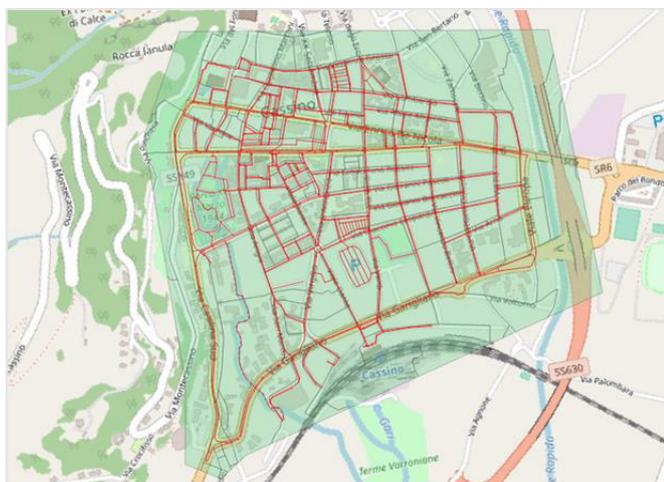


Fig. 20. Porzione del centro di Cassino interessata dallo studio.

La procedura può essere delineata come mostrato nel seguente diagramma di flusso.

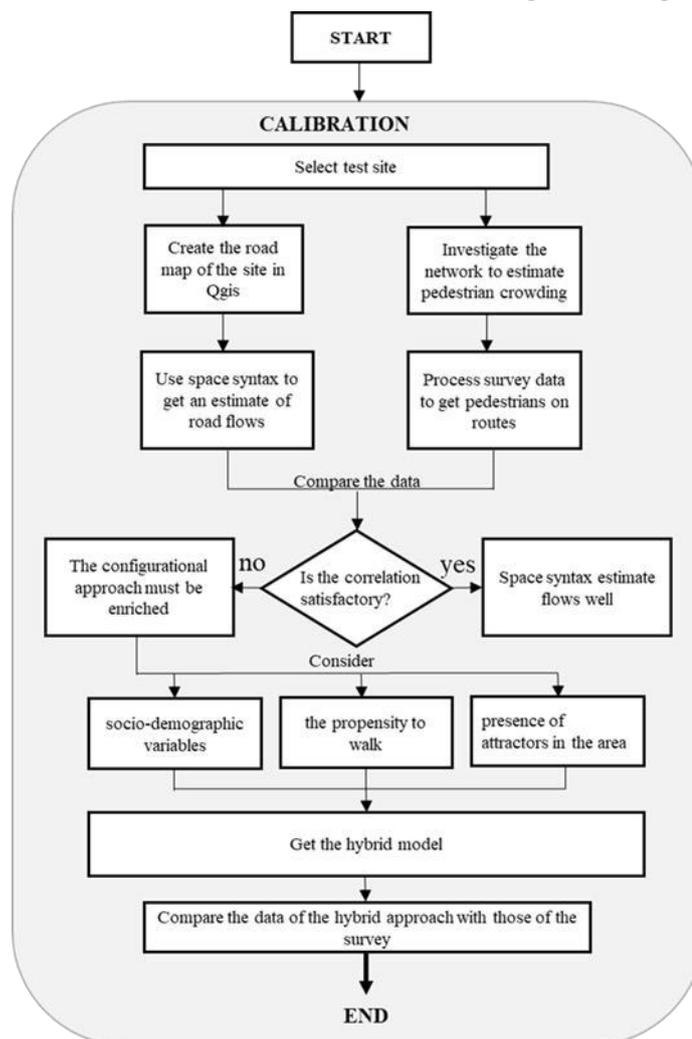


Fig. 21. Descrizione della procedura.

Prima di procedere con la definizione e l'applicazione della procedura, è necessario raccogliere i dati, partendo quindi dai dati relativi alle sezioni censuarie e socio-demografiche dell'area. Successivamente viene ricostruita la rete stradale e, con l'ausilio dello strumento Field Calculator del QGIS, viene effettuata l'aggregazione tra i due layer Sezioni e Rete.

Per ciò che concerne i dati sociodemografici sono stati ricavati dal sito dell'Istat, i quali sono stati inseriti all'interno dello shapefile in QGIS.

In questo modo si ottiene un layer QGIS costituito dalle varie sezioni censuarie del Comune di Cassino; ognuno dei quali conserva dati sulla sua geometria e posizione geografica, oltre alle informazioni socio-demografiche che lo caratterizzano. E' possibile

individuare le aree del Comune a maggiore densità demografica e sulle quali sono presenti in maggior numero edifici residenziali e commerciali.

Tuttavia, queste analisi sono strettamente correlate alle caratteristiche geometriche e topologiche della rete, che potrebbero distorcere i risultati se non si tenesse conto delle singolarità presenti nell'area di analisi. Per ovviare a questo problema, utilizzando il software Depthmap UCL, è possibile effettuare queste analisi attribuendo un peso al calcolo delle caratteristiche configurazionali.

L'idea alla base di questo studio è stata quella di utilizzare come pesi quantità come la popolazione o il numero di edifici commerciali e residenziali che insistono su ciascuna sezione. Ciò deriva dalla considerazione che, sebbene un'area della rete viaria possa essere geometricamente e topologicamente "attraattiva" (cioè ben collegata e integrata) essa sarà interessata da flussi pedonali quantitativamente diversi a seconda della popolazione residente e a seconda che siano presenti o meno nell'area di elementi di maggiore richiamo.

Lo studio della mobilità pedonale nel centro urbano di Cassino ha esaminato preliminarmente i percorsi attualmente presenti in uno con i relativi attraversamenti. L'analisi di connettività propedeutica a quella di tipo configurazionale ha evidenziato in alcune zone del centro di Cassino la mancanza di attraversamenti pedonali e la presenza di vere e proprie "isole", funzionalmente e fisicamente disconnesse dal resto del grafo pedonale (vedi **Fig.22**).

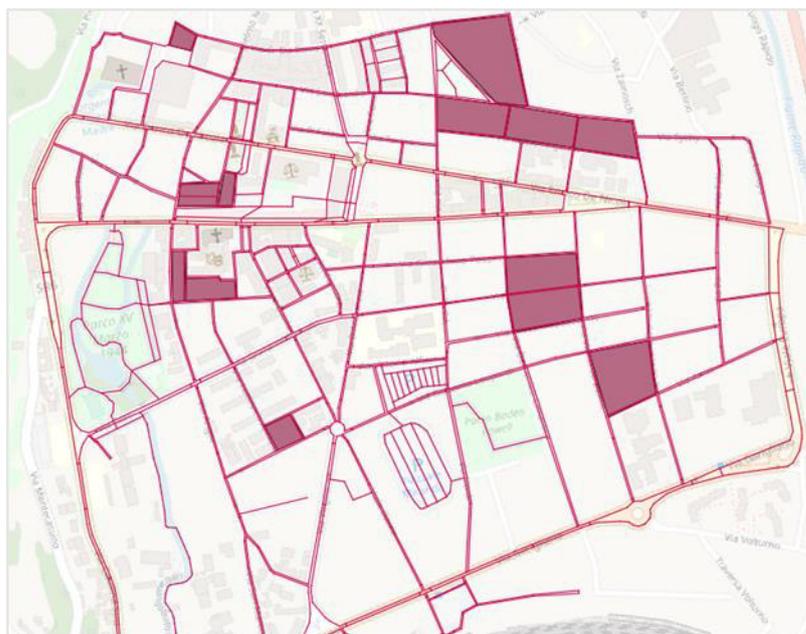


Fig. 22. Zone isolate del centro in quanto prive di attraversamento pedonale.

In queste zone, se i pedoni seguissero alla lettera il codice della strada, rimarrebbero permanentemente confinati non potendo utilizzare alcun attraversamento pedonale per ricollegarsi alla rete pedonale adiacente. Realisticamente, questo non accade mai, infatti, in questi casi il pedone è costretto ad attraversare la strada senza attraversamento pedonale, con evidenti rischi per la sua incolumità.

Rilievo dei pedoni

La modellistica ibrida che è stata sviluppata per valutare l'affollamento pedonale necessita di una serie di rilievi a campione dei flussi pedonali per consentire una adeguata calibrazione dei modelli. Sono stati pertanto effettuati dei conteggi su alcuni dei tratti stradali principali o comunque caratterizzati dalla presenza di attrattori.

Per operare un rilievo a campione dei flussi pedonali significativi, è stato necessario:

1. definire un bacino di utenza in base all'ambiente urbano preso in considerazione,
2. effettuare ricerche sulle capacità attrattive inerenti alla richiesta di viaggio,
3. determinare le fasce orarie significative ed i giorni critici.

Il rilievo effettuato, è stato condotto da un veicolo di monitoraggio, dotato di dispositivi di registrazione video e di un sistema di georeferenziazione, che si muoveva lungo il percorso da esaminare.

Per la individuazione dei percorsi ottimali di rilievo sono state prese in considerazione le aree di generazione ed attrazione degli spostamenti pedonali in base ai dati socio-economici ed al paniere dei prezzi al consumo individuato da ISTAT nel 2019. Ciò consente di individuare le categorie di servizi di base che possono essere di interesse per la popolazione, tenendo conto delle abitudini delle famiglie e del tessuto socio-economico della società (ISTAT, 2019).

Considerando gli spostamenti pedonali sia di natura sistematica che di natura accidentale, i seguenti sono considerati punti di attrazione degli spostamenti:

1. Istruzione: scuole di ogni ordine e grado, private o pubbliche.
2. Sanità: ambulatori medici, centri di analisi, ambulatori per anziani, farmacie e strutture mediche di ogni genere.
3. Trasporti: stazione ferroviaria, le principali fermate degli autobus delle linee urbane ed extraurbane, ampi parcheggi non a pagamento,

4. Servizi: commerciali, turistici, ricreativi, ricettivi e di ristorazione.
5. Uffici aziendali, postali, comunali e giudiziari.
6. Aree verdi: Parchi e giardini.
7. Aree di interesse culturale: musei e siti archeologici.
8. Aree di mercato.
9. Aree pedonali.

Tenendo conto di queste considerazioni preliminari, sono stati definiti due itinerari (uno per un giorno ferial e uno per un giorno festivo), entrambi aventi lo stesso punto di partenza e di arrivo, identificato con la rotatoria nei pressi dell'area dell'anfiteatro romano.



Fig. 23. Bing Mappe Veduta aerea; a sinistra, cerchiata in rosso, la posizione della rotatoria nell'area dell'anfiteatro romano di Cassino e a destra ingrandita nel dettaglio. (Fonte: <https://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=4628bbe4f10b4a81b41b520ba5cae20>).

I percorsi, quindi, sono composti da una serie di tratti stradali che si creano tra le vie principali della zona, identificati alle estremità da punti di fermata, soglie di precedenza (comprese le rotatorie) e presenza di impianti semaforici. Questi vincoli nel percorso sono considerati come nodi con numeri distintivi e progressivi che determinano l'inizio e la fine di ogni sezione.

Le fasce orarie analizzate sono le più caricate:

1. Nei giorni feriali vanno dalle 8.00 alle 9.00, (per l'arrivo di studenti, impiegati, negozianti e artigiani nei luoghi di lavoro), dalle 12.00 alle 14.00 (orario di uscita dalle scuole e pausa pranzo) e la sera dalle 18.00 alle 19.00 (gli operai e gli eventuali studenti ancora in zona rientrano a casa).

2. Nella giornata prefestiva sono state analizzate tre fasce orarie al mattino (8.00-9.00, 9.00-10.00, 10.00-11.00) per facilitare il passaggio in prossimità delle aree mercatali e una serale (20.00-21.00) per attraversare le aree a ridosso di quelle pedonali temporanee. Sono stati effettuati quattro giri completi sull'itinerario previsto per le giornate prese in esame.

Al fine di rilevare correttamente i flussi, ove possibile, e di avere almeno due punti di vista, i tratti sono stati percorsi in entrambe le direzioni di un tratto stradale, mantenendo velocità inferiori ai 30 km/h.

Risultati

Elaborando i dati dell'indagine, sono stati ottenuti:

1. il numero di pedoni presenti sui tratti (divisi per categorie: pedoni sul marciapiede destro, pedoni sul marciapiede sinistro ed in attraversamento pedonale);
2. le posizioni geolocalizzate dei pedoni (in modo da sapere dove sono stati rilevati);
3. gli identificativi temporali dei pedoni individuato lungo il percorso.

I dati così acquisiti sono stati confrontati con quelli forniti da un approccio configurazione di tipo ibrido che si incentra sostanzialmente sulla valutazione di un parametro di connettività definito “INTEGRATION” che è stato combinato con un peso di Prossimità “Peso P_{Prox} ” che tiene conto della vicinanza dei centroidi di emissione degli spostamenti pedonali pesati sulla funzione di impedenza del moto pedonale stesso. Si è deciso di focalizzare l'attenzione su questo parametro in particolare in quanto da evidenze sperimentali e dalla letteratura tecnica, risulta essere quello maggiormente correlato al movimento pedonale effettivamente osservato sulla rete.

Di seguito sono riportate le rispettive rappresentazioni tematiche della rete con una legenda specifica per distinguere i valori del parametro “Integration” al variare dei colori.

Analisi del segmento - Peso P_{prox}

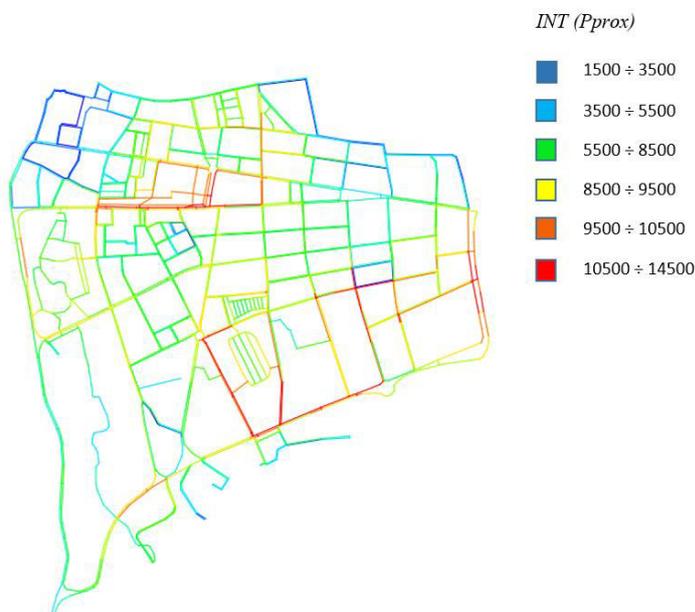


Fig. 24. Rappresentazione tematica dei risultati dell'analisi ponderata con P_{prox} , con legenda dei valori di Integrazione in base ai colori.

L'area centrale presenta dei valori di Integrazione elevati (10.000 - 12.000), a causa della connettività delle sezioni, valori però inferiori rispetto alle aree più rosse situate a sud (in prossimità della stazione ferroviaria) e al limite orientale dell'area di studio. In queste aree, infatti, è presente una maggiore popolazione residente, che definisce necessariamente una maggiore quantità di spostamenti giornalieri.

Al fine di migliorare l'efficienza nella previsione sono stati introdotti ulteriori pesi legati alla presenza di attrattori sullo specifico modo pedonale. Tra i diversi attrattori si è focalizzata l'attenzione sugli esercizi commerciali, considerando che l'utente del trasporto si reca a piedi a questi servizi solo se non è costretto a viaggiare troppo. l'approccio ibrido è stato "corretto" incorporando un ulteriore fattore moltiplicativo K_{shop} come descritto di seguito.

È stato effettuato un preliminare censimento di tutti gli attrattori della zona legati alla presenza di esercizi commerciali attraverso rilievi virtuali effettuati con programmi di navigazione (cfr. Google Maps).

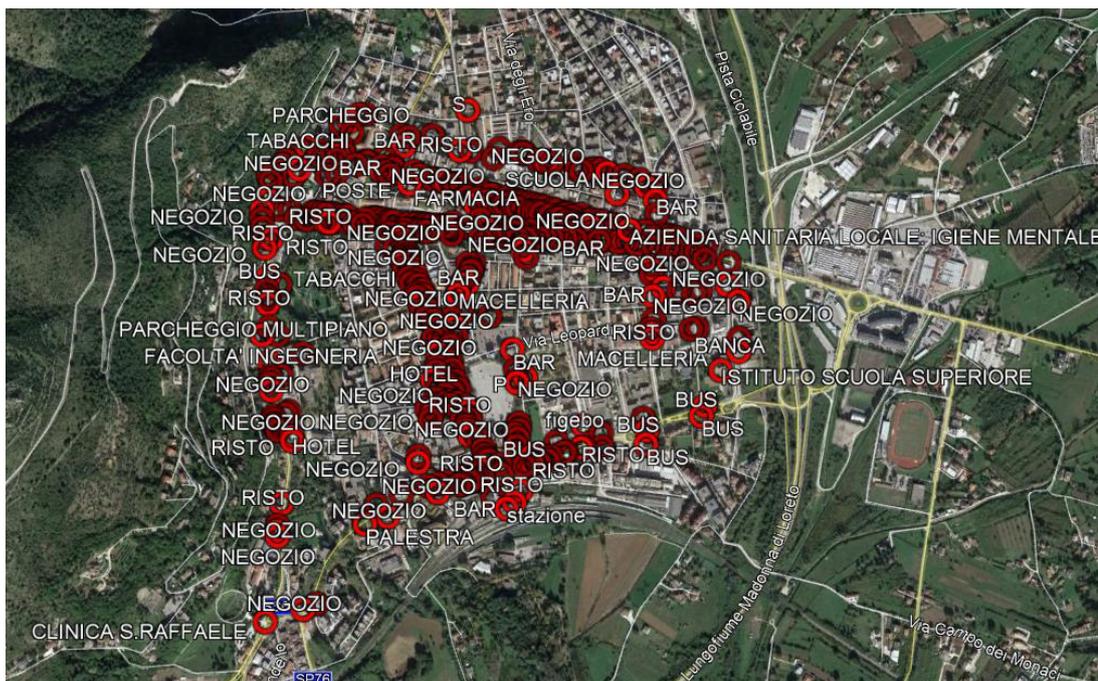


Fig. 25. Identificazione degli attrattori presenti nell'area di studio

L'analisi effettuata ha permesso di individuare i vari attrattori come bar, ristoranti, negozi di alimentari, negozi di scarpe, negozi di abbigliamento, ecc. che sono stati raggruppati sotto il nome di Negozi. Un'ulteriore indagine sulle attività di vendita al dettaglio è stata effettuata il sabato, quando nel centro di Cassino sono in funzione diverse aree di mercato all'aperto.

Rilevata la presenza di tali entità, queste sono state segnalate su ciascuna sezione della rete dell'area di studio.

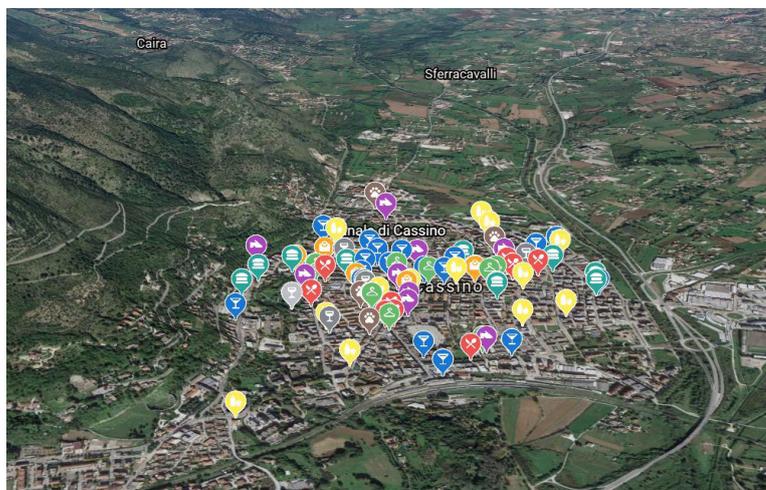


Fig. 26. Esercizi commerciali presenti in rete

Il fattore correttivo K_{shop} è riconducibile al calcolo del peso gravitazionale $P(\text{prox_shop})$ che è stimato valutando il numero di negozi che rientrano nelle corone circolari di 300 m e un chilometro, moltiplicati per il loro coefficiente attrattivo e normalizzato per il numero totale di negozi della zona.

$$K_{shop} = \begin{cases} P(\text{prox_shop}) * \frac{L_{average\ shops}}{L_{total\ treats}} & \text{if } n^{\circ} \text{ shops} = 0 \\ P(\text{prox_shop}) * \frac{L_{average\ shops}}{L_{total\ treats}} * \frac{n^{\circ} \text{shops}}{n^{\circ} \text{maximum number of stores on the network}} & \text{if } n^{\circ} \text{ shops} \neq 0 \end{cases} \quad (5)$$

Dove $P(\text{prox_shop})$ è valutato come:

$$P(\text{prox_shop}) = \begin{cases} \frac{1 * n^{\circ} \text{shops } 0-300\text{ m} + 0.3 * n^{\circ} \text{shops } 300-1000\text{ m}}{n^{\circ} \text{total shops } 0-1000\text{ m}} & \text{if } n^{\circ} \text{ shops} = 0 \\ 1 & \text{if } n^{\circ} \text{ shops} \neq 0 \end{cases} \quad (6)$$

Dove $n^{\circ}_{shop\ 0-300\ m}$ rappresenta il numero di negozi che rientrano nel raggio di 300 m e $n^{\circ}_{shop\ 300-1000\ m}$ è il numero di negozi che ricadono nel buffer compreso tra 1000 m e il raggio di 300 m.

Il nuovo fattore K_{shop} è stato incorporato nella valutazione del peso a seguito dell'analisi configurazionale al fine di valutare una correlazione con l'attività pedonale per ogni tratto stradale esaminato.

È stato ricavato un coefficiente di correlazione di Pearson (P) tra flussi pedonali stimati e rilevati di circa 0,94 (vedi **Fig.27**) a riprova che i flussi pedonali sono influenzati non solo dalla configurazione della rete ma anche dalla presenza di particolari attrattori.

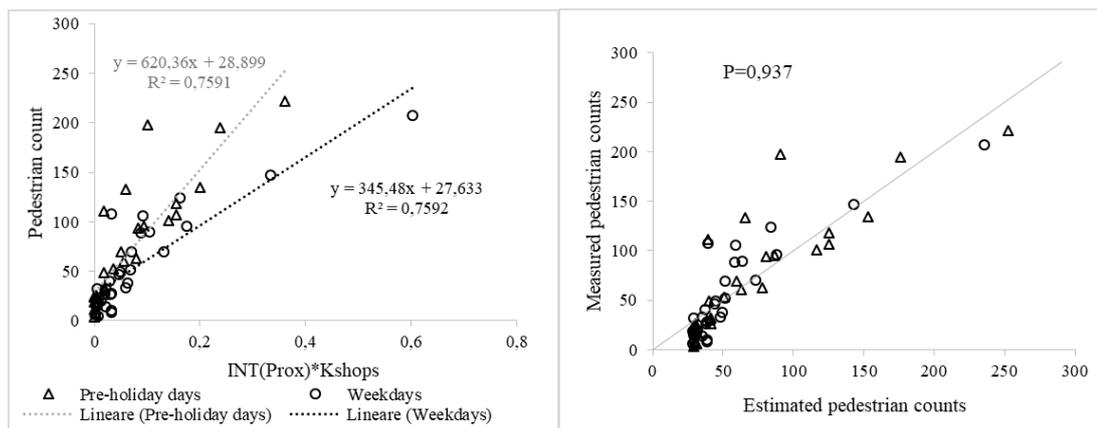


Fig. 27. Risultati con analisi ibrida ponderata.

Un modello di regressione lineare statistica è stato utilizzato per descrivere la correlazione tra il numero di pedoni misurato per singolo passaggio e la variabile indipendente, $INT(Prox) * K_{Shop}$.

Si evidenzia che come nei casi precedenti i risultati della correlazione siano comunque leggermente migliori nel caso del rilievo prefestivo il che può essere dovuto ad una maggior numerosità di utenti rilevati che si muovono sulla rete.

Analisi con dati post-Covid

Oltre ai rilievi a campione precedentemente descritti che hanno permesso di calibrare un modello previsionale di affollamento pedonale, sono state effettuate ulteriori analisi utilizzando dati rilevati in un periodo più recente (post-Covid), considerando sia lo scenario feriale che quello prefestivo. I risultati sono illustrati in **Fig. 28** e **Fig. 29**.

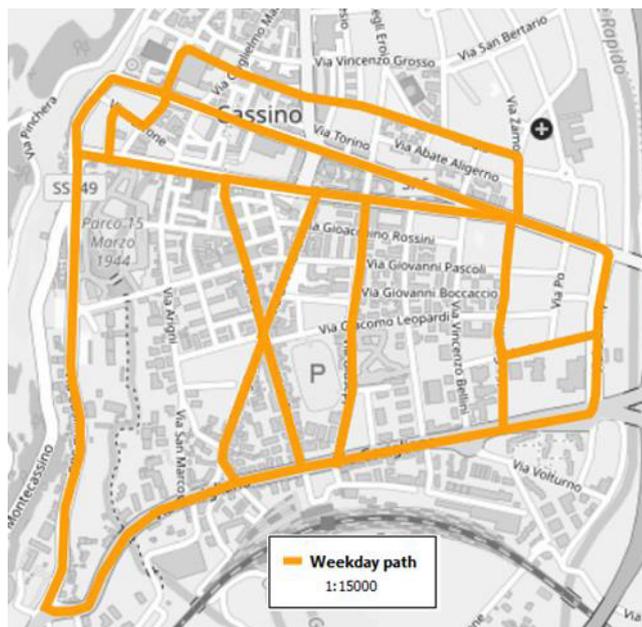


Fig. 28. Percorso feriale post-Covid.

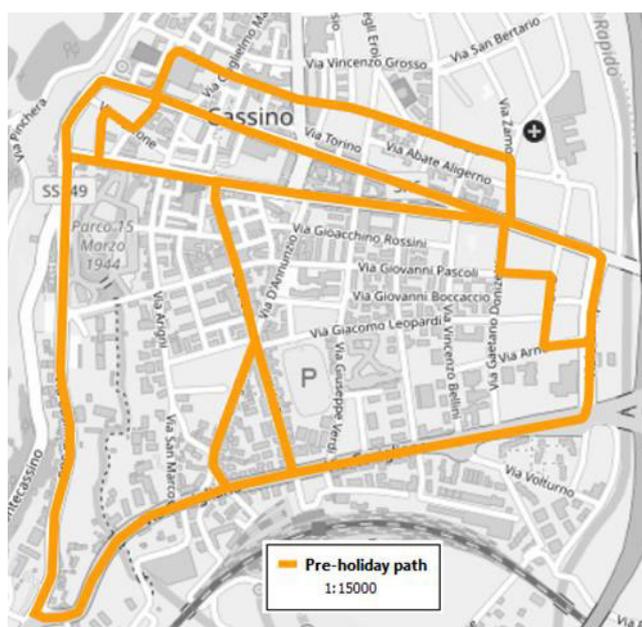


Fig. 29. Percorso pre-festivo post-Covid.

A seguito della post-elaborazione delle riprese video acquisite, sono stati ottenuti i dati di conteggio dei pedoni georeferenziati utili per il confronto finale.

Confrontando solo i dati dei conteggi pedonali della fase pre-pandemica (raccolti negli anni 2018 e 2019) con quelli post-Covid (raccolti a fine 2021 e inizio 2022) è stata evidenziata una significativa riduzione degli spostamenti a piedi per la maggior parte dei tratti stradali indagati (vedi **Fig. 30**).

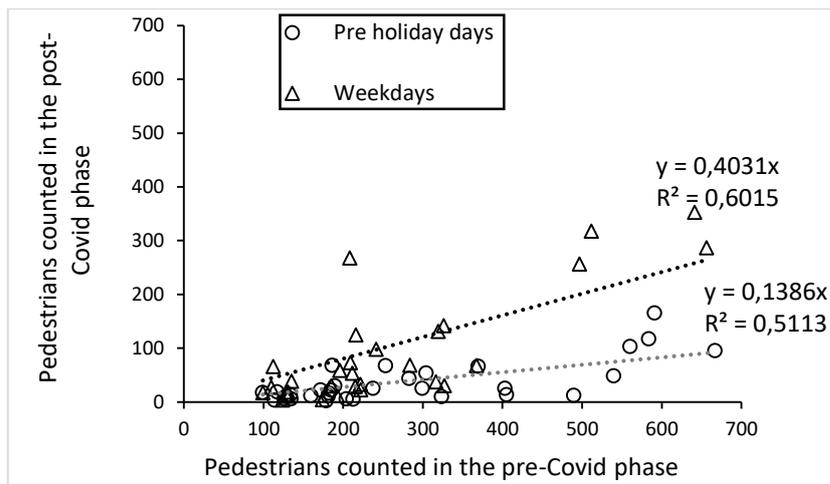
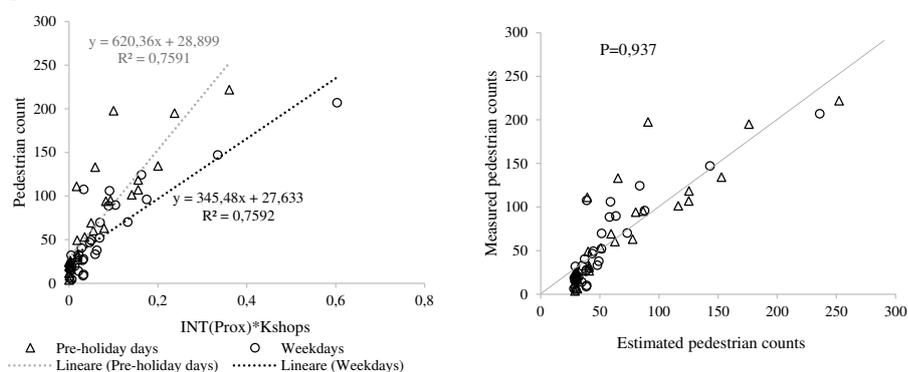


Fig. 30. Confronto tra il conteggio dei pedoni pre e post Covid.

Per applicare correttamente il modello ibrido, precedentemente descritto e calibrato sulle condizioni pre-pandemiche **Fig. 31**, è stato necessario effettuare una revisione della presenza degli attrattori ed in particolare degli esercizi commerciali per tenere conto delle variazioni dovute alle restrizioni che hanno caratterizzato il periodo successivo al lockdown o alla possibile chiusura o spostamento di attività commerciali nell'area di studio **Fig. 32**.



a)

b)

Fig. 31. Pre-Covid a) calibrazione del modello predittivo di conteggio dei pedoni e b) corrispondenti statistiche di Pearson tra flussi pedonali misurati e previsti.

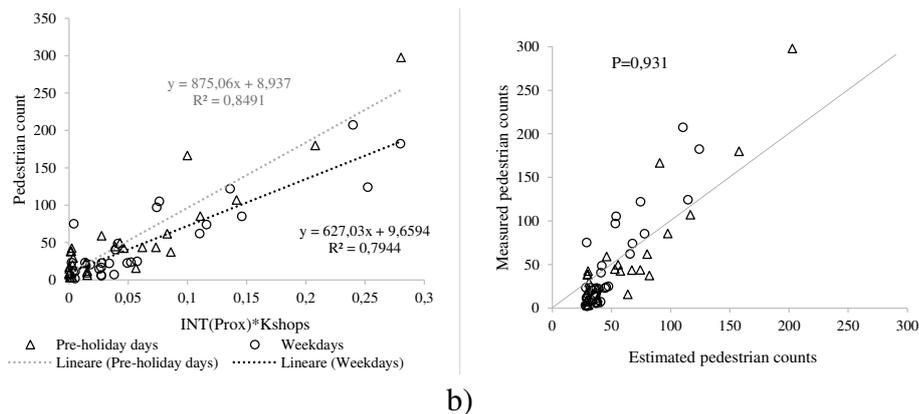


Fig. 32. Post-Covid a) calibrazione del modello predittivo di conteggio dei pedoni e b) corrispondenti statistiche di Pearson tra flussi pedonali misurati e previsti.

Si può facilmente osservare che l'approccio ibrido, sia nello scenario pre che post-pandemico, presenta correlazioni abbastanza buone; infatti, per entrambi gli scenari si può ricavare un coefficiente di correlazione di Pearson (P) di 0,93 (vedi **Fig. 31- Fig. 32**).

Ciò dimostra che i flussi pedonali sono influenzati non solo dalla configurazione della rete ma anche dalla presenza di particolari attrattori (principalmente attività commerciali), tra i diversi parametri di uso del suolo diversi dalla distribuzione della popolazione (incorporati nel suddetto peso di prossimità). Pertanto, le variabili quantitative utilizzate sono ben correlate e il modello è statisticamente significativo.

Confrontando le condizioni pre e post-Covid, sia negli scenari festivi che in quelli feriali, si può facilmente notare che l'approccio basato su un modello di regressione lineare mostra un analogo accordo significativo (correlazione) con i dati misurati, fornendo così l'evidenza dell'affidabilità dell'approccio modellistico proposto.

Inoltre, per quanto riguarda il modello lineare, vale la pena sottolineare che:

- La durata costante sembra essere diminuita, sia per i giorni feriali che per i giorni prefestivi, dimostrando la riduzione degli spostamenti "di livello base" dell'attività pedonale nello scenario post-pandemico;

- La pendenza del modello sembra essere maggiore per i dati raccolti nel periodo post-pandemico rispetto a quelli relativi al periodo pre-Covid, forse a causa della maggiore preferenza dei pedoni per la scelta di attività commerciali situate più vicine alle loro aree residenziali.

Per un maggiore approfondimento si rimanda all'allegato 1-E.

Rilevazione linee TPL

Il presente lavoro si incentra sulla valutazione del trasporto pubblico locale TPL che interessa il Comune di Cassino, facendo riferimento all'introduzione dell'area pedonale.

I percorsi, prima esistenti, necessitano di deviazione, qualora essi prevedevano il passaggio per l'attuale area pedonale.

Inquadramento territoriale

Il Comune di Cassino, in Provincia di Frosinone, è dotato di due linee di trasporto pubblico locale che insistono sul territorio comunale gestite dalle seguenti Aziende:

- Magni
- Mastrantoni

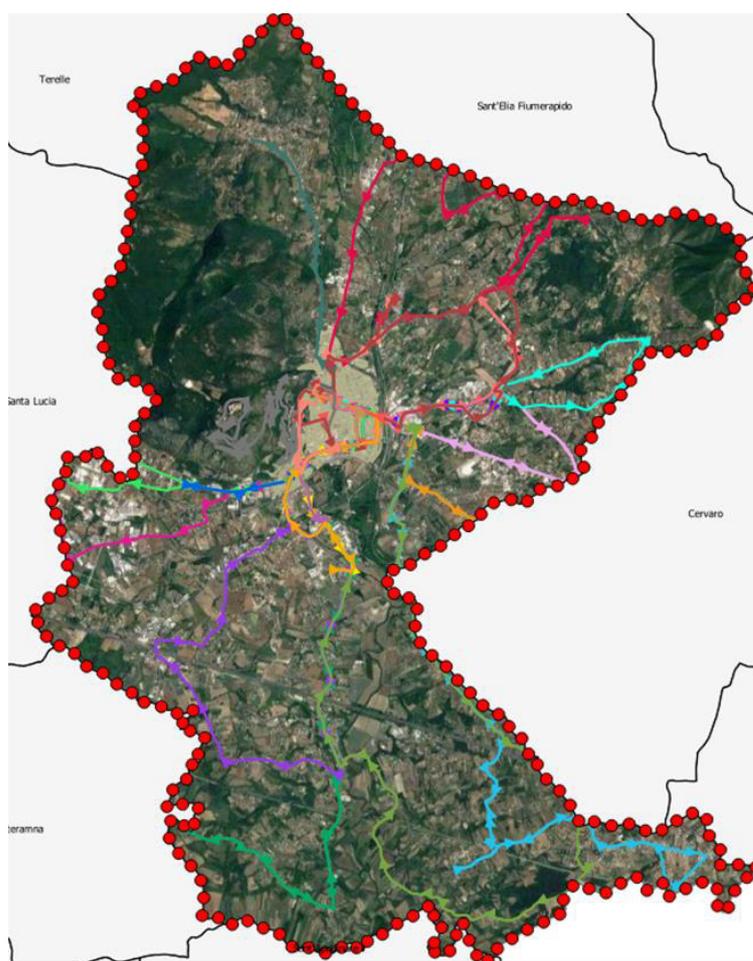


Fig. 33. Attuale offerta TPL nel Comune di Cassino.

Descrizione delle linee TPL

Il censimento dell'offerta TPL effettuato nel PUT rilasciato nel 2016 è riportato schematicamente nella figura successiva (**Fig.34**).

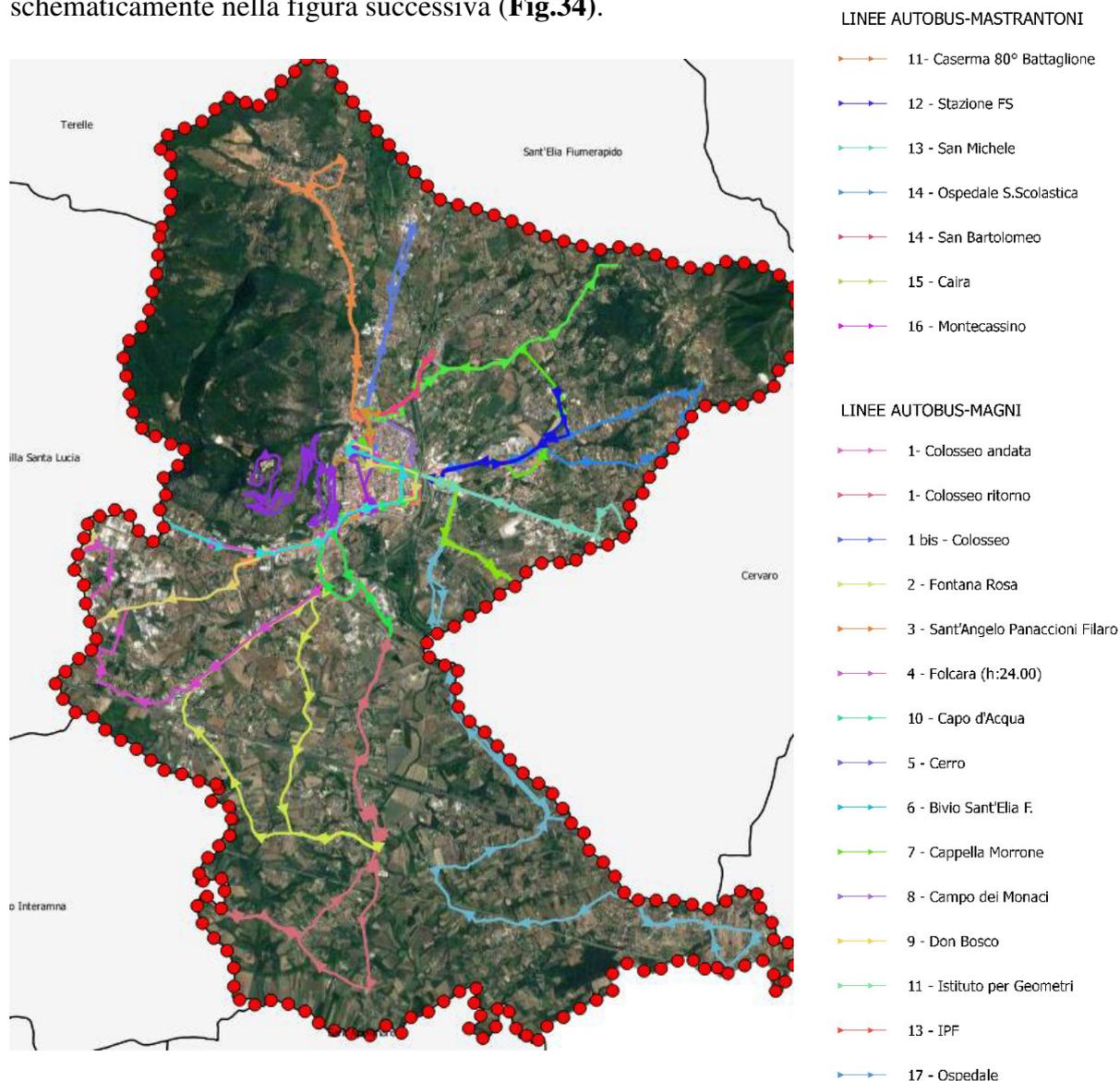


Fig. 34. Linee TPL (PUT 2016).

Si è pertanto proceduto ad una verifica preliminare dell'offerta TPL consultando diverse sorgenti di informazione:

- il sito del Comune;
- i siti delle Aziende di Trasporto coinvolte nel servizio che, quando necessario, sono state anche contattate telefonicamente;
- le informazioni desumibili dall'App Moovit.

al fine di rilevare eventuali incongruenze e procedere ad una disamina puntuale ed aggiornata dell'offerta rispetto al quadro presentato nel 2016. I risultati di tale disamina sono consegnati nell'Allegato 1-F e nelle tavole 4F bis (1-8).

Verifica dei nuovi percorsi

Con l'istituzione dell'area pedonale, vi è la necessità di prevedere delle modifiche ai percorsi esistenti, determinando delle variazioni che non prevedano il passaggio per la stessa.

Di seguito si riportano le linee che, consultando l'app Moovit, presenterebbero il passaggio per l'attuale area pedonale e le relative deviazioni previste. Anche tale informazione è stata ottenuta interloquendo telefonicamente con gli uffici di Magni e Mastrantoni (vedi (**Fig. 35- Fig.40**))



Fig. 35. Linea 8 - Magni (in verde indicata l'attuale area pedonale).



Fig. 36. Linea 17 - Magni (in verde indicata l'attuale area pedonale).



Fig. 37. Linea 11 - Mastrantoni (in verde indicata l'attuale area pedonale).



Fig. 38. Linea 12 - Mastrantoni (in verde indicata l'attuale area pedonale).



Fig. 39. Linea 16 – Mastrantoni (in verde indicata l'attuale area pedonale).



Fig. 40. Linea 18 - Mastrantoni (in verde l'attuale area pedonale).

Per un maggiore approfondimento si rimanda all'allegato 1-F.

QUADRO PROGETTUALE

Richiami metodologici

Al fine di progettare o riqualificare le nostre città favorendo interventi che spingano i cittadini verso una mobilità sostenibile è necessario conoscere le attitudini a spostarsi degli stessi cittadini. A tal proposito, si fa riferimento a modelli di stima della domanda, utilizzati per la stima dei flussi veicolari, che possono essere opportunamente particolarizzati per consentire gli approfondimenti legati alla circolazione veicolare piuttosto che a quella ciclo-pedonale.

Identificati i tronchi stradali (segmenti) maggiormente caricati (e quindi congestionati) si possono ipotizzare differenti proposte di miglioramento e stimare come varierebbe la distribuzione dei flussi di traffico (e quindi nei fatti le abitudini degli utenti del sistema di trasporto) a seguito degli interventi. Nel paragrafo successivo si descrive in generale

il modello a cascata a quattro stadi già accennato in premesse, approfondendo nei paragrafi successivi i diversi sotto-modelli che lo compongono.

L'insieme degli utenti che effettuano uno spostamento costituisce la domanda di trasporto di un certo sistema, risultato congiunto dell'assetto del territorio, del sistema di attività e del sistema di offerta di trasporto, che dovrà essere soddisfatta dalle infrastrutture e dai servizi di trasporto presenti sul territorio in esame.

Semplificando il problema, quando si parla di domanda di trasporto, un ruolo chiave lo ricopre la sua caratterizzazione di tipo spaziale, in quanto gli spostamenti avvengono tra due zone fondamentali: l'origine e la destinazione. Questa connotazione spaziale (che verte sulla localizzazione di questi due punti) permette di rappresentare gli spostamenti con una matrice, detta matrice Origine-Destinazione (o in breve O-D). Il numero di righe e colonne di questa matrice è pari al numero delle zone, tra le quali può avvenire uno spostamento. Se si nomina il singolo elemento della matrice con la sigla d_{od} , questo generico elemento rappresenta il numero degli spostamenti tra le zone di origine e di destinazione. Costruendo la matrice in modo tale che le colonne rappresentino le zone di origine e le righe quelle di destinazione, si può notare che la somma degli elementi sulla riga costituisce il totale degli spostamenti che partono da una certa zona, e rappresenta quello che viene chiamato flusso emesso; mentre la somma degli elementi sulla colonna rappresenta il flusso attratto, ossia la totalità degli spostamenti in una zona di destinazione.

All'interno della matrice è possibile individuare quattro sotto-matrici che rappresentano diverse tipologie di spostamento; si parla quindi di spostamenti interni, interno-esterno, esterno-interno, attraversamento esterno-esterno. Gli elementi sulla diagonale rappresentano invece gli spostamenti che si originano e terminano nella stessa zona, pertanto detti intrazonali.

Altra caratteristica della domanda è la sua connotazione temporale. Occorre rilevare che di solito la scelta del periodo temporale di riferimento si riconduce allo scopo dell'analisi. Se per la progettazione/verifica di un nuovo intervento che preveda una modifica della disciplina di circolazione, si focalizza l'attenzione sulla stima della domanda di breve periodo, che coincide, di solito, con quello di massimo carico della rete (la cosiddetta l'ora di punta) per una valutazione di redditività di tipo economico-finanziario legato alla realizzazione di un nuovo investimento nel settore dei trasporti è necessario un intervallo temporale commisurato alla vita tecnica dell'intervento.

L'ipotesi che sta alla base della costruzione dei modelli matematici della domanda di trasporto è che la domanda sia costante per intervalli temporali ampi, tali da consentire al sistema un regime stazionario, di modo che i flussi di traffico siano costanti nel loro valore medio.

Per modello della domanda di trasporto si indica una relazione matematica che associa ad un dato sistema di attività e di offerta di trasporto il valore medio del flusso di domanda in un dato periodo di riferimento. Per usare una notazione rigorosa, si può scrivere la seguente relazione (7):

$$d_{od}[k_1 \dots k_n] = d(SE, T, \beta) \quad (7)$$

Dove $k_1 \dots k_n$ sono le caratteristiche della zona di spostamento, mentre SE, T, β rappresentano rispettivamente le variabili socioeconomiche delle famiglie residenti oppure dei decisori; il vettore delle variabili di livello di servizio (tempi, costi di viaggio ecc.); il vettore coefficienti o parametri di calibrazione.

I metodi di stima della domanda riportati nella manualistica tecnico scientifica (cfr. E. Cascetta "Teoria e metodi dell'ingegneria dei sistemi di trasporto" ad esempio) fanno riferimento al un modello a quattro stadi che suddivide la scelta totale di viaggio in una successione di scelte parziali (se muoversi o meno, verso quale destinazione, con quale modo di trasporto, lungo quale itinerario). Il modello può essere rappresentato dalla successiva relazione, dove $d^i(h, s, o, d, m, k)$ rappresenta il flusso di domanda per la categoria di utenti i , nell'intervallo temporale h , per il motivo s , per il modo di trasporto m , per il percorso k (8):

$$d^i(h, s, o, d, m, k) = n^i(o) p^i(x/osh) p^i(d/osh) p^i(m/dosh) p^i(k/mdosh) \quad (8)$$

Con questa notazione si vuole mettere in evidenza che il modello che verrà analizzato è costituito da quattro sotto-modelli che interagiscono tra di loro, ovvero:

- $n^i(o) p^i(x/osh)$ è il modello di generazione o di emissione;
- $p^i(d/osh)$ è il modello di distribuzione;
- $p^i(m/dosh)$ è il modello di scelta modale;
- $p^i(k/mdosh)$ è il modello di scelta del percorso.

Nei paragrafi successivi si approfondiranno i diversi modelli appena accennati, al fine di chiarire in cosa consistono.

Modello di generazione o emissione

Questo modello fornisce il numero di spostamenti rilevanti (e quindi il flusso di domanda) effettuati nel periodo h per il motivo s dal generico utente appartenente alla categoria i con origine nella zona o . Il modello di generazione contenuto nella relazione (8), è costituito dai seguenti termini:

- $n^i(o)$ è il numero di persone appartenenti alla categoria i ;
- $p^i(x/osh)$ è la percentuale (probabilità) di utenti che si spostano e può essere espresso per esempio con una Logit binomiale o multinomiale a seconda del periodo di riferimento.

Se h è tale che la probabilità di effettuare uno spostamento rilevante sia trascurabile, allora si sceglie una Logit binomiale con due alternative (effettuo o no il movimento). In caso contrario una multinomiale.

Altro approccio, definito descrittivo, permette di individuare degli indici per categoria, ovvero fornisce gli spostamenti medi giornalieri riferiti a specifiche categorie di utenti del sistema di trasporto. Gli indici sono stati definiti su indagini campionarie in diverse città italiane. Questo approccio può essere nominato descrittivo aggregato, in quanto fa riferimento all'intera categoria di utenti.

Segue, poi, un altro approccio descrittivo, in cui invece di stimare l'indice di generazione per categoria, stima un modello in cui l'indice dipende da alcuni attributi, chiamato modello descrittivo disaggregato. L'indice medio lo si può esprimere come (9):

$$m^i(osh) = \sum_j \beta_j X_j \quad (9)$$

Dove x_j sono i valori medi delle variabili socioeconomiche (reddito, numero di auto ecc.) e β_j sono i coefficienti del modello da stimare.

Modello di distribuzione

Modello che permette di stimare la percentuale di spostamenti effettuati dagli utenti appartenenti alla categoria i che, partendo dalla zona o per il motivo s nel periodo h , si recano alla destinazione d . Ai modelli di distribuzione è possibile applicare due tipologie di approccio: una descrittiva ed una comportamentale.

Un primo modello descrittivo è quello gravitazionale, che presenta delle analogie con la nota legge fisica della gravitazione (10):

$$d_{od} = k P_o A_d^\beta t_{od}^{-\theta} \quad (10)$$

Indicando con P_o il potenziale attrattivo di partenza (popolazione, ad esempio, che lavora residente in o), con A_d il potenziale attrattivo di arrivo (persone che lavorano in d) e con il tempo di spostamento che gli utenti impiegano per coprire la distanza origine-destinazione.

L'altro approccio che si può applicare è quello di tipo comportamentale: in questo caso l'insieme di scelta da parte del decisore è l'insieme delle destinazioni della rete. I modelli più utilizzati sono del tipo Logit Multinomiale. L'ipotesi alla base che viene effettuata è che il numero di spostamenti x non influenzi la scelta della destinazione.

Modello di scelta modale

Questo modello permette di stimare la percentuale di individui appartenenti alla categoria i che spostandosi dall'origine o alla destinazione d , per il motivo s , nel periodo di tempo h , sceglie il modo di trasporto h . Nella pratica tutti i modelli di scelta modale hanno un'interpretazione comportamentale. La definizione dei modi di trasporto rilevante è strettamente connessa all'area di studio, come ad esempio se stiamo calando il modello in ambito urbano o extraurbano. Da ricordare che non tutte le modalità di trasporto potrebbero essere disponibili agli utenti perché una particolare modalità non viene vista come alternativa per un particolare spostamento.

Gli attributi che compaiono nei modelli di utilità sono variabili socioeconomiche, come reddito e numero di autovetture in possesso, oppure variabili di livello di servizio che sono legate principalmente al servizio che viene offerto da una modalità di trasporto, come il tempo, il costo monetario, la regolarità del servizio disponibile. Rappresentando per gli utenti quella che viene vista come disutilità, questi attributi presentano dei coefficienti negativi.

Si possono includere inoltre tra gli attributi del livello di servizio, gli attributi specifici dell'alternativa (ASA) che hanno lo scopo di non trascurare quelle caratteristiche proprie di ciascun modo difficilmente valutabili in termini quantitativi. Esempi possono essere la privacy ed il comfort associato alla modalità o alle modalità di trasporto esaminate.

Modello di scelta del percorso

Il modello di scelta del percorso permette di determinare la percentuale (probabilità) di individui di categoria i che spostandosi fra o e d , per il motivo s , nella fascia oraria h e con il modo m , sceglie il percorso k . I comportamenti di scelta del percorso dipendono dalle diverse caratteristiche del servizio offerto dal modo di trasporto in esame. Si può parlare, in generale, di scelta preventiva e di scelta mista preventiva/adattiva. Nel primo caso la scelta viene effettuata prima di accingersi ad impegnarsi in uno spostamento e di solito è assunto per questi sistemi che offrono un trasporto continuo, come le autostrade, oppure discontinuo ma con basse frequenze ed elevata regolarità. Il comportamento di scelta mista preventiva/adattiva è caratterizzato da una scelta che viene effettuata in due fasi e che si completa solo dopo aver osservato ed analizzato le diverse circostanze che si incontrano: questa modalità è tipica dei sistemi che offrono un servizio di trasporto discontinuo con elevata frequenza di servizio e/o bassa regolarità (come i bus urbani).

La specificazione di un modello di scelta del percorso per un sistema a servizio continuo si articola in tre fasi:

1. Definizione delle alternative di scelta: si basa essenzialmente sull'ipotesi che prima di effettuare uno spostamento l'utente considera diversi percorsi.
2. Definizione dell'insieme dei percorsi ammissibili: ovvero delle alternative di scelta in quanto ci potrebbero essere diversi percorsi che collegano l'origine con la destinazione. Se si sfrutta l'approccio esaustivo, allora si assumono ammissibili

tutti i percorsi elementari individuati, mentre se si sfrutta quello selettivo, allora si è costretti a considerare solo alcuni percorsi tra quelli ammissibili.

3. Definizione del modello di scelta del percorso: richiede la definizione del modello che si sceglie di applicare, ovvero ci si può ricondurre a modelli di utilità deterministica oppure aleatoria.

Il modello di utilità deterministica è un modello di tipo comportamentale. Nei modelli di utilità aleatoria si può scrivere che l'utilità percepita (U_i) è data dalla somma dell'utilità sistematica (V_i) e del residuo aleatorio (ϵ_i). Nel caso di modello di scelta deterministica, il residuo aleatorio è nullo, ovvero l'utente sceglie l'alternativa che presenta la massima utilità, ossia l'alternativa che presenta l'itinerario con costo minimo. Il problema di questo modello è che non è troppo realistico in quanto non è realistico affermare che tutti gli utenti stimano il costo sugli itinerari allo stesso modo.

Analisi e macrosimulazione dello stato di fatto: calibrazione del modello

Dopo aver delimitato l'area di studio, si è effettuata una zonizzazione (**Fig. 41, Fig. 42**) del territorio, parte importante dell'individuazione del sistema di trasporto. Per consentire la modellizzazione del problema, si discretizza il territorio interno ed esterno all'area di studio in zone di traffico, fra le quali avvengono gli spostamenti, immaginando quindi che questi spostamenti non inizino e terminino in punti qualsiasi del territorio, ma in punti ben precisi detti centroidi di zona. L'obiettivo della zonizzazione è quello di approssimare tutti i punti di inizio e fine spostamento in un unico punto. Si ricorda che questi spostamenti possono distinguersi in spostamenti intrazonali (avvengono nella medesima zona di traffico) oppure interzonali (vedono coinvolte due zone di traffico). Per il comune di Cassino è stato possibile individuare 30 centroidi interni (come si è potuto constatare dai micro-dati Istat) e 10 centroidi esterni che hanno lo scopo principale di simulare la domanda in accesso al comune di Comune di Cassino.

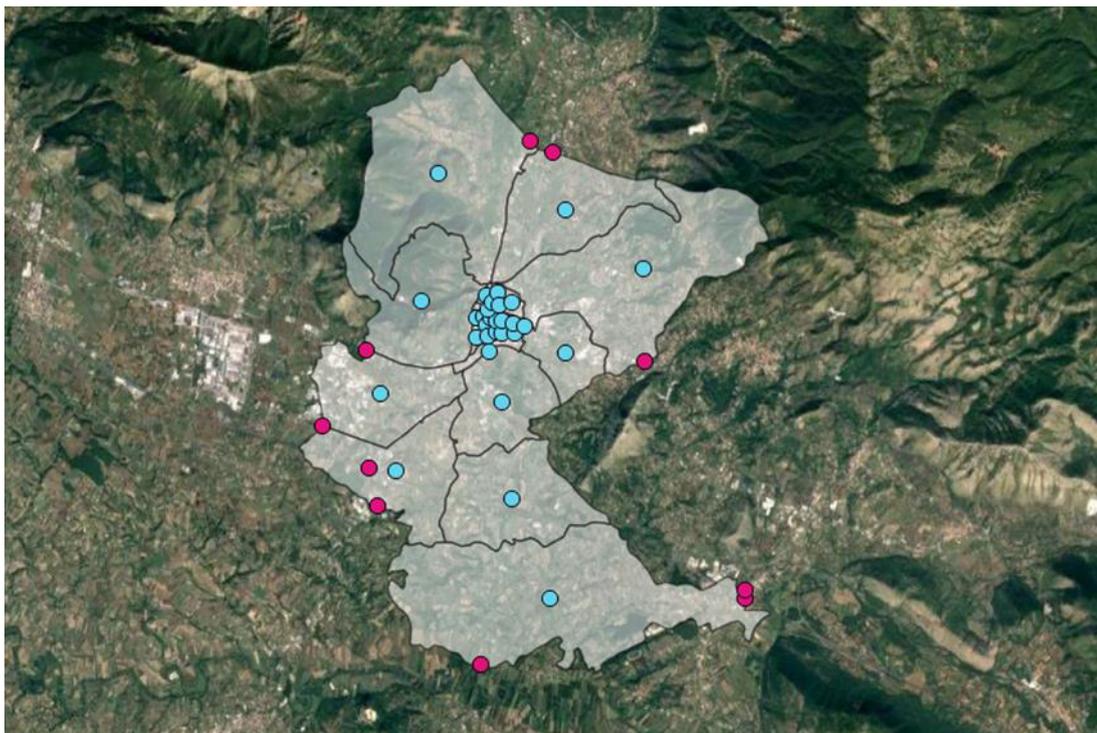


Fig. 41. Comune di Cassino (QGis): Zonizzazione ed individuazione dei centroidi.



Fig. 42. Comune di Cassino (QGis): Zonizzazione ed individuazione dei centroidi (particolare).

Raccolta dati e conteggi di traffico

Al fine di poter calibrare un modello di domanda di trasporto, occorre effettuare una campagna di raccolta dati e quindi ricavare i cosiddetti conteggi di traffico, che sono non altro che il numero di veicoli che effettuano una manovra su di un determinato tronco stradale. La scelta del tronco stradale soggiace ad esigenze strategiche: di solito i punti in cui si effettuano questa tipologia di misure è strettamente correlata all'insieme delle attività economiche sul territorio, alla presenza di scuola, alla presenza di attività commerciali che tendono ad attirare ed a emettere spostamenti sul centro abitato e no. Altri punti di tenere sotto controllo sono quelli che si trovano sui bordi comunali (tecnicamente dette sezioni al cordone), nella fattispecie sulle direttrici principali che permettono gli spostamenti interno-esterno col Comune preso in esame.

I principali conteggi di traffico utilizzati sono stati presi dal lavoro svolto dal Comune di Cassino per la redazione del Piano Urbano di Traffico (PUT), a cui sono stati aggiunti nuovi conteggi di traffico raccolti nell'anno 2022, prima dell'inizio lavori dell'isola pedonale. Nella **Fig. 43** del paragrafo in questione, sono riportate le principali intersezioni in cui sono disponibili dei conteggi di traffico.

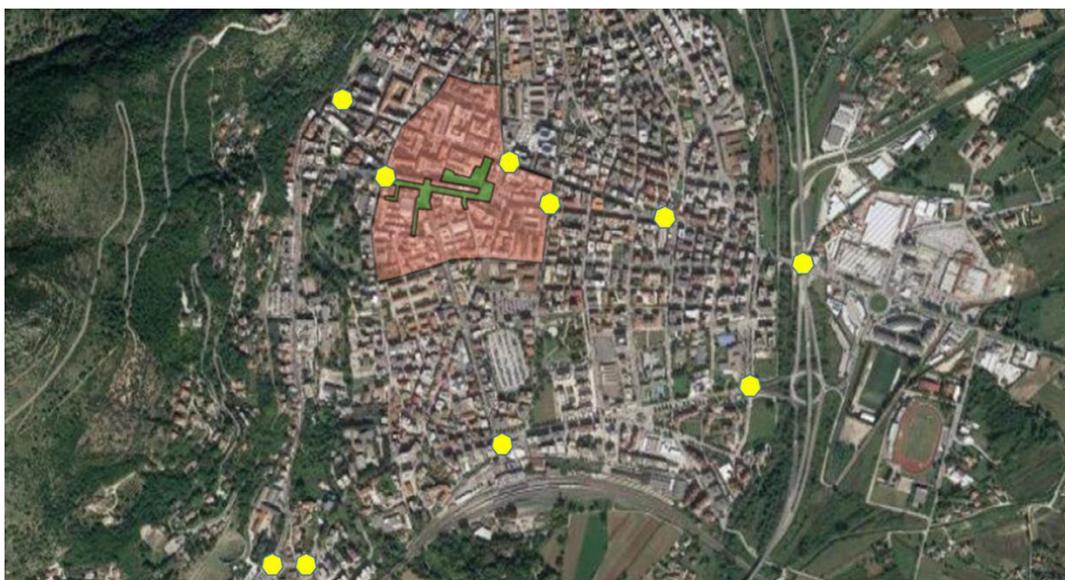


Fig. 43. Localizzazione delle diverse intersezioni prese in esame al fine di ricavare dei conteggi di traffico adatti alle analisi svolte ed alla calibrazione del modello di traffico macroscopico.

- T_0 tempo di percorrenza nelle condizioni di flusso libero [s];
- F è il flusso sul tratto stradale [veic/h];
- C è la capacità [veic/h].

Con riferimento alla funzione di costo dell'intersezione è stata scelta la formula BPR modificata (12), ovvero quella definita da Lohse [12].

$$T_{cur} = \begin{cases} T_0(a + sat^b) & sat \leq sat_{crit} \\ T_0(a + sat_{crit}^b) + abT_0(sat_{crit}^{b-1})(sat - sat_{crit}) & sat > sat_{crit} \end{cases} \quad (12)$$

Dove:

- sat è il rapporto F/C (ovvero il tasso di saturazione) [-];
- sat_{crit} è il tasso di saturazione critico [-].

Della domanda di mobilità descritta attraverso una matrice Origine/Destinazione (O/D), può anche essere fornita una rappresentazione grafica della distribuzione spaziale della domanda di mobilità mediante le linee di desiderio (**Fig. 45- Fig. 47**). Si tratta di connessioni tra i centroidi che costituiscono il modello di mobilità discretizzato e che indicano la distanza in linea d'aria tra un'origine ed una destinazione mentre il loro spessore rappresenta il valore della domanda di mobilità.

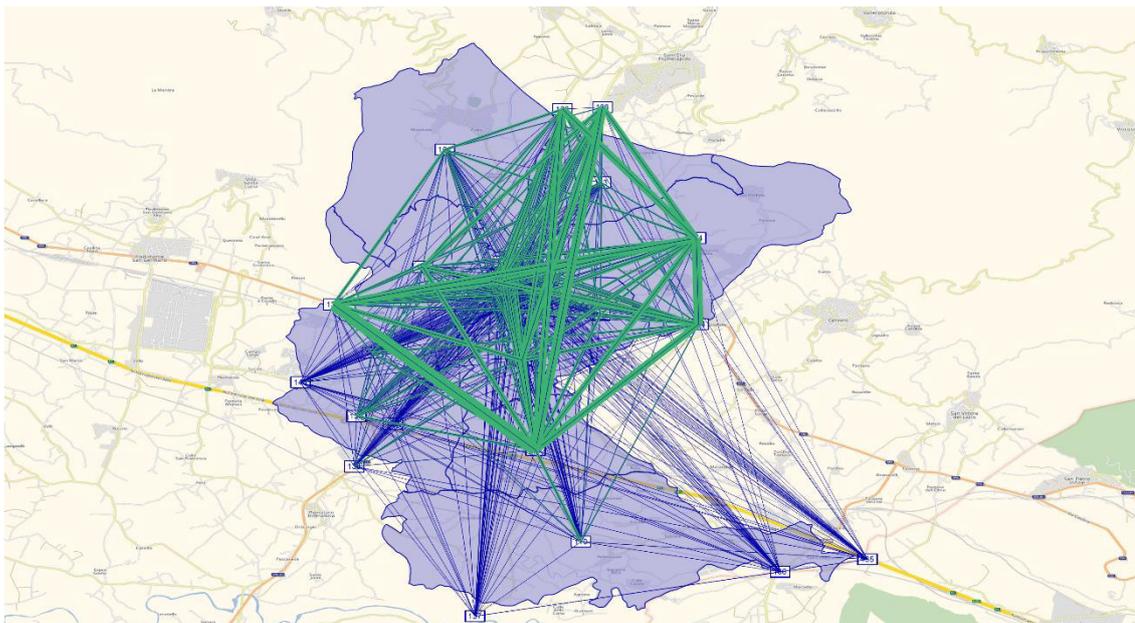


Fig. 45. Rappresentazione grafica della domanda mediante linee di desiderio (mattina).

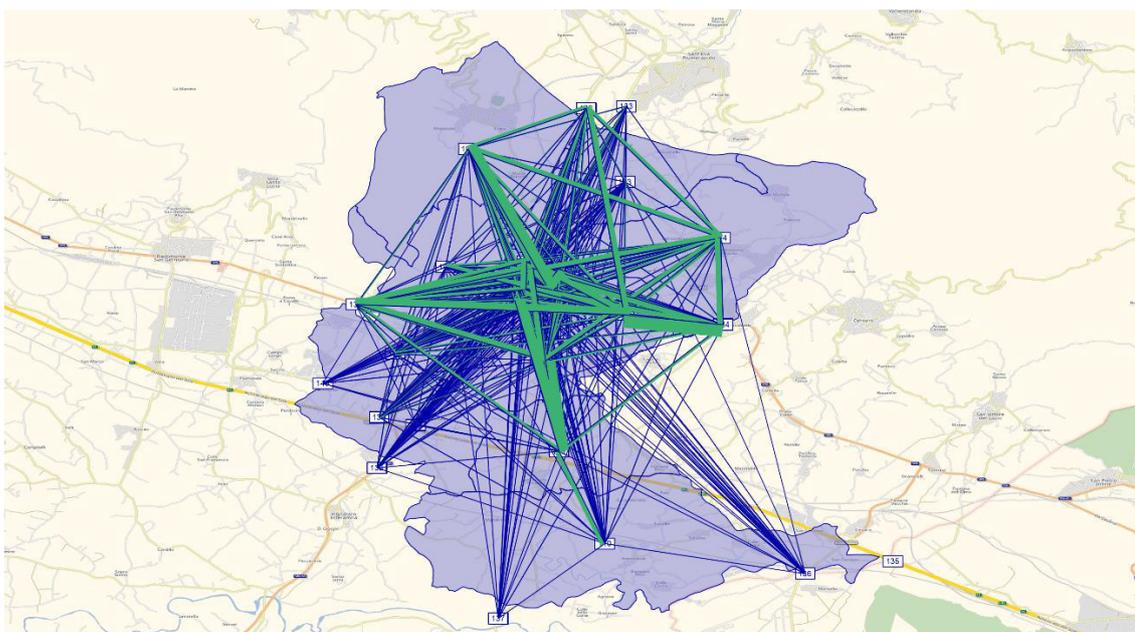


Fig. 46. Rappresentazione grafica della domanda mediante linee di desiderio (pranzo).

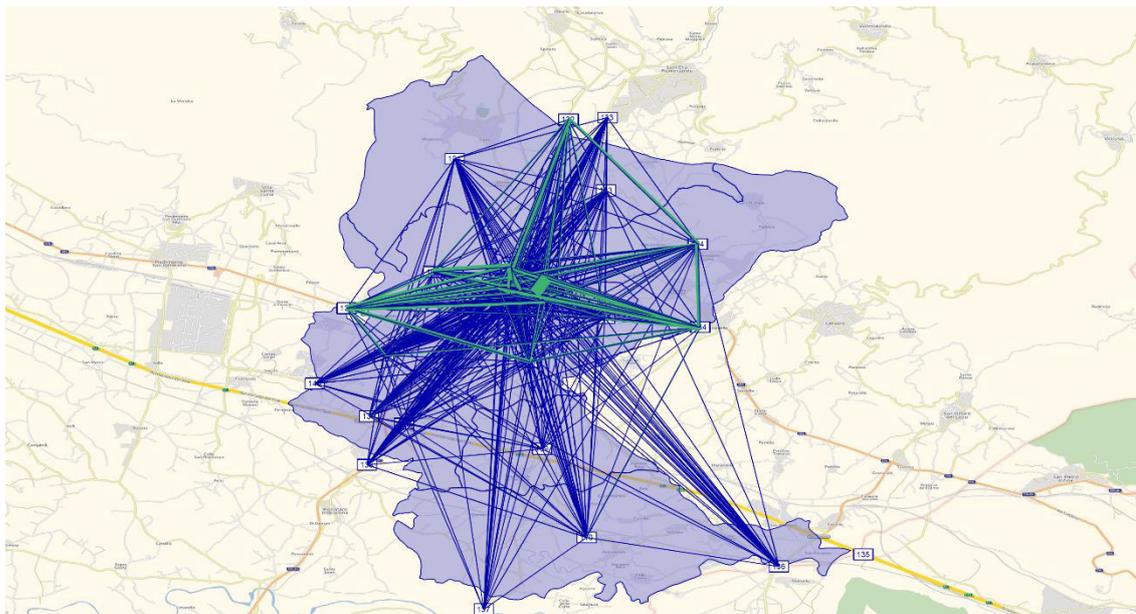


Fig. 47. Rappresentazione grafica della domanda mediante linee di desiderio (pomeriggio).

Il processo di assegnare un determinato numero di viaggi alla rete di trasporto è solitamente indicato come assegnazione del traffico. Nella figura sottostante (**Fig. 48**), è riportato un esempio di assegnazione come restituito dal software di analisi utilizzato: essendo però questa rappresentazione non sempre di facile comprensione e lettura, una diversa rappresentazione nella figura successiva (**Fig. 49**) è proposta: per ogni arco della rete, seguendo un cromatismo come indicato in legenda, sono riportati i livelli di saturazione, ovverosia i rapporti tra le portate insistenti su di un determinato arco stradale e il relativo valore di capacità. Nelle figure **Fig. 50** e **Fig. 51** sono riportati i rapporti di saturazione in riferimento ad altre fasce orarie di punta.

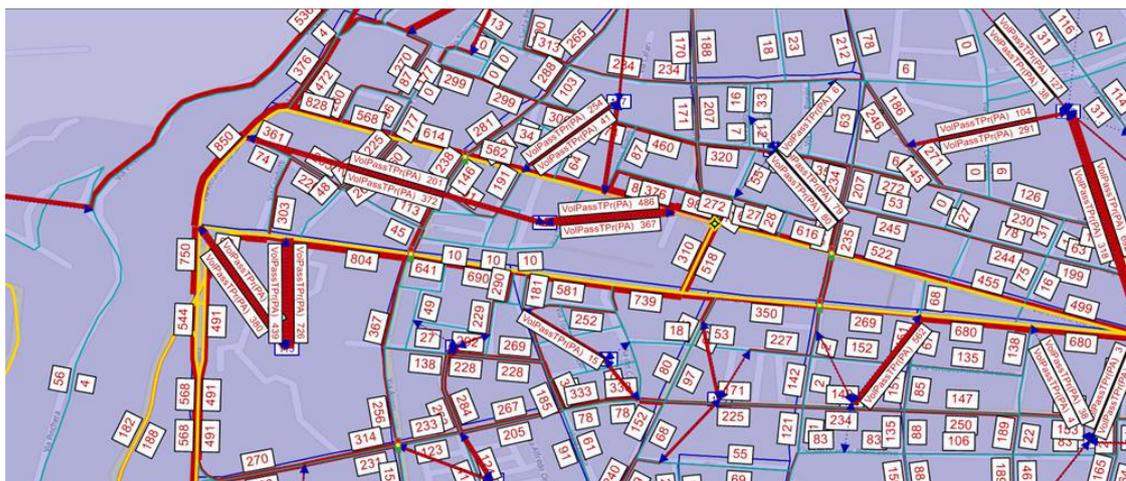


Fig. 48. Risultato grafico dell'assegnazione per la fascia oraria pomeridiana di punta (17:30-18:30).



Fig. 49. Risultato grafico dell'assegnazione per la fascia oraria mattutina di punta mediante la rappresentazione del rapporto di saturazione (07:15-08:15).

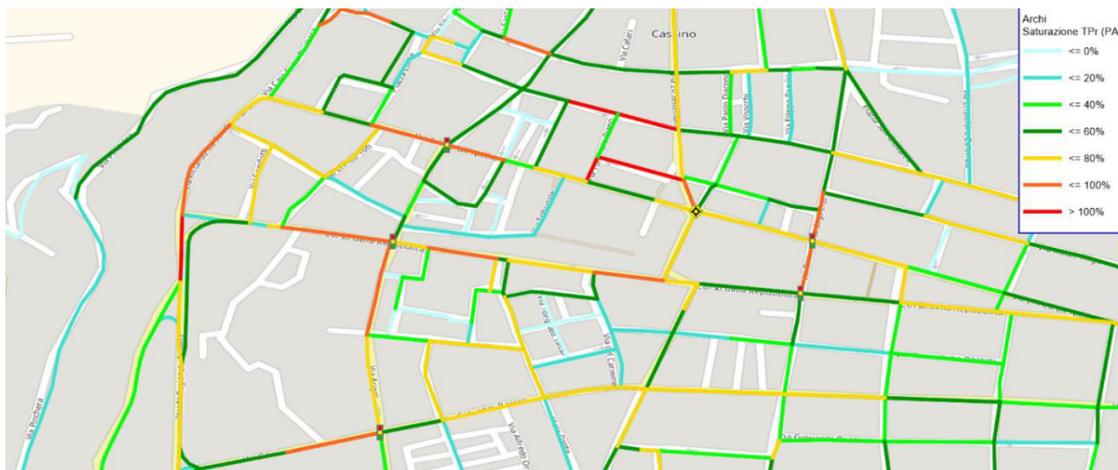


Fig. 50. Risultato grafico dell'assegnazione per la fascia oraria di pranzo di punta mediante la rappresentazione del rapporto di saturazione (12:30-13:30).

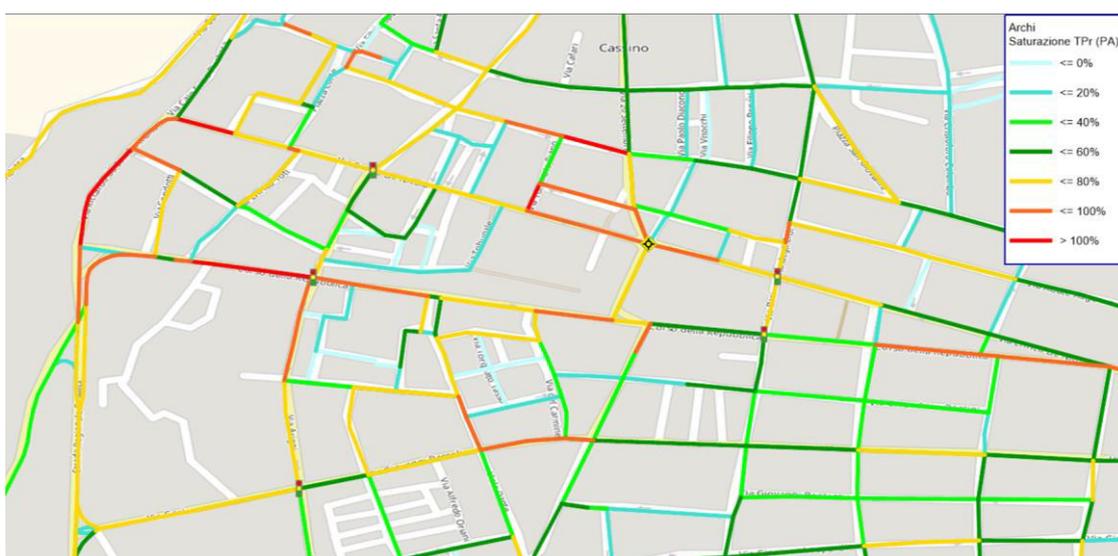


Fig. 51. Risultato grafico dell'assegnazione per la fascia oraria pomeridiana di punta mediante la rappresentazione del rapporto di saturazione (17:30-18:30).

Prendendo ad esempio le fasce di punta nell'orario mattutino, di pranzo e di pomeriggio di un tipico giorno ferialo, nella fase di pre-calibrazione si riscontra un basso accordo tra i flussi stimati dal modello di trasporto previsionale (Fig. 52, Fig. 54, Fig. 56) e i conteggi di traffico disponibili. Pertanto (come si può vedere in Fig. 53, Fig. 55, Fig. 57) a seguito della fase di calibrazione si è ottenuta una soddisfacente correlazione tra flussi stimati con il modello previsionale e conteggi sulle intersezioni.

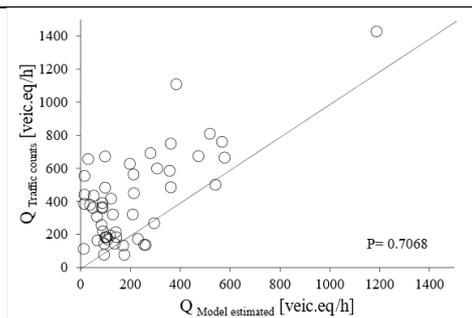


Fig. 52. Confronto flussi prima della fase di calibrazione nella finestra temporale in esame (07:15-08:15) di un giorno feriale tipo ($P=0.7068$).

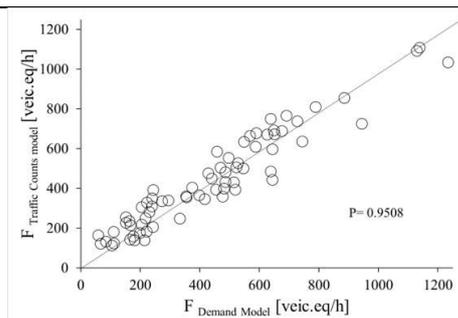


Fig. 53. Confronto flussi dopo la fase di calibrazione nella finestra temporale in esame (07:15-08:15) di un giorno feriale tipo ($P=0.9508$).

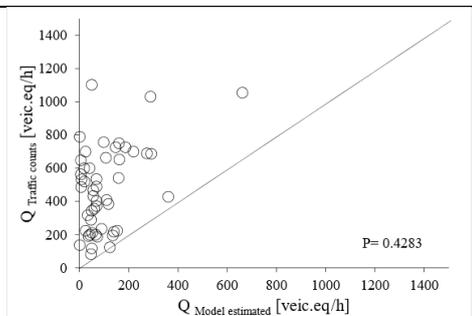


Fig. 54. Confronto flussi prima della fase di calibrazione nella finestra temporale in esame (12:30-13:30) di un giorno feriale tipo ($P=0.4283$).

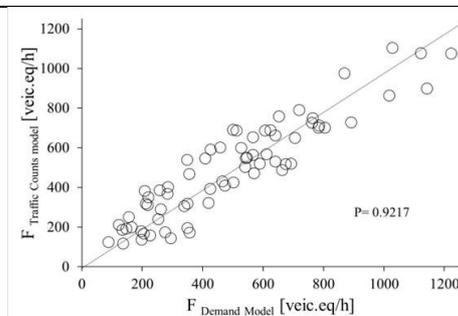


Fig. 55. Confronto flussi dopo la fase di calibrazione nella finestra temporale in esame (12:30-13:30) di un giorno feriale tipo ($P=0.9217$).

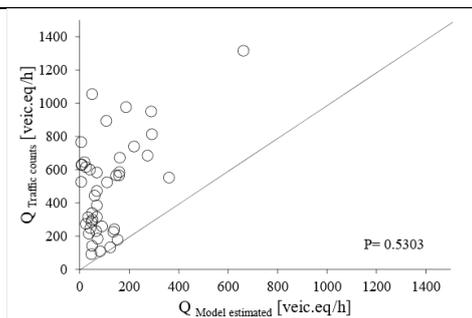


Fig. 56. Confronto flussi prima della fase di calibrazione nella finestra temporale in esame (17:30-18:30) di un giorno feriale tipo ($P=0.5303$).

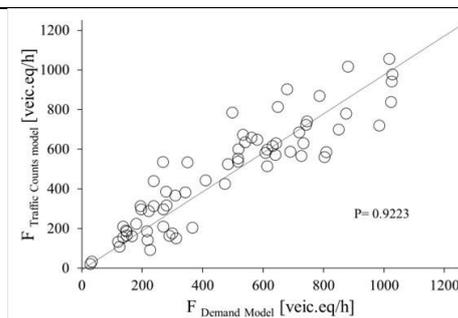


Fig. 57. Confronto flussi dopo la fase di calibrazione nella finestra temporale in esame (17:30-18:30) di un giorno feriale tipo ($P=0.9223$).

Validazione del modello di traffico macroscopico

Come osservato e detto nei paragrafi precedenti, diversi conteggi di traffico erano disponibili per la calibrazione del modello di rete. L'ipotesi alla base di questo modello è che nello stato di progetto, ovvero quello con la presenza dell'isola pedonale, la domanda di mobilità sul territorio rimanga invariata. Ovviamente questa è un'ipotesi molto forte, ma necessaria al fine di simulare uno scenario di traffico futuro. Nel mese di maggio del 2023, altri conteggi di traffico sono stati collezionati al fine di capire come la realizzazione dell'isola pedonale potesse in qualche modo condizionare lo scenario di traffico. Con questi conteggi (in totale sono stati raccolti 20 flussi), è stato possibile effettuare una validazione del modello di stima proposto.

Di seguito in **Tab. 6** e **Fig. 58**, **Fig. 59**, **Fig. 60** sono riportati i risultati di questa procedura di calibrazione, al fine di dimostrare come il modello di traffico realizzato sia attinente con lo scenario di traffico attuale. Si fa osservare come il modello di traffico realizzato riesca a stimare in maniera accettabile i flussi reali.

Tab. 6. Confronto tra flussi stimati con il modello microscopico e flussi rilevati mediante conteggi di traffico mediante il coefficiente P (coefficiente di Pearson).

07:30-08:30		12:30-13:30		17:30-18:30	
$F_{stimati}$ [veic/h]	$F_{misurati}$ [veic/h]	$F_{stimati}$ [veic/h]	$F_{misurati}$ [veic/h]	$F_{stimati}$ [veic/h]	$F_{misurati}$ [veic/h]
495	531	451	243	412	190
244	150	616	493	591	594
218	165	392	251	244	205
658	541	264	245	273	177
208	159	684	496	775	574
397	154	265	234	258	182
294	314	500	295	508	416
405	342	441	284	470	321
176	248	372	227	376	305
522	408	569	352	602	433
83	375	447	391	658	610
268	280	483	300	504	400
428	387	396	370	453	600
383	482	413	461	427	810
157	118	239	76	50	44
256	167	579	106	521	51
218	118	239	79	50	47
174	302	248	220	234	41
416	360	688	262	650	61
272	495	356	373	363	48
P	0.621408269	P	0.511889356	P	0.572285739

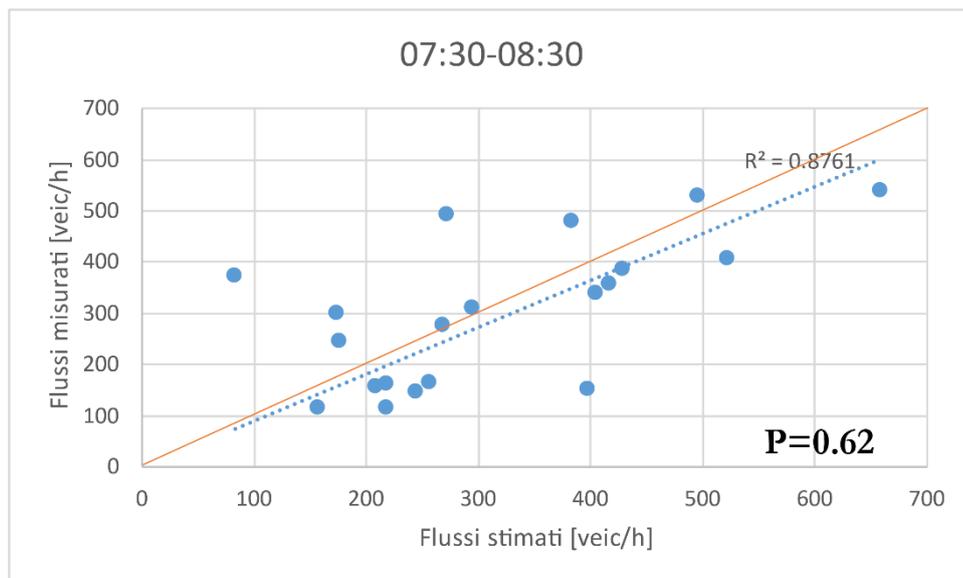


Fig. 58. Risultati relativi alla procedura di validazione per la fascia oraria delle 07:30-08:30.

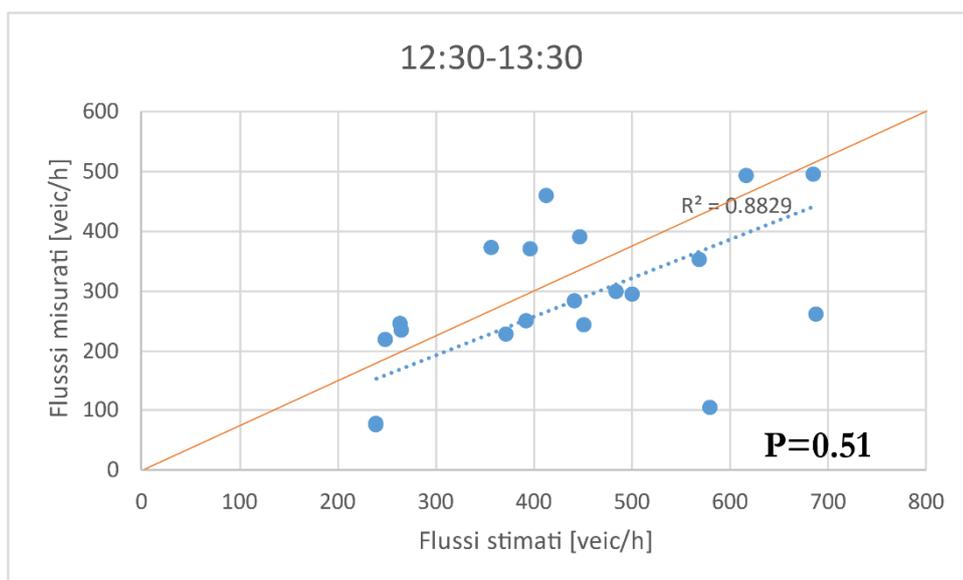


Fig. 59. Risultati relativi alla procedura di validazione per la fascia oraria delle 12:30-13:30.

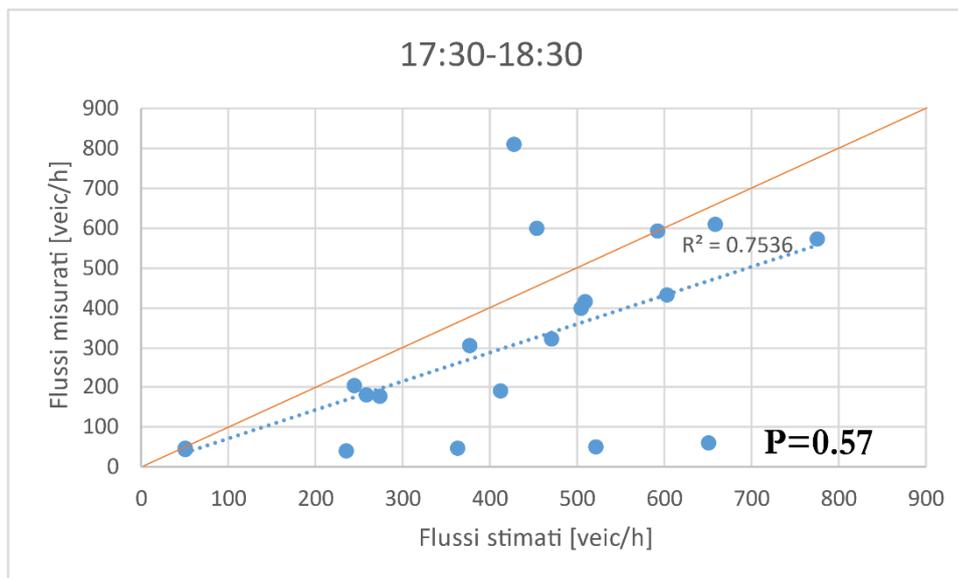


Fig. 60. Risultati relativi alla procedura di validazione per la fascia oraria delle 17:30-18:30.

Analisi e macrosimulazione di traffico dello stato di progetto

Il Comune di Cassino, attraverso le indicazioni del PUT (Piano Urbano del Traffico) ha previsto l'istituzione di una Zona 30 (nel centro cittadino) che racchiude al suo interno l'area pedonale, realizzata con una parziale pedonalizzazione di Corso della Repubblica (vedi **Fig. 61**).

L'adozione di questa nuova disciplina della circolazione è responsabile di una sensibile perturbazione nel pattern di traffico veicolare del centro città. Pur non esistendo un'interazione diretta all'interno dell'area pedonale tra utenti vulnerabili e veicoli, esiste invece un'interazione indiretta che può avere conseguenze nelle aree circostanti (strade) e che può riverberarsi anche a distanze elevate, congestionando strade e itinerari che nella situazione attuale non presentano problemi, piuttosto che decongestionare altri.



Fig. 61. Un dettaglio dell'area di studio: in verde l'area pedonale e in rosso la Zona 30 nello scenario ex post.

Occorre pertanto analizzare i nuovi percorsi che verranno presumibilmente scelti dagli automobilisti per effetto delle manovre e degli itinerari che verranno soppressi a causa dell'istituzione della nuova isola pedonale.

A titolo esemplificativo, sono state rappresentate in modo corrispondente la condizione attuale o ex ante (**Fig. 62**) e la condizione del progetto o ex post (**Fig. 63**). Nella condizione dello scenario attuale, per poter viaggiare dal punto A al punto B, o da B ad A, gli utenti della strada scelgono un percorso molto diretto, tale da ridurre al minimo i tempi di percorrenza e quindi il costo del trasporto. Nello scenario di progetto, invece, con l'esercizio dell'area pedonale e la modifica del codice della strada per alcune strade, gli utenti della strada saranno costretti a seguire percorsi alternativi per effettuare i propri spostamenti tra i punti A e B. Tra i possibili itinerari alternativi, gli utenti sceglieranno quelli con tempi di percorrenza più brevi.

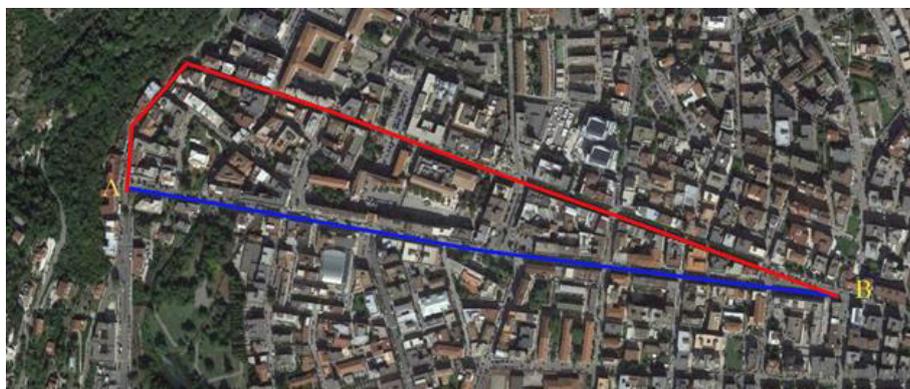


Fig. 62. Due itinerari per effettuare trasferimenti tra punto A e punto B in condizione ex-ante.



Fig. 63. Nella condizione ex-post, per i viaggi tra A e B, gli utenti dovranno scegliere itinerari diversi e sperimenteranno tempi di percorrenza diversi.

Per simulare lo scenario di traffico dello stato di progetto, ovvero con la realizzazione dell'isola pedonale nel centro urbano su di un tratto di Corso della Repubblica, ipotizzando che la domanda di traffico rimanga invariata a seguito della messa in opera di questo nuovo dispositivo di traffico, è stata utilizzata la stessa matrice origine/destinazione calibrata sulle diverse fasce orarie prese in esame nel paragrafo precedente. Di seguito i diversi output grafici ottenuti (**Fig. 64 -Fig. 67**).

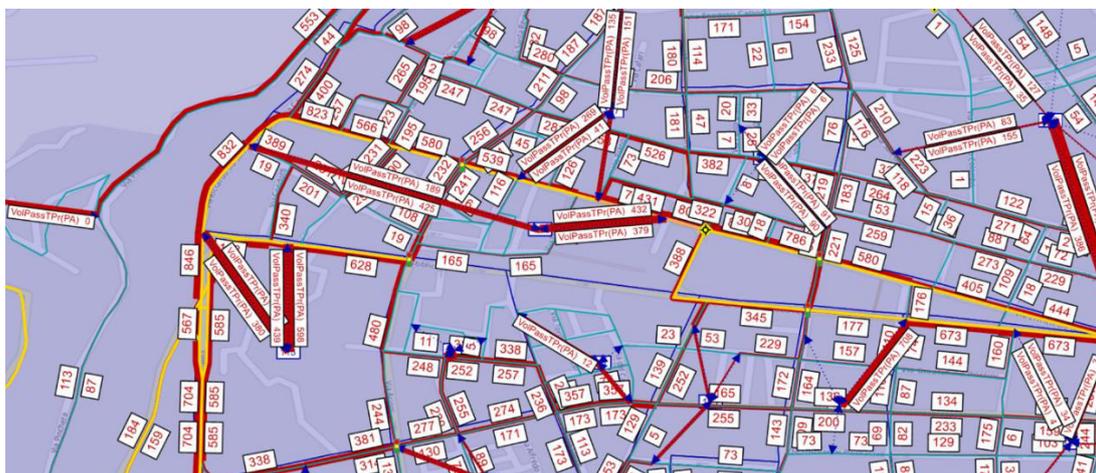


Fig. 64. Risultato grafico dell'assegnazione per la fascia oraria pomeridiana di punta (17:30-18:30).



Fig. 65. Risultato grafico dell'assegnazione per la fascia oraria mattutina di punta mediante la rappresentazione del rapporto di saturazione (07:15-08:15).



Fig. 66. Risultato grafico dell'assegnazione per la fascia oraria di pranzo di punta mediante la rappresentazione del rapporto di saturazione (12:30-13:30).

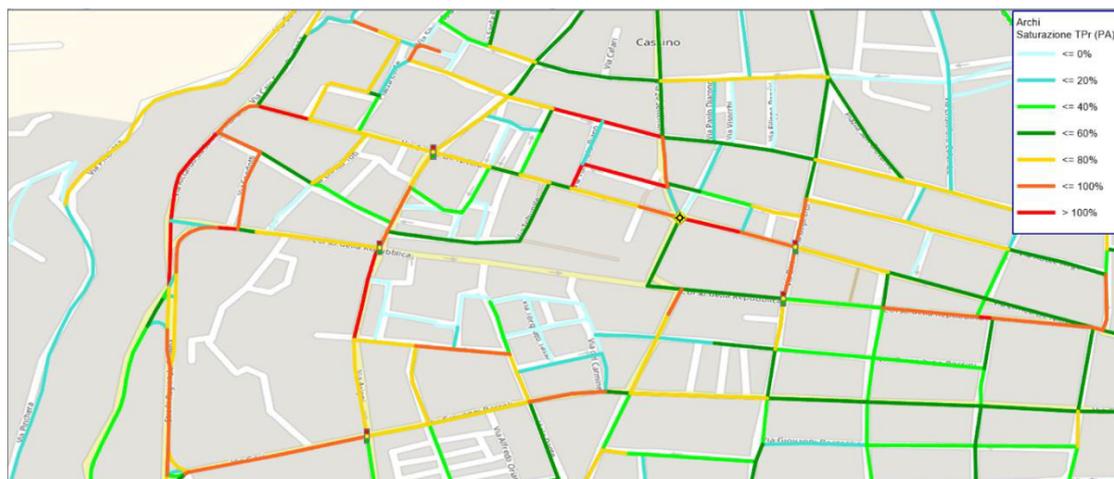


Fig. 67. Risultato grafico dell'assegnazione per la fascia oraria serale di punta mediante la rappresentazione del rapporto di saturazione (17:30-18:30).

Analisi delle prestazioni tramite un approccio micro-simulativo

In Italia la maggior parte del trasporto, sia esso di persone che di merci, avviene su strada: sebbene ci sia la volontà di cambiare (soprattutto verso altre modalità di trasporto, tra cui quella ferroviaria, ciclabile o magari pedonale), sulla rete urbana grava attualmente un elevato numero di veicoli che comporta il verificarsi di fenomeni indesiderati e fastidiosi quali rallentamenti, formazioni di code e soprattutto di ulteriore inquinamento (unito alle altre problematiche già definite in precedenza). Se si volesse pensare a delle soluzioni, un'alternativa sarebbe quella di modificare dal punto di vista costruttivo il luogo in esame imponendogli un nuovo principio di funzionamento; un'altra sarebbe sfruttare diversamente la situazione già esistente, magari riorganizzando il sistema, andando quindi a risparmiare sia economicamente che in termini di tempo. In entrambi i casi comunque c'è bisogno di studiare nel dettaglio le infrastrutture presenti e le attitudini a spostarsi dei cittadini (quindi la mobilità), per raccogliere informazioni al fine di capire come varierebbero le abitudini se si decidesse di voler contrastare l'insorgenza dei fenomeni appena citati. Dagli anni '50 del secolo scorso sono stati definiti dei modelli matematici in grado di effettuare analisi specifiche e mirate sulla base di schematizzazioni della realtà attraverso concettualizzazioni di tipo logico-matematico (sebbene sia complesso, vista la dipendenza dalle caratteristiche economiche, sociali ed ambientali proprie dell'area di studio). Questi modelli trovano applicazione grazie ad opportuni software che consentono

di rappresentare quantitativamente la distribuzione spaziale e temporale dei flussi di traffico, nonché di fare ipotesi su nuovi interventi da realizzare grazie al confronto tra diversi scenari di progetto. Come tutte le cose, però, anche questi modelli hanno dei pro e dei contro. Sicuramente tra i vantaggi è possibile trovare:

- la riduzione degli errori, perché il caso viene compreso ed analizzato con molta precisione prima di procedere con gli interventi nella realtà;
- la riduzione dei costi, legata alla precedente, perché si evitano costi dovuti a scelte non ottimali già messe in opera;
- la ripetibilità degli studi, in quanto è possibile fare l'analisi più volte, magari variando i dati, e confrontare i risultati ottenuti;
- la riduzione dei tempi rispetto agli esperimenti eseguiti fisicamente e non virtualmente su sistemi realmente esistenti;
- una maggiore volontà di indagare nuove soluzioni, anche valutando scenari meno plausibili, poiché trattandosi di un'analisi virtuale e non reale non c'è rischio di compromettere il sistema.

Dalla letteratura tecnico-scientifica, si deduce che esistono diversi approcci che possono essere sfruttati durante l'applicazione di questi modelli matematici, che sostanzialmente dipendono dal tipo di studio che si intende svolgere e dal livello di dettaglio richiesto: esistono modelli macroscopici, mesoscopici e microscopici.

Attualmente si assiste ad un uso sempre più frequente dei modelli di microsimulazione: tra i motivi di questa espansione c'è sicuramente il fatto che essi consentono di individuare rapidamente le situazioni critiche dei sistemi che si stanno analizzando o di studiare dei cambiamenti che si vogliono adottare, grazie soprattutto allo sviluppo di strumenti di simulazione sempre più all'avanguardia che i tecnici hanno a disposizione. Questi strumenti, di cui si parlerà meglio nei paragrafi successivi, funzionano grazie ad alcune teorie che permettono di simulare a livello microscopico le interazioni tra i singoli veicoli sulla base delle caratteristiche dei conducenti. Tra questi, si possono principalmente individuare:

- la teoria dell'inseguitore, o di Car Following (la più utilizzata);
- la teoria del cambio di corsia, o di Lane Changing;
- la teoria dell'intervallo minimo di accesso, o di Gap Acceptance

Car Following

In ipotesi semplificativa di strada con una sola corsia, quindi senza possibilità di effettuare sorpassi, la teoria del Car Following ri-proposta da Wiedemann (nel 1974 per ambiti urbani e poi nel 1999 per le autostrade) e definita “di percezione psicofisica” (perché tiene conto degli aspetti psicologici e fisiologici degli utenti) si concentra sul fenomeno della guida che si realizza quando due veicoli percorrono una stessa corsia di marcia accodati (ovvero a breve distanza l’uno dall’altro ed in particolare con distanze comprese tra i 15 e i 30 metri e tempi compresi tra i 6 e gli 8 secondi): ciò implica che il comportamento del veicolo (inteso come coppia veicolo/conducente) che segue è funzione di quello del veicolo che precede, in quanto il primo deve regolare la propria andatura in relazione a quella del secondo tramite decelerazioni seguite da accelerazioni per mantenersi in sicurezza all’interno della corrente (poiché egli non è in grado di determinare con esattezza la velocità del precedente, quindi è costretto ad assumere una velocità minore rispetto a quella del precedente per poi tornare ad accelerare). Per semplicità, il comportamento dei conducenti viene assunto stabile ed uniforme, ma ciò non vuol dire che vengano trascurati i fattori umani: per rispondere agli stimoli e mettere in pratica decelerazioni e accelerazioni, il conducente deve essere in grado di stimare le velocità e gli interspazi che caratterizzano i due veicoli in coda, per cui la sua risposta può essere trattata come una funzione continua della sensibilità del conducente e dello stimolo (inteso come differenza di velocità tra i due). Modelli di questo tipo possono essere schematizzati matematicamente attraverso le seguenti espressioni: la prima (13) afferma che la velocità del veicolo che segue alla fine dell’intervallo di tempo di analisi è funzione di specifici parametri (che vengono spiegati di seguito); la seconda (14), invece, che la posizione del veicolo che segue alla fine dell’intervallo di tempo si può esprimere come somma della posizione che aveva all’inizio e del prodotto tra la velocità iniziale e l’intervallo di tempo stesso.

$$v(t + \Delta t) = f(g(t), v(t), v^*(t), \xi(t), p) \quad (13)$$

$$x(t + \Delta t) = x(t) + v(t)\Delta t \quad (14)$$

Dove:

- $g(t) = x^*(t) - x(t)$ è la distanza tra i due veicoli nella corrente;
- $v(t)$ e $x(t)$ sono rispettivamente la velocità e la posizione del veicolo che segue all'istante t ;
- $v^*(t)$ e $x^*(t)$ sono rispettivamente la velocità e la posizione del veicolo che precede all'istante temporale t ;
- Δt è l'intervallo di tempo considerato nell'analisi;
- $\xi(t)$ rappresenta la componente probabilistica del modello, dato che ogni conducente ha un comportamento diverso;
- p è il vettore delle componenti parametriche del modello;

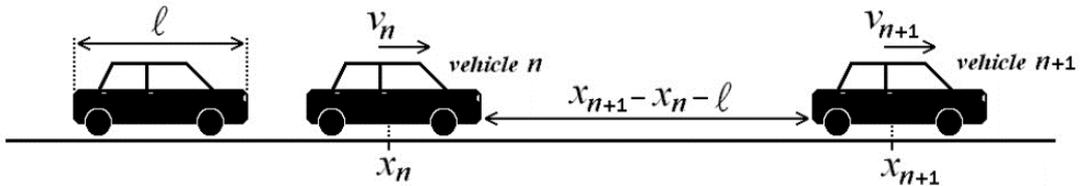


Fig. 68. Illustrazione grafica della teoria del Car Following.

Segue che $x(t)$ e $x^*(t)$, ovvero la posizione del veicolo che segue e la posizione del veicolo che precede, entrambe espresse al tempo t , possono essere denominate rispettivamente x_n e x_{n+1} (così come illustrato in **Fig. 68**): da queste è possibile ricavare, derivando, la velocità $v_n(t)$ e l'accelerazione $a_n(t)$ del veicolo che segue. Tali grandezze risultano sufficienti per descrivere l'andamento del traffico in un tratto di strada. Infatti, se si introducono altre grandezze come il gap temporale τ tra i due veicoli e la lunghezza del veicolo di testa l , si può calcolare la loro distanza spaziale in funzione della velocità del veicolo che segue (15).

$$x_{n+1}(t) - x_n(t) = \tau v_n(t) + l \quad (15)$$

Derivando rispetto al tempo la relazione sopra citata due volte si ottiene quanto segue (16)(17):

$$v_{n+1}(t) - v_n(t) = \tau a_n(t) + l \quad (16)$$

$$a_n(t) = \tau^{-1}[v_{n+1}(t) - v_n(t)] \quad (17)$$

e cioè si è espressa l'accelerazione (o la decelerazione, se negativa) del veicolo che segue in funzione della velocità relativa (differenza di velocità tra i due). Ma poiché la risposta umana, come già detto, non è istantanea ma caratterizzata da tempi di percezione e reazione e quindi da R (ritardo psicotecnico) e da λ (fattore di sensibilità, costante o variabile in funzione di una relazione matematica), la relazione (17) può essere riscritta nel seguente modo (18):

$$a_n(t + R) = \lambda[v_{n+1}(t) - v_n(t)] \quad (18)$$

Sintetizzando molto il discorso, la relazione 11 rappresenta la teoria del Car Following perché consente di calcolare l'accelerazione o la decelerazione del veicolo che segue sulla base dei cambiamenti di velocità del veicolo che precede in maniera tale da garantire la presenza di una distanza di sicurezza. Se si indica con s la distanza di sicurezza tra i veicoli e con X_i l'insieme dei parametri specifici del modello analizzati precedentemente, la relazione (18) si sintetizza nella (19):

$$a_n(t) = f(v_n, v_{n+1}, s, \Delta t, X_i] \quad (19)$$

La stessa *Federal Highway Administration* ribadisce che questa accelerazione non deve mai essere tale da comportare una velocità superiore a quella desiderata dal conducente del veicolo che segue e che deve permettere a quest'ultimo di mantenere la distanza s .

Lane Changing

La teoria del Lane Changing, introdotta prima da Gibbs più di un secolo fa e poi rielaborata da Willmann e Sparmann nel 1978, compensa i limiti della teoria del Car Following definita nel paragrafo precedente: come già detto, infatti, essa viene usata principalmente per simulare la mobilità su strade ad unica corsia, trascurando quindi la possibilità di effettuare dei sorpassi o comunque dei cambi di corsia per i più svariati motivi (principalmente per muoversi a velocità più sostenute). Quando un veicolo decide di cambiare corsia di marcia la sua decisione è influenzata essenzialmente da tre fattori, che sono:

- la necessità;
- l'opportunità;
- la sicurezza.

Necessità e opportunità sono due aspetti molto simili ma allo stesso tempo diversi: diversi perché per necessità si intende un obbligo (come nel caso del cambio di corsia per seguire poi una rampa di uscita, perché la corsia sta terminando o perché è occupata da incidenti o altro), mentre con opportunità si fa riferimento al momento in cui il conducente si rende conto del fatto che cambiare corsia comporta dei vantaggi alla sua circolazione e di sua iniziativa, anche molto prima di arrivare a ridosso del problema, esegue il movimento (come nel caso di presenza di code in prossimità delle intersezioni o di veicoli pesanti); sono simili, invece, perché entrambe si determinano calcolando il fattore di rischio per il conducente, che rappresenta la decelerazione da applicare in caso di frenata da parte del veicolo che precede e che dipende dalla posizione relativa tra il veicolo e quello che transita sulla corsia che si vuole occupare. Questi fattori di rischio vengono calcolati per ogni manovra e poi confrontati con dei valori ritenuti accettabili.

Nella seguente (**Fig. 69**) vengono illustrati due dei casi già citati in precedenza in cui nasce nel guidatore l'idea (o la necessità) di effettuare un Lane Changing: nel primo caso termina la corsia in cui si trova il veicolo rosso, per cui è costretto ad occupare la corsia adiacente; nel secondo caso, invece, trovandosi dinanzi una fila di veicoli probabilmente più lenti, l'auto rossa decide di effettuare il sorpasso.

In fase di sorpasso, un rischio è sicuramente quello della collisione con il veicolo che procede in senso opposto; in fase di semplice cambio di corsia per poi restarci, invece, un rischio potrebbe essere quello di impattare i veicoli che già transitano su quella corsia nello stesso senso di marcia. Per questo motivo i modelli di Lane Changing possono essere visti come un caso particolare dei modelli di Gap Acceptance analizzati nel paragrafo successivo, poiché per cambiare corsia è necessario che ci sia spazio a sufficienza tra le due vetture della corsia scelta.

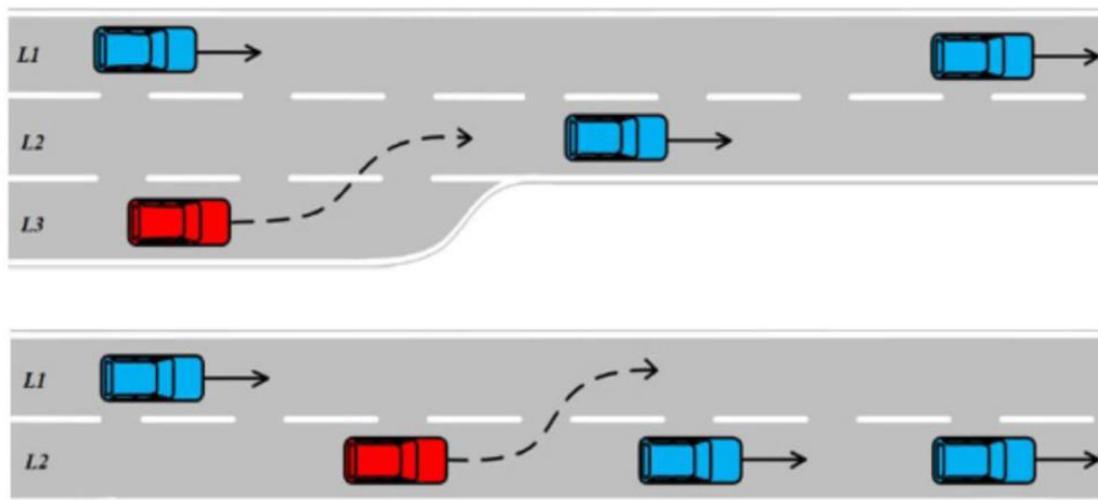


Fig. 69. Illustrazione grafica della teoria del Lane Changing.

Gap Acceptance

Per “comportamento di Gap Acceptance” si intende la decisione che il guidatore prende quando deve immettersi in una corrente in transito e vuole farlo rimanendo in condizioni di sicurezza: egli deve attendere che si realizzino le condizioni necessarie per farlo, ovvero deve aspettare che si apra un varco (o “gap”) grazie al quale possa completare la manovra.

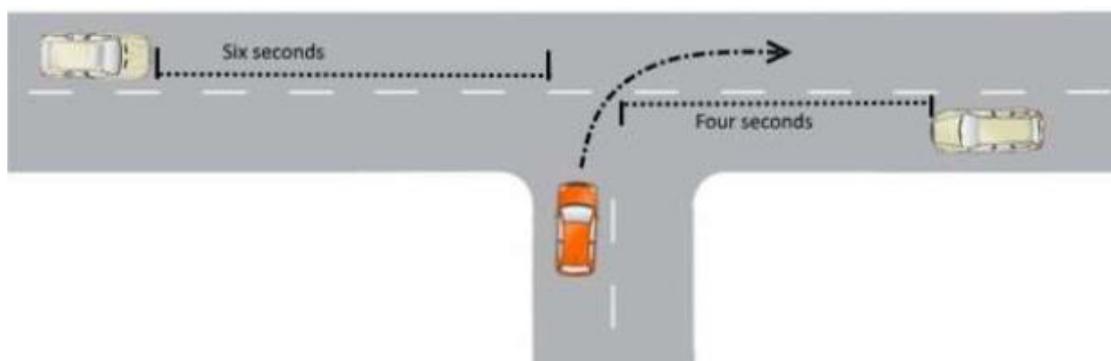


Fig. 70. Illustrazione grafica della teoria del Gap Acceptance.

Il veicolo rosso mostrato in Fig. 70, arrivato in corrispondenza dell'incrocio, deve svoltare a destra. In Fig. 70 è illustrato un caso di guida a sinistra (tipico dei paesi anglosassoni), ma nulla cambia in termini di spiegazione del fenomeno. Per poter

effettuare la svolta egli deve avere il tempo necessario per farlo: al momento ha quattro secondi disponibili prima che transiti il veicolo proveniente da destra e deve valutare se questi quattro secondi siano sufficienti.

Come già accennato nel paragrafo precedente, la teoria del Gap Acceptance subentra quando bisogna simulare a livello microscopico delle manovre che si differenziano dal semplice moto longitudinale di un veicolo che percorre una corsia di marcia. Questa teoria si riduce in un problema di scelta da parte del guidatore: il singolo conducente del veicolo deve decidere se immettersi o no in un gap, inteso come intervallo di tempo (o di spazio) tra due veicoli che si rincorrono nella corsia di marcia di destinazione. Questo gap deve essere confrontato con un valore critico (minimo) affinché possa verificarsi l'immissione nella corrente o l'attraversamento della stessa.

L'individuazione del gap critico è funzione di alcuni parametri:

- le caratteristiche fisiche e dinamiche del veicolo;
- il comportamento del conducente, in particolare la sua aggressività alla guida, che porterà ad accettare gap più piccoli;
- le caratteristiche del traffico della corsia di provenienza e della corsia di destinazione.

È ovvio che meno gap sufficienti ci sono a disposizione, maggiore sarà il tempo di attesa per potersi immettere nella corrente: questo discorso incide notevolmente sulla capacità del modello, cioè sul massimo numero di veicoli che possono effettuare la manovra nell'unità di tempo considerata, funzione di vari aspetti, tra cui la distribuzione del traffico nella corsia di destinazione, la geometria della stessa, il tipo di manovra che deve essere svolta, le caratteristiche del conducente, ecc.

La teoria del Gap Acceptance non viene utilizzata per determinare il gap o addirittura il gap critico, bensì per individuare il numero di veicoli che riescono a sfruttare un gap di una determinata dimensione (molto più utile ai fini pratici). In particolare, per fare ciò, ci si serve di due specifici parametri che sono il gap critico e il tempo di scalamento in coda.

- Il gap critico t_c , già definito, è l'intervallo temporale minimo tra due veicoli appartenenti alla corrente principale, sufficiente per effettuare la manovra in condizioni di sicurezza; per valutarlo ci si mette nell'ipotesi di stabilità e coerenza del comportamento degli utenti, cioè che essi non possano accettare gap che in precedenza hanno rifiutato.
- Il tempo di scalamento in coda t_f , denominato anche "tempo di followup", è il tempo che intercorre tra le immissioni con lo stesso gap di due veicoli consecutivi che si trovano in coda nel ramo secondario: esso può essere direttamente calcolato in quanto è caratteristica di un fenomeno osservabile.

Sommando quanto appena detto si ricava che due veicoli che si trovano accodati in un tronco secondario e che devono immettersi nella corrente principale sfruttando lo stesso gap devono attendere che si apra un gap temporale minimo tra due veicoli nel tronco principale pari a $t_c + t_f$.

Modello microscopico ed analisi microsimulativa

Il processo di micro-simulazione eseguito dallo strumento di simulazione, che avviene secondo passi di simulazione, permette di tener conto dei diversi aspetti della realtà, quali la geometria delle strade, la composizione del traffico veicolare, la regolamentazione delle intersezioni e se si tratta di trasporto privato o pubblico. La cosa importante è sicuramente il fatto di facilitare lo studio delle interazioni tra i vari sistemi che costituiscono la mobilità dell'area di studio, ma possono essere molti altri i campi di applicazione. I dati che si possono ricavare dalle simulazioni del software sono molteplici e permettono di ottenere una descrizione molto dettagliata. Il primo output è la simulazione dei flussi di traffico veicolare in termini di animazione (bidimensionale o tridimensionale), unita a molti altri dati tabellari esportabili come file o salvabili su database che riguardano dei parametri importanti dal punto di vista della simulazione microscopica. È possibile estrapolare:

- volumi di traffico;
- densità di veicoli;
- diagrammi spazio-tempo;
- distanze percorse;
- profili di velocità;
- velocità medie;
- tempi di percorrenza;
- perditempo;
- numero di fermate;
- lunghezze delle code;
- consumi di carburante;
- emissioni;
- dati relativi agli impianti semaforici.

Il lavoro svolto sulla rete stradale del Comune di Cassino parte da un modello di previsione della domanda di trasporto già sviluppato come mostrato nei paragrafi mediante l'utilizzo dello specifico software di pianificazione macroscopica già definito. All'interno di questo modello è riportata la rete stradale della Città nello stato di fatto sulla base delle operazioni di zonizzazione richieste per sviluppare tali modelli: è possibile individuare i centroidi delle varie zone di traffico in cui l'area di studio è stata suddivisa, tra i quali avvengono gli spostamenti rappresentati dalle connessioni di zona (o connettori). Scendendo ad un livello di dettaglio maggiore, la rete stradale è schematizzata anche attraverso una maglia di archi e nodi che rispecchiano le infrastrutture realmente esistenti e all'interno delle quali si distribuiscono i flussi che "transitano" nei connettori: sulla base delle matrici Origine/Destinazione, i veicoli che escono dai centroidi vengono immessi nella rete e poi "attratti" dagli altri centroidi, quindi si muoveranno fino a raggiungere dei punti specifici da cui partiranno altri collettori che li porteranno al centroide di destinazione. Archi e connettori sono definiti in termini di lunghezza, numero di corsie, volume veicolare (numero di veicoli che transitano nell'ora di osservazione), velocità e in termini di capacità (volume veicolare massimo al di là del quale il tronco stradale va in congestione), ma non in termini di larghezza. I nodi, invece, sono definiti solo dal punto di vista del numero di rami che vi confluiscono, del tipo di regolamentazione e del numero di veicoli che li attraversano. Alla base di questi modelli ci sono le matrici O/D caratteristiche del Comune di Cassino, a partire dai dati ISTAT e poi successivamente calibrate mediante i conteggi di traffico raccolti. Così come illustrato nell'immagine che segue, l'analisi si concentra sull'intera area del Comune di Cassino In **Fig. 71** l'area di studio presa in esame.

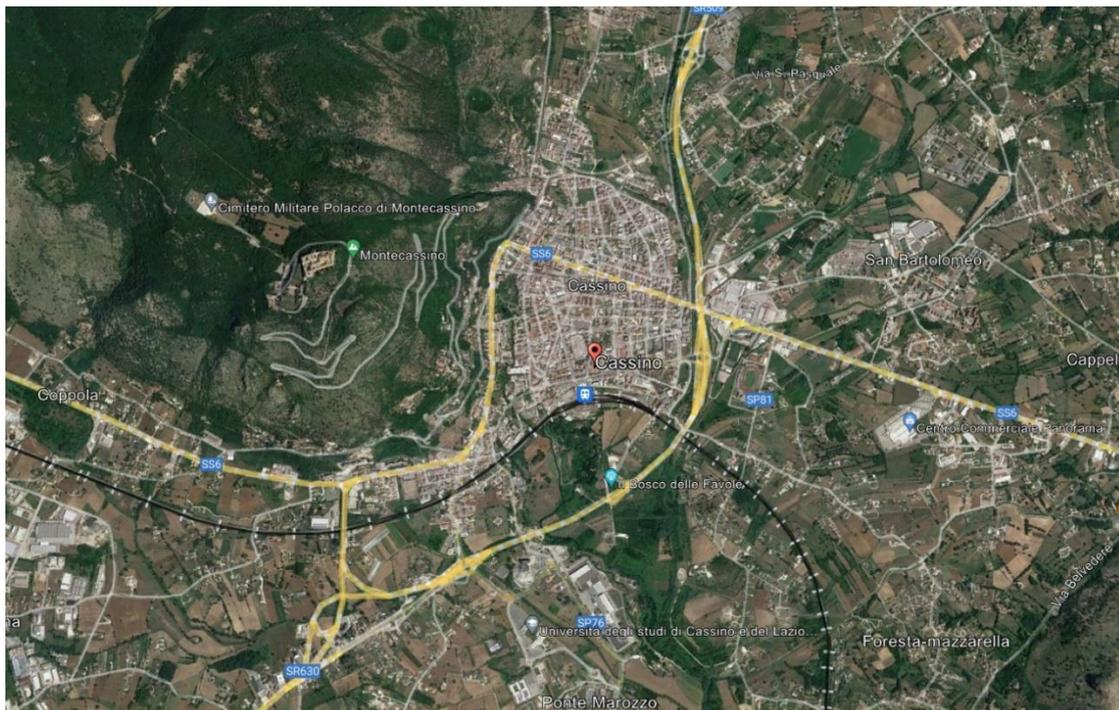


Fig. 71. Area di studio presa in esame al fine di valutare, tramite un modello microsimulativo, le caratteristiche in termini di prestazione della rete di Cassino nella zona più influenzata dalla realizzazione dell'isola pedonale.

Attraverso l'approccio micro-simulativo è stato possibile implementare esplicitamente i piani di fasatura negli incroci con regolamentazione semaforica di seguito riportati:

- l'intersezione tra Corso della Repubblica, Via G. Marconi e Via Arigni;
- l'intersezione tra Via G. Marconi e Via E. De Nicola;
- l'intersezione tra Via E. De Nicola, Via Bari e Via degli Eroi;
- l'intersezione tra Corso della Repubblica, Via Bari e Via G. Verdi;
- l'intersezione tra Via Gari, Via Arigni e Via G. Pascoli.
- l'intersezione tra Via Enrico De Nicola, Via Falaise e Via G. Pascoli.
- l'intersezione tra via Bonomi e Viale Dante.

Analisi dei tempi di percorrenza tra stato di fatto e di progetto

A seguito della creazione del modello, è interessante confrontare i tempi di percorrenza che sperimentano gli utenti per effettuare i loro spostamenti tra lo stato di fatto e di progetto. I tempi di percorrenza presi in esame sono stati valutati come tempi medi di percorrenza di tutti i veicoli che transitano nella rete tra la zona di origine dello spostamento e la corrispondente destinazione scelta dagli utenti. Collezionati questi tempi, vengono “trattati probabilisticamente” al fine di trovare una distribuzione che meglio approssimi il loro andamento.

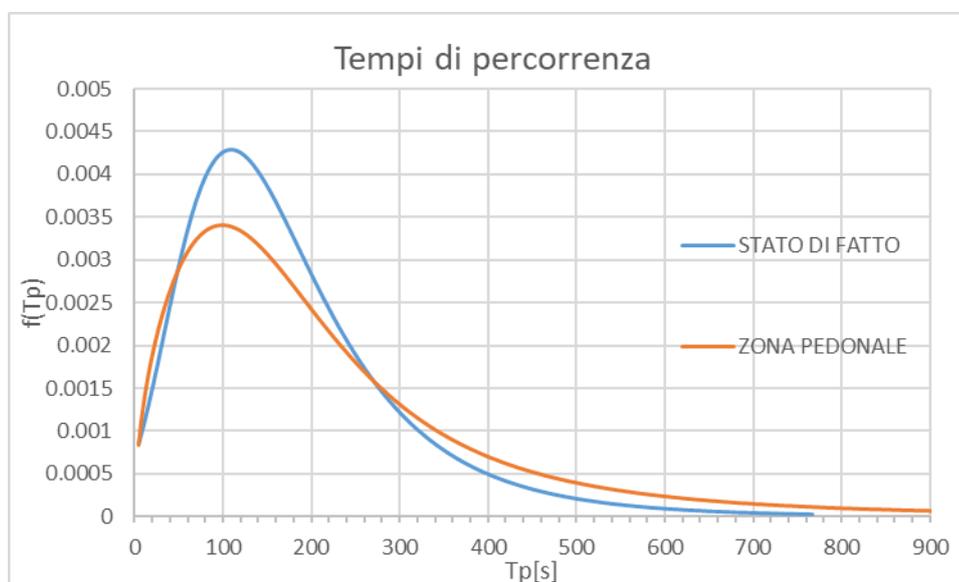


Fig. 72. Confronto tempi di percorrenza tra lo stato di fatto e quello di progetto con la presenza dell'isola pedonale.

Come è possibile vedere dalla figura soprastante (**Fig. 72**), in un confronto tra i tempi di percorrenza nello stato di fatto e di progetto, si può notare che nello stato di progetto con la realizzazione dell'isola pedonale, i tempi di percorrenza associati tendono ad aumentare in maniera sensibile quanto gli spostamenti hanno una durata maggiore a circa 260s: in corrispondenza di questo valore, il numero di spostamenti per un dato valore di durata aumenta.

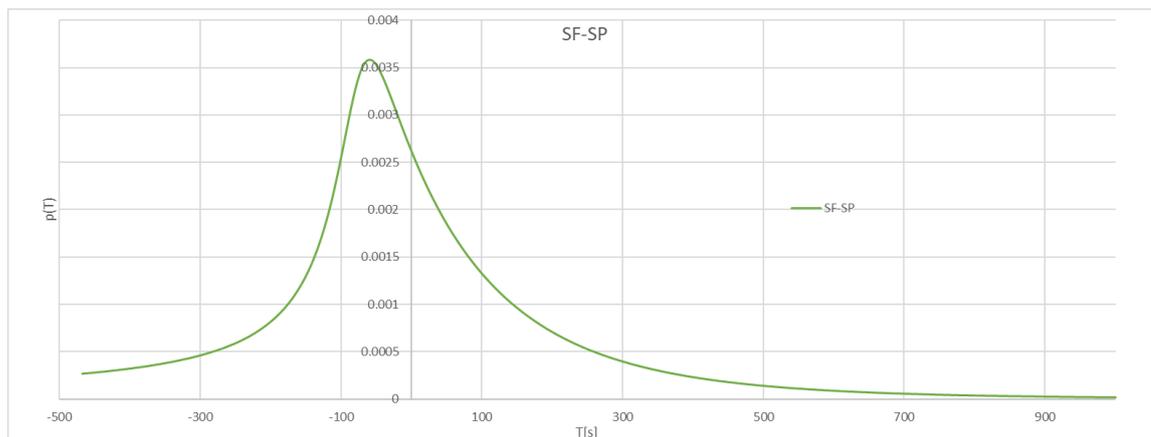


Fig. 73. Rappresentazione dei ritardi sperimentati tra lo stato di fatto e di progetto.

La realizzazione quindi dell'isola pedonale porta, come previsto, nella zona di studio, ad aumento dei tempi di percorrenza medi sperimentati dagli utenti, soprattutto sugli spostamenti aventi una durata maggiore di 4 minuti per via dei nuovi itinerari alternativi che sono costretti a seguire e che hanno una lunghezza complessiva maggiore rispetto al percorrere come originariamente il tratto ora chiuso di Corso della Repubblica. Nella **Fig. 73**, una stessa analisi è stata condotta per i ritardi (calcolati come differenza tra i tempi di percorrenza dello stato di progetto e quelli dello stato di fatto): da come è possibile notare, gli spostamenti più lunghi sono quelli che subiscono un ritardo maggiore.

Descrizione degli impianti semaforici nella zona di studio

In maniera schematica vengono riportati degli schemi descrittivi (**Fig. 74- Fig. 80**) degli impianti semaforici che ricadono all'interno dell'area di studio (schema di fasatura, tempi di verde, giallo e rosso, durata totale del ciclo).

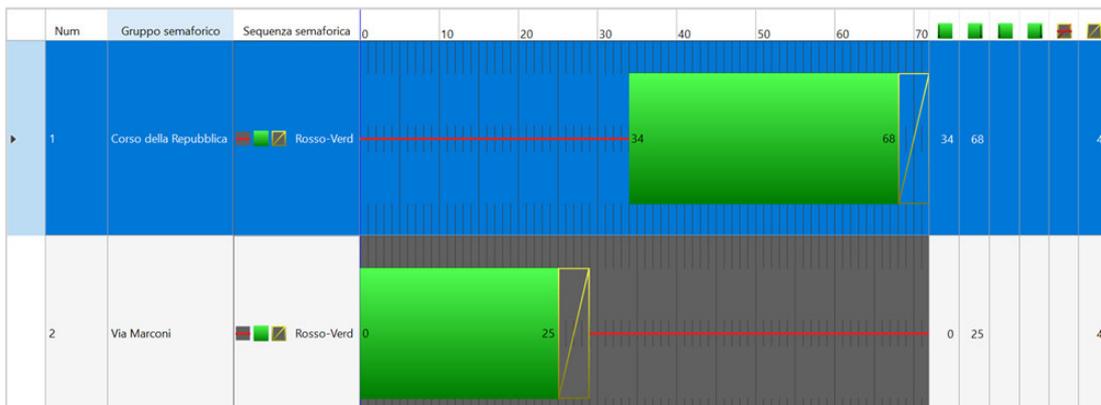


Fig. 74. Impianto semaforico tra Corso della Repubblica e Via Marconi.

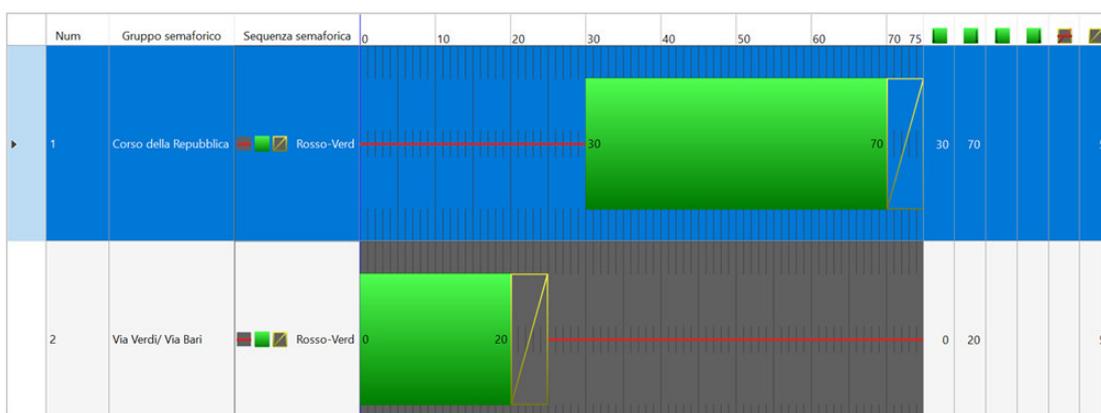


Fig. 75. Impianto semaforico tra Corso della Repubblica, Via Verdi e Via Bari.

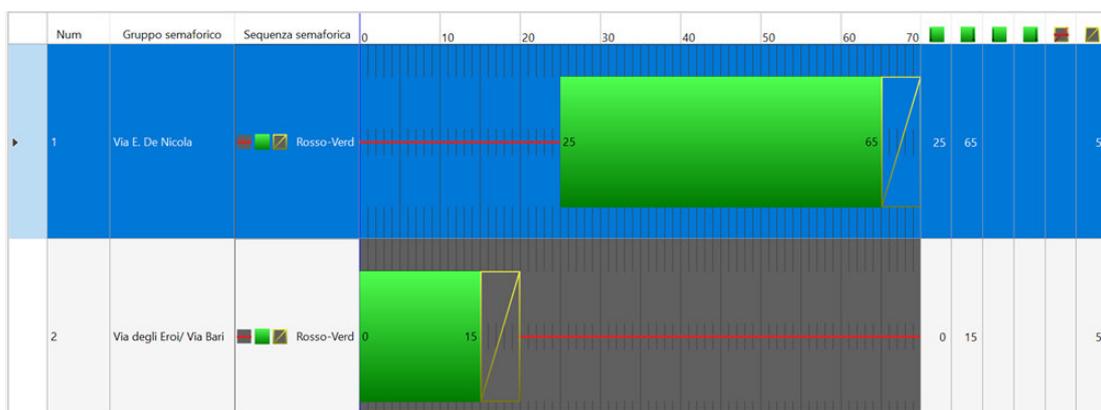


Fig. 76. Impianto semaforico tra Via Enrico De Nicola, Via degli Eroi e Via Bari.

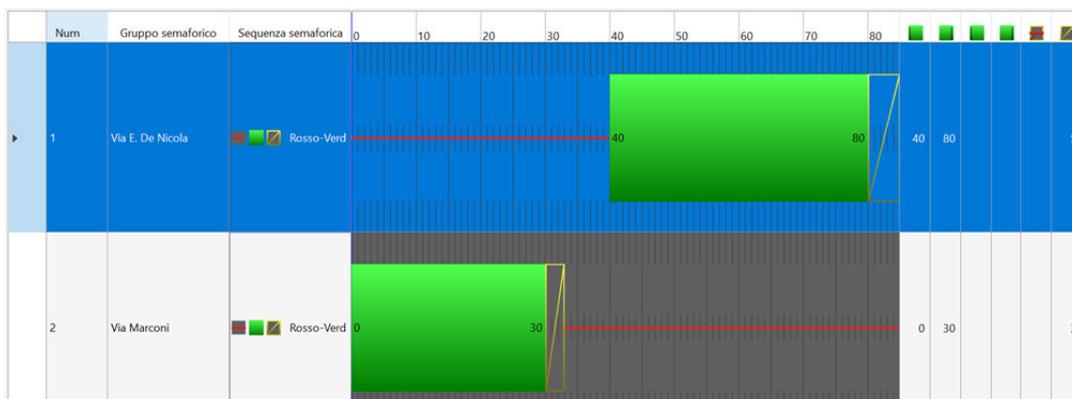


Fig. 77. Impianto semaforico tra Via Enrico De Nicola, Via Marconi

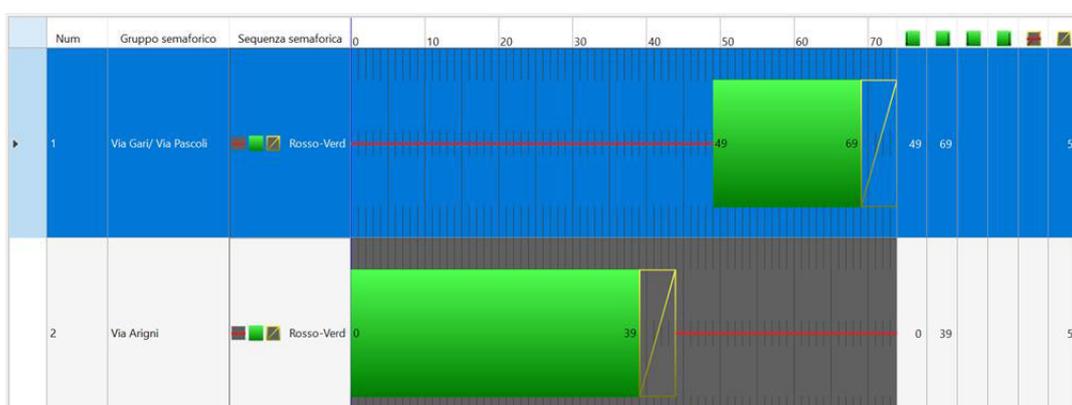


Fig. 78. Impianto semaforico tra Via Gari, Via Pascoli e Via Arigni.

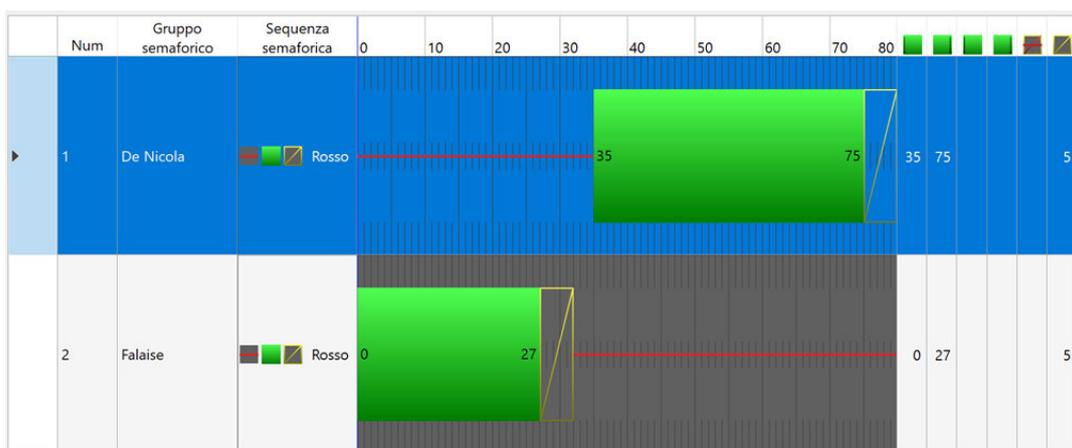


Fig. 79. Impianto semaforico tra Via Enrico De Nicola, Via Falaise e Via Giovanni Pascoli

Tab. 7. Descrizione delle soluzioni progettuali base prese in esame.

Identificativo alfanumerico della soluzione	Descrizione della soluzione progettuale identificata
S1	Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Enrico De Nicola</i> , <i>Via degli Eroi</i> e <i>Via Bari</i> che passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico De Nicola</i>) da 45 s a 50 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulle strade secondarie (<i>Via Bari</i> e <i>Via degli Eroi</i>).
S2	Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Enrico De Nicola</i> , <i>Via degli Eroi</i> e <i>Via Bari</i> che passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulle direttrici secondarie (<i>Via degli Eroi</i> e <i>Via Bari</i>) da 15 s a 20 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico De Nicola</i>).
S3	Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Corso della Repubblica</i> , <i>Via Verdi</i> e <i>Via Bari</i> che passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Corso della Repubblica</i>) da 40 s a 45 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulle strade secondarie (<i>Via Bari</i> e <i>Via Verdi</i>).
S4	Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Corso della Repubblica</i> , <i>Via Verdi</i> e <i>Via Bari</i> che passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulle direttrici secondarie (<i>Via Verdi</i> e <i>Via Bari</i>) da 20 s a 25 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Corso della Repubblica</i>).
S5	Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Marconi</i> e <i>Via Enrico De Nicola</i> che passa da 85 s a 90 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico De Nicola</i>) da 40 s a 45 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice secondaria (<i>Via Marconi</i>).
S6	Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Marconi</i> e <i>Via Enrico De Nicola</i> che passa da 85 s a 90 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice secondaria (<i>Via Marconi</i>) da 30 s a 35 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico De Nicola</i>).
S7	Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Corso della Repubblica</i> , <i>Via Marconi</i> e <i>Via Arigni</i> che passa da 72 s a 77 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Corso della</i>

	<i>Repubblica</i>) da 34 s a 39 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice secondaria (<i>Via Marconi</i>).
S8	Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Corso della Repubblica</i> , <i>Via Marconi</i> e <i>Via Arigni</i> che passa da 72 s a 77 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrici secondarie (<i>Via Arigni</i> e <i>Via Marconi</i>) da 25 s a 30 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Corso della Repubblica</i>).
S9	Rimozione di n. 4 stalli di sosta in <i>Via Bari</i> (nella direzione di <i>Corso della Repubblica</i>) al fine di permettere un allargamento della corsia in prossimità dell'intersezione tra <i>Corso della Repubblica</i> , <i>Via Verdi</i> e <i>Via Bari</i> .
S10	Rimozione di n. 4 stalli di sosta in <i>Via Bari</i> (nella direzione di <i>Via Enrico De Nicola</i>) al fine di permettere un allargamento della corsia in prossimità dell'intersezione tra <i>Via Enrico De Nicola</i> , <i>Via degli Eroi</i> e <i>Via Bari</i> .
S11	Rimozione di n. 4 stalli di sosta in <i>Via Lombardia</i> in prossimità dell'intersezione con <i>Via XX Settembre</i> al fine di permettere un allargamento della corsia in prossimità dell'intersezione tra <i>Via XX Settembre</i> e <i>Via Lombardia</i> , con conseguente aumento della capacità della corsia e visibilità dell'intersezione.
S12	Arretramento delle strisce pedonali su <i>Via Lombardia</i> ed avanzamento del segnale di arresto sulla medesima, al fine di aumentare la visibilità sull'incrocio per tutti gli utenti che intraprendono le opportune manovre di svolta per raggiungere la loro destinazione di spostamento.

Come è possibile notare, queste descritte rappresentano delle soluzioni progettuali “base”, nel senso che, a parte qualche condizione di incongruenza tra di loro, possono essere combinate con l'intento di valutare soluzioni progettuali composte, caratterizzate da una più elevata complessità. Questa loro combinazione può essere valutata su diversi livelli di complessità o su dimensioni diverse (**N**) in modo da esplorare tutto lo spazio di soluzioni possibili. Questo modo di operare, che verrà descritto di seguito, è dovuto alla complessità del sistema in quanto non vige né un criterio additivo né una possibilità di individuare *a priori* una soluzione migliore rispetto ad un'altra.

Una volta combinate due soluzioni semplici, si ottengono delle soluzioni composte da due interventi base (del tipo **S_i+S_j**): si isolano quelle soluzioni combinate che presentano delle caratteristiche in termini di riduzione dei tempi di percorrenza rispetto allo stato di fatto (ovvero con l'avvenuta realizzazione dell'isola pedonale). Queste soluzioni, espresse come combinazione di due interventi semplici (da **S1** a **S12**), verranno poi successivamente combinate per ottenere delle soluzioni progettuali del tipo **S_i+S_j+S_z**:

questo processo si arresta una volta che si ottengono delle soluzioni progettuali che non portano ad un miglioramento effettivo in termini di tempo di percorrenza rispetto alle soluzioni base di cui queste sono composte. È bene inoltre chiarire che un cosiddetto *stopping-rule* è necessario per scartare le soluzioni progettuali che non presentano un miglioramento effettivo.

Nella tabella sottostante (**Tab. 8**), a titolo puramente esemplificativo, è riportata una matrice di combinazione degli interventi nel caso di valutazione di interventi costituiti come somma di due interventi base ($N=2$).

Tab. 8. Matrice di combinazione delle soluzioni progettuali base.

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
S1	-	-	S1+S3	S1+S4	S1+S5	S1+S6	S1+S7	S1+S8	S1+S9	S1+S10	S1+S11	S1+S12
S2	-	-	S2+S3	S2+S4	S2+S5	S2+S6	S2+S7	S2+S8	S2+S9	S2+S10	S2+S11	S2+S12
S3	-	-	-	-	S3+S5	S3+S6	S3+S7	S3+S8	S3+S9	S3+S10	S3+S11	S3+S12
S4	-	-	-	-	S4+S4	S4+S6	S4+S7	S4+S8	S4+S9	S4+S10	S4+S11	S4+S12
S5	-	-	-	-	-	-	S5+S7	S5+S8	S5+S9	S5+S10	S5+S11	S5+S12
S6	-	-	-	-	-	-	S6+S7	S6+S8	S6+S9	S6+S10	S6+S11	S6+S12
S7	-	-	-	-	-	-	-	-	S7+S9	S7+S10	S7+S11	S7+S12
S8	-	-	-	-	-	-	-	-	S8+S9	S8+S10	S8+S11	S8+S12
S9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S9+S10	S9+S11	S9+S12
S10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S10+S11	S10+S12
S11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S11+S12
S12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Valutazione del risparmio temporale

Nell'ambito della ricerca di soluzioni progettuali che permettano la fluidificazione del traffico, l'obiettivo principale di questa tipologia di analisi è quella di trovare una soluzione ottimale che massimizzi le prestazioni di tutta la rete di Cassino in termini di riduzione dei tempi di percorrenza. Come è possibile dedurre, esistono tre fasce orarie, come è stato visto a seguito delle diverse campagne di raccolta di dati sperimentali sul

traffico veicolare cittadino all'interno del comune, che possono essere definite “fasce di punta”, ovvero porzioni temporali particolari in cui i volumi di traffico che interessano le strade cittadine sono considerevoli e che sono deputati principalmente agli spostamenti casa-lavoro-studio (nelle fasce di mattina e dell'ora di pranzo si assistono prevalentemente a spostamenti di tipo pendolaristico) oppure a tutti gli altri spostamenti effettuati che non ricadono tra quelli precedentemente menzionati (in particolare nella fascia del pomeriggio, in cui, oltre ad una parte residuale di spostamenti per i motivi casa-lavoro-studio, si registrano anche spostamenti per l'acquisto di beni e per altri scopi).

Prima di trovare la soluzione ottimale che porti a miglioramenti in termini di tempi di percorrenza, è opportuno definire un parametro che dia quante più informazioni possibili in termini di prestazioni attese: il fine, si ricorda, è quello di trovare una soluzione progettuale che porti ad un migliore risparmio in termini di tempo rispetto sia alla condizione attuale, sia rispetto a tutte le altre soluzioni progettuali che devono essere prese in esame.

Ogni utente sperimenta un certo tempo di viaggio per raggiungere la propria destinazione di spostamento che dipende dalle condizioni di traffico nella rete ma anche dalle condizioni in termini di offerta di trasporto nella rete. Essendo una rete un modello che si porta dietro delle relazioni tra domanda ed offerta, cambiare un termine o l'altro porta ad una variazione nei tempi di percorrenza sperimentati. A tal fine, il parametro che meglio rappresenta le suddette relazioni è stato definito come segue:

$$RTG = \frac{\sum_{i=1}^n (t_{OD,i}^{SP} - t_{OD,i}^{SF}) F_{OD,i}}{3600} \quad (20)$$

Dove:

- RTG è il risparmio temporale globale, ovvero la sommatoria dei singoli ritardi sperimentati dal singolo utente tra lo scenario di progetto e quello rappresentativo dello stato di fatto [h];
- $t_{OD,i}^{SP}$ è il tempo medio di percorrenza tra l'origine e la destinazione dello spostamento nello stato di progetto [s];
- $t_{OD,i}^{SF}$ è il tempo medio di percorrenza tra l'origine e la destinazione dello spostamento nello stato di fatto [s];

- $F_{OD,i}$ rappresenta il numero di veicoli che nell'ora di riferimento si spostano tra l'origine e la destinazione designata [adimensionale].

La valutazione di RTG per ogni singolo scenario progettuale ha un duplice vantaggio:

- Il primo consiste nell'utilizzare questo parametro come strumento di valutazione delle prestazioni di un certo intervento, sia in termini assoluti ma soprattutto relativi;
- Il secondo è tale parametro può essere utilizzato come criterio di selezione di interventi alcuni interventi rispetto agli altri, in modo da ridurre il numero in termini di numerosità lo spazio di possibili combinazioni tra le soluzioni progettuali.

Il criterio che permette la selezione di una certa soluzione progettuale o la combinazione di due o più soluzioni progettuali semplici, consiste nel valutare RTG della soluzione composta e confrontarlo con le soluzioni più semplici. A titolo esemplificativo, se si vuole valutare l'efficacia della soluzione combinata S1+S2 rispetto alle soluzioni semplici che la costituiscono, deve accadere che:

$$RTG(S1 + S2) < RTG(S1, S2) \quad (21)$$

In tal modo si scelgono quegli interventi composti che portano ad un miglioramento in termini di risparmio temporale rispetto ai singoli interventi di cui sono composti.

Analisi mediata sulle fasce orarie: risultati

Come precedentemente visto nel paragrafo “*Valutazione del risparmio temporale*”, esistono alcune soluzioni progettuali che presentano dei risparmi temporali su alcune fasce (oppure soltanto su di una), mentre risultano temporalmente svantaggiose su altre fasce orarie di riferimento. Questa tipologia di analisi, che verte nel trovare la soluzione progettuale migliore per una certa condizione di traffico in termini di performance, può essere utile nel caso siano presenti delle capacità impiantistiche ed organizzative per attuare delle “temporizzazioni” degli interventi proposti, ovvero, a solo titolo di esempio, modulare il ciclo semaforico in base alle fasce orarie di punta e di morbida. Qualora non siano presenti queste condizioni, si prospetta allora una tipologia di analisi diversa,

seguendo il principio di trovare una soluzione progettuale che rappresenti il compromesso ideale in termini di risparmio di tempo per tutte e tre le fasce di punta, che costituiscono dei critici punti nel tempo.

Pertanto si è reso necessario valutare un risparmio di tempo globale mediato rispetto ai flussi delle tre fasce d'orario in esame. Questo nuovo parametro, nominato *Risparmio di tempo globale mediato* (RTG_m) e valutato per la singola soluzione progettuale, può essere definito come:

$$RTG_m = \frac{RTG_{ma}F_{tot,ma} + RTG_{pr}F_{tot,pr} + RTG_{po}F_{tot,po}}{F_{tot,ma} + F_{tot,pr} + F_{tot,po}} \quad (22)$$

Dove:

- RTG_m è il risparmio temporale globale, ovvero la sommatoria dei singoli ritardi sperimentati dal singolo utente tra lo scenario di progetto e quello rappresentativo dello stato di fatto mediato sui flussi totali nelle fasce orarie analizzate[h];
- $F_{tot,ma}$ rappresenta il numero di totale veicoli che nell'ora di riferimento della mattina si spostano tra l'origine e la destinazione designata [adimensionale];
- $F_{tot,pr}$ rappresenta il numero di totale veicoli che nell'ora di riferimento del pranzo si spostano tra l'origine e la destinazione designata [adimensionale];
- $F_{tot,po}$ rappresenta il numero di totale veicoli che nell'ora di riferimento del pomeriggio si spostano tra l'origine e la destinazione designata [adimensionale].

Seguendo la procedura di identificazione delle proposte progettuali nel paragrafo “*Descrizione delle soluzioni progettuali*” e quella di selezione delle proposte nel paragrafo “*Valutazione del risparmio temporale*”, si riporta una tabella riassuntiva delle proposte progettuali indagate che presentano un miglioramento in termini di risparmio di tempo (**Tab. 9**).

Tab. 9. Tabella riassuntiva delle proposte progettuali che presentano in miglioramento rispetto allo stato di fatto in termini di risparmio temporale.

Identificativo alfanumerico della soluzione	Descrizione della soluzione progettuale identificata	Risparmio temporale globale mediato RTG [h]
S1	Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Enrico De Nicola, Via degli Eroi e Via Bari</i> cha passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico de Nicola</i>) da 45 s a 50 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulle strade secondarie (<i>Via Bari e Via degli Eroi</i>).	-12,19
S2	Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Enrico De Nicola, Via degli Eroi e Via Bari</i> cha passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulle direttrici secondarie (<i>Via degli Eroi e Via Bari</i>) da 15 s a 20 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico De Nicola</i>).	-12,37
S3	Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Corso della Repubblica, Via Verdi e Via Bari</i> cha passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Corso della Repubblica</i>) da 40 s a 45 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulle strade secondarie (<i>Via Bari e Via Verdi</i>).	-13,18
S4	Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Corso della Repubblica, Via Verdi e Via Bari</i> cha passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulle direttrici secondarie (<i>Via Verdi e Via Bari</i>) da 20 s a 25 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Corso della Repubblica</i>).	-20,59
S5	Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Marconi e Via Enrico De Nicola</i> che passa da 85 s a 90 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico de Nicola</i>) da 40 s a 45 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice secondaria (<i>Via Marconi</i>).	-3,25
	Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Marconi e Via Enrico De Nicola</i> che	

S6	passa da 85 s a 90 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice secondaria (<i>Via Marconi</i>) da 30 s a 35 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico De Nicola</i>).	-5,61
S7	Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Corso della Repubblica</i> , <i>Via Marconi</i> e <i>Via Arigni</i> che passa da 72 s a 77 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Corso della Repubblica</i>) da 34 s a 39 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice secondaria (<i>Via Marconi</i>).	-17,41
S8	Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Corso della Repubblica</i> , <i>Via Marconi</i> e <i>Via Arigni</i> che passa da 72 s a 77 s, con aumento dei tempi di verde sulle direttrici secondarie (<i>Via Arigni</i> e <i>Via Marconi</i>) da 25 s a 30 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Corso della Repubblica</i>).	-19,90
S9	Rimozione di n. 4 stalli di sosta in <i>Via Bari</i> (nella direzione di <i>Corso della Repubblica</i>) al fine di permettere un allargamento della corsia in prossimità dell'intersezione tra <i>Corso della Repubblica</i> , <i>Via Verdi</i> e <i>Via Bari</i> .	-24,55
S11	Rimozione di n. 4 stalli di sosta in <i>Via Lombardia</i> in prossimità dell'intersezione con <i>Via XX Settembre</i> al fine di permettere un allargamento della corsia in prossimità dell'intersezione tra <i>Via XX Settembre</i> e <i>Via Lombardia</i> , con conseguente aumento della capacità della corsia e visibilità dell'intersezione.	-5,41
S12	Arretramento delle strisce pedonali su <i>Via Lombardia</i> ed avanzamento del segnale di arresto sulla medesima, al fine di aumentare la visibilità sull'incrocio per tutti gli utenti che intraprendono le opportune manovre di svolta per raggiungere la loro destinazione di spostamento.	-0,26
S1+S5	Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Enrico De Nicola</i> , <i>Via degli Eroi</i> e <i>Via Bari</i> che passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico De Nicola</i>) da 45 s a 50 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulle strade secondarie (<i>Via Bari</i> e <i>Via degli Eroi</i>). Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Marconi</i> e <i>Via Enrico De Nicola</i> che	-15,35

	<p>passa da 85 s a 90 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico de Nicola</i>) da 40 s a 45 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice secondaria (<i>Via Marconi</i>).</p>	
S1+S8	<p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Enrico De Nicola</i>, <i>Via degli Eroi</i> e <i>Via Bari</i> che passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico de Nicola</i>) da 45 s a 50 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulle strade secondarie (<i>Via Bari</i> e <i>Via degli Eroi</i>).</p> <p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Corso della Repubblica</i>, <i>Via Marconi</i> e <i>Via Arigni</i> che passa da 72 s a 77 s, con aumento dei tempi di verde sulle direttrici secondarie (<i>Via Arigni</i> e <i>Via Marconi</i>) da 25 s a 30 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Corso della Repubblica</i>).</p>	-22,59
S1+S11	<p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Enrico De Nicola</i>, <i>Via degli Eroi</i> e <i>Via Bari</i> che passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico de Nicola</i>) da 45 s a 50 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulle strade secondarie (<i>Via Bari</i> e <i>Via degli Eroi</i>).</p> <p>Rimozione di n. 4 stalli di sosta in <i>Via Lombardia</i> in prossimità dell'intersezione con <i>Via XX Settembre</i> al fine di permettere un allargamento della corsia in prossimità dell'intersezione tra <i>Via XX Settembre</i> e <i>Via Lombardia</i>, con conseguente aumento della capacità della corsia e visibilità dell'intersezione.</p>	-12,29
S3+S8	<p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Enrico De Nicola</i>, <i>Via degli Eroi</i> e <i>Via Bari</i> che passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulle direttrici secondarie (<i>Via degli Eroi</i> e <i>Via Bari</i>) da 15 s a 20 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico De Nicola</i>).</p> <p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Corso della Repubblica</i>, <i>Via Marconi</i> e <i>Via Arigni</i> che passa da 72 s a 77 s, con aumento dei tempi di verde</p>	-124,72

	sulle direttrici secondarie (<i>Via Arigni e Via Marconi</i>) da 25 s a 30 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Corso della Repubblica</i>).	
S3+S9	<p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Enrico De Nicola, Via degli Eroi e Via Bari</i> che passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulle direttrici secondarie (<i>Via degli Eroi e Via Bari</i>) da 15 s a 20 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico De Nicola</i>).</p> <p>Rimozione di n. 4 stalli di sosta in <i>Via Bari</i> (nella direzione di <i>Corso della Repubblica</i>) al fine di permettere un allargamento della corsia in prossimità dell'intersezione tra <i>Corso della Repubblica, Via Verdi e Via Bari</i>.</p>	-282,69

Riepilogo delle soluzioni migliorative mediate sulle fasce orarie

A seguito dell'enumerazione di tutte le soluzioni progettuali vagliate, si propone in questo paragrafo un riepilogo delle migliori dieci soluzioni individuate per tipologia di analisi effettuate, in modo tale da fornire una panoramica più precisa di quelli che sono gli interventi che portano ad un risparmio in termini di tempo sperimentati dagli utenti che si muovono nel Comune di Cassino.

Nella tabella **Tab. 10** un riepilogo riassuntivo delle migliori dieci soluzioni progettuali trovate a seguito delle 516 combinazioni studiate in totale.

Tab. 10. Tabella riassuntiva delle migliori dieci proposte progettuali trovate.

Posizione	Identificativo alfanumerico della soluzione	Descrizione della soluzione progettuale identificata	Risparmio temporale globale mediato RTG [h]
		Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Enrico De Nicola, Via degli Eroi e Via Bari</i> che passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulle	

1.	S3+S9	<p>direttrici secondarie (<i>Via degli Eroi e Via Bari</i>) da 15 s a 20 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico De Nicola</i>).</p> <p>Rimozione di <i>n.</i> 4 stalli di sosta in <i>Via Bari</i> (nella direzione di <i>Corso della Repubblica</i>) al fine di permettere un allargamento della corsia in prossimità dell'intersezione tra <i>Corso della Repubblica, Via Verdi e Via Bari</i>.</p>	-179,37
2.	S3+S8	<p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Enrico De Nicola, Via degli Eroi e Via Bari</i> che passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulle direttrici secondarie (<i>Via degli Eroi e Via Bari</i>) da 15 s a 20 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico De Nicola</i>).</p> <p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Corso della Repubblica, Via Marconi e Via Arigni</i> che passa da 72 s a 77 s, con aumento dei tempi di verde sulle direttrici secondarie (<i>Via Arigni e Via Marconi</i>) da 25 s a 30 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Corso della Repubblica</i>).</p>	-97,65
3.	S9	<p>Rimozione di <i>n.</i> 4 stalli di sosta in <i>Via Bari</i> (nella direzione di <i>Corso della Repubblica</i>) al fine di permettere un allargamento della corsia in prossimità dell'intersezione tra <i>Corso della Repubblica, Via Verdi e Via Bari</i>.</p>	-24,55
4.	S1+S8	<p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Enrico De Nicola, Via degli Eroi e Via Bari</i> che passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico de Nicola</i>) da 45 s a 50 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulle strade secondarie (<i>Via Bari e Via degli Eroi</i>).</p>	-22,59

		Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Corso della Repubblica, Via Marconi e Via Arigni</i> che passa da 72 s a 77 s, con aumento dei tempi di verde sulle direttrici secondarie (<i>Via Arigni e Via Marconi</i>) da 25 s a 30 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Corso della Repubblica</i>).	
5.	S4	Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Corso della Repubblica, Via Verdi e Via Bari</i> che passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulle direttrici secondarie (<i>Via Verdi e Via Bari</i>) da 20 s a 25 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Corso della Repubblica</i>).	-20,59
6.	S7+S11	Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Corso della Repubblica, Via Marconi e Via Arigni</i> che passa da 72 s a 77 s, con aumento dei tempi di verde sulle direttrici secondarie (<i>Via Arigni e Via Marconi</i>) da 25 s a 30 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Corso della Repubblica</i>).	-19,90
7.	S7	Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Corso della Repubblica, Via Marconi e Via Arigni</i> che passa da 72 s a 77 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Corso della Repubblica</i>) da 34 s a 39 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice secondaria (<i>Via Marconi</i>).	-17,41
		Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Enrico De Nicola, Via degli Eroi e Via Bari</i> che passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulla	

8.	S1+S5	<p>direttrice principale (<i>Via Enrico de Nicola</i>) da 45 s a 50 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulle strade secondarie (<i>Via Bari</i> e <i>Via degli Eroi</i>).</p> <p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Marconi</i> e <i>Via Enrico De Nicola</i> che passa da 85 s a 90 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico de Nicola</i>) da 40 s a 45 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice secondaria (<i>Via Marconi</i>).</p>	-15,35
9.	S3	<p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Enrico De Nicola</i>, <i>Via degli Eroi</i> e <i>Via Bari</i> che passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulle direttrici secondarie (<i>Via degli Eroi</i> e <i>Via Bari</i>) da 15 s a 20 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico De Nicola</i>).</p>	-13,18
10.	S2+S9	<p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Enrico De Nicola</i>, <i>Via degli Eroi</i> e <i>Via Bari</i> che passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulle direttrici secondarie (<i>Via degli Eroi</i> e <i>Via Bari</i>) da 15 s a 20 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico De Nicola</i>).</p>	-12,37

Analisi sulla singola fascia oraria: risultati

A seguito di una analisi mediata sulle tre fasce orarie con il fine di individuare una soluzione progettuale che costituisca il compromesso accettabile in termini di prestazioni e quindi di risparmio di tempo sulle tre fasce orarie di punta, in questo paragrafo si analizzano nel dettaglio, per ogni singola fascia oraria di riferimento, quali siano le soluzioni progettuali individuate che portano ad un miglioramento, ordinate secondo le

loro prestazioni in termini di risparmio di tempo (**Tab. 11**, **Tab. 12**, **Tab. 13**. Nella **Tab. 14** si riportano invece le migliori soluzioni progettuali individuate per ogni fascia oraria.

Tab. 11. Tabella riassuntiva delle migliori soluzioni progettuali trovate per la fascia oraria della mattina.

Posizione	Identificativo alfanumerico della soluzione	Descrizione della soluzione progettuale identificata	Risparmio temporale globale RTG [h]
1.	S9	Rimozione di <i>n.</i> 4 stalli di sosta in <i>Via Bari</i> (nella direzione di <i>Corso della Repubblica</i>) al fine di permettere un allargamento della corsia in prossimità dell'intersezione tra <i>Corso della Repubblica</i> , <i>Via Verdi</i> e <i>Via Bari</i> .	-94,92
2.	S1+S5+S7	<p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Enrico De Nicola</i>, <i>Via degli Eroi</i> e <i>Via Bari</i> che passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico de Nicola</i>) da 45 s a 50 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulle strade secondarie (<i>Via Bari</i> e <i>Via degli Eroi</i>).</p> <p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Marconi</i> e <i>Via Enrico De Nicola</i> che passa da 85 s a 90 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico de Nicola</i>) da 40 s a 45 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice secondaria (<i>Via Marconi</i>).</p> <p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Corso della Repubblica</i>, <i>Via Marconi</i> e <i>Via Arigni</i> che passa da 72 s a 77 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Corso della Repubblica</i>) da 34 s a 39 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice secondaria (<i>Via Marconi</i>).</p>	-69,38

3.	S2+S4+S6	<p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Enrico De Nicola</i>, <i>Via degli Eroi</i> e <i>Via Bari</i> che passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulle direttrici secondarie (<i>Via degli Eroi</i> e <i>Via Bari</i>) da 15 s a 20 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico De Nicola</i>).</p> <p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Corso della Repubblica</i>, <i>Via Verdi</i> e <i>Via Bari</i> che passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulle direttrici secondarie (<i>Via Verdi</i> e <i>Via Bari</i>) da 20 s a 25 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Corso della Repubblica</i>).</p> <p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Marconi</i> e <i>Via Enrico De Nicola</i> che passa da 85 s a 90 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice secondaria (<i>Via Marconi</i>) da 30 s a 35 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico De Nicola</i>).</p>	-44,27
4.	S4	<p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Corso della Repubblica</i>, <i>Via Verdi</i> e <i>Via Bari</i> che passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulle direttrici secondarie (<i>Via Verdi</i> e <i>Via Bari</i>) da 20 s a 25 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Corso della Repubblica</i>).</p>	-15,12
5.	S8	<p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Corso della Repubblica</i>, <i>Via Marconi</i> e <i>Via Arigni</i> che passa da 72 s a 77 s, con aumento dei tempi di verde sulle direttrici secondarie (<i>Via Arigni</i> e <i>Via Marconi</i>) da 25 s a 30 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Corso della Repubblica</i>).</p>	-32,93
		<p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Corso della Repubblica</i>, <i>Via Marconi</i> e <i>Via Arigni</i> che passa da 72 s a 77 s, con</p>	

6.	S7	aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Corso della Repubblica</i>) da 34 s a 39 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice secondaria (<i>Via Marconi</i>).	-13,96
7.	S1+S5	<p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Enrico De Nicola</i>, <i>Via degli Eroi</i> e <i>Via Bari</i> che passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico de Nicola</i>) da 45 s a 50 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulle strade secondarie (<i>Via Bari</i> e <i>Via degli Eroi</i>).</p> <p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Marconi</i> e <i>Via Enrico De Nicola</i> che passa da 85 s a 90 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico de Nicola</i>) da 40 s a 45 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice secondaria (<i>Via Marconi</i>).</p>	-16,76
8.	S1+S3	<p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Enrico De Nicola</i>, <i>Via degli Eroi</i> e <i>Via Bari</i> che passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico de Nicola</i>) da 45 s a 50 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulle strade secondarie (<i>Via Bari</i> e <i>Via degli Eroi</i>).</p> <p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Corso della Repubblica</i>, <i>Via Verdi</i> e <i>Via Bari</i> che passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Corso della Repubblica</i>) da 40 s a 45 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulle strade secondarie (<i>Via Bari</i> e <i>Via Verdi</i>).</p>	-15,98
9.	S3	Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Corso della Repubblica</i> , <i>Via Verdi</i> e <i>Via Bari</i> che passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Corso della Repubblica</i>) da 40 s a 45 s, mentre nessun aumento dei	-14,01

		tempi di verde sulle strade secondarie (<i>Via Bari e Via Verdi</i>).	
10.	S5	Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Marconi e Via Enrico De Nicola</i> che passa da 85 s a 90 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico de Nicola</i>) da 40 s a 45 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice secondaria (<i>Via Marconi</i>).	-7,57
11.	S2+S6	Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Enrico De Nicola, Via degli Eroi e Via Bari</i> che passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulle direttrici secondarie (<i>Via degli Eroi e Via Bari</i>) da 15 s a 20 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico De Nicola</i>). Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Marconi e Via Enrico De Nicola</i> che passa da 85 s a 90 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice secondaria (<i>Via Marconi</i>) da 30 s a 35 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico De Nicola</i>).	-6,79
12.	S6	Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Marconi e Via Enrico De Nicola</i> che passa da 85 s a 90 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice secondaria (<i>Via Marconi</i>) da 30 s a 35 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico De Nicola</i>).	-5,96
13.	S1	Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Enrico De Nicola, Via degli Eroi e Via Bari</i> che passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico de Nicola</i>) da 45 s a 50 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulle strade secondarie (<i>Via Bari e Via degli Eroi</i>).	-1,68

14.	S2	Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Enrico De Nicola, Via degli Eroi</i> e <i>Via Bari</i> che passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulle direttrici secondarie (<i>Via degli Eroi</i> e <i>Via Bari</i>) da 15 s a 20 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico De Nicola</i>).	-0,09
------------	-----------	--	-------

Tab. 12. Tabella riassuntiva delle migliori soluzioni progettuali trovate per la fascia oraria del pranzo.

Posizione	Identificativo alfanumerico della soluzione	Descrizione della soluzione progettuale identificata	Risparmio temporale globale RTG [h]
1.	S4+S5	<p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Corso della Repubblica, Via Verdi</i> e <i>Via Bari</i> che passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulle direttrici secondarie (<i>Via Verdi</i> e <i>Via Bari</i>) da 20 s a 25 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Corso della Repubblica</i>).</p> <p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Marconi</i> e <i>Via Enrico De Nicola</i> che passa da 85 s a 90 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico de Nicola</i>) da 40 s a 45 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice secondaria (<i>Via Marconi</i>).</p>	-77,80
		Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Enrico De Nicola, Via degli Eroi</i> e <i>Via Bari</i> che passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico de Nicola</i>) da 45 s a 50 s,	

2.	S1+S8	<p>mentre nessun aumento dei tempi di verde sulle strade secondarie (<i>Via Bari</i> e <i>Via degli Eroi</i>).</p> <p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Corso della Repubblica</i>, <i>Via Marconi</i> e <i>Via Arigni</i> che passa da 72 s a 77 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrici secondarie (<i>Via Arigni</i> e <i>Via Marconi</i>) da 25 s a 30 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Corso della Repubblica</i>).</p>	-74,91
3.	S1+S7	<p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Enrico De Nicola</i>, <i>Via degli Eroi</i> e <i>Via Bari</i> cha passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico de Nicola</i>) da 45 s a 50 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulle strade secondarie (<i>Via Bari</i> e <i>Via degli Eroi</i>).</p> <p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Corso della Repubblica</i>, <i>Via Marconi</i> e <i>Via Arigni</i> che passa da 72 s a 77 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Corso della Repubblica</i>) da 34 s a 39 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice secondaria (<i>Via Marconi</i>).</p>	-31,23
4.	S2+S3+S7	<p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Enrico De Nicola</i>, <i>Via degli Eroi</i> e <i>Via Bari</i> cha passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulle direttrici secondarie (<i>Via degli Eroi</i> e <i>Via Bari</i>) da 15 s a 20 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico De Nicola</i>).</p> <p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Corso della Repubblica</i>, <i>Via Verdi</i> e <i>Via Bari</i> cha passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Corso della Repubblica</i>) da 40 s a 45 s,</p>	-30,76

		<p>mentre nessun aumento dei tempi di verde sulle strade secondarie (<i>Via Bari</i> e <i>Via Verdi</i>).</p> <p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Corso della Repubblica</i>, <i>Via Marconi</i> e <i>Via Arigni</i> che passa da 72 s a 77 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Corso della Repubblica</i>) da 34 s a 39 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice secondaria (<i>Via Marconi</i>).</p>	
5.	S2+S6	<p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Enrico De Nicola</i>, <i>Via degli Eroi</i> e <i>Via Bari</i> che passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulle direttrici secondarie (<i>Via degli Eroi</i> e <i>Via Bari</i>) da 15 s a 20 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico De Nicola</i>).</p> <p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Marconi</i> e <i>Via Enrico De Nicola</i> che passa da 85 s a 90 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice secondaria (<i>Via Marconi</i>) da 30 s a 35 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico De Nicola</i>).</p>	-29,56
6.	S3+S7	<p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Corso della Repubblica</i>, <i>Via Verdi</i> e <i>Via Bari</i> che passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Corso della Repubblica</i>) da 40 s a 45 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulle strade secondarie (<i>Via Bari</i> e <i>Via Verdi</i>).</p> <p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Corso della Repubblica</i>, <i>Via Marconi</i> e <i>Via Arigni</i> che passa da 72 s a 77 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Corso della Repubblica</i>) da 34 s a 39 s,</p>	-28,74

		mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice secondaria (<i>Via Marconi</i>).	
7.	S4	Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Corso della Repubblica, Via Verdi e Via Bari</i> che passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulle direttrici secondarie (<i>Via Verdi e Via Bari</i>) da 20 s a 25 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Corso della Repubblica</i>).	-28,59
8.	S1	Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Enrico De Nicola, Via degli Eroi e Via Bari</i> che passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico De Nicola</i>) da 45 s a 50 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulle strade secondarie (<i>Via Bari e Via degli Eroi</i>).	-28,18
9.	S2	Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Enrico De Nicola, Via degli Eroi e Via Bari</i> che passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulle direttrici secondarie (<i>Via degli Eroi e Via Bari</i>) da 15 s a 20 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico De Nicola</i>).	-27,49
10.	S3	Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Corso della Repubblica, Via Verdi e Via Bari</i> che passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Corso della Repubblica</i>) da 40 s a 45 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulle strade secondarie (<i>Via Bari e Via Verdi</i>).	-23,07
11.	S10	Rimozione di n. 4 stalli di sosta in <i>Via Bari</i> (nella direzione di <i>Via Enrico De Nicola</i>) al fine di permettere un allargamento della corsia in prossimità dell'intersezione tra <i>Via Enrico De Nicola, Via degli Eroi e Via Bari</i> .	-21,67
		Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Corso della</i>	

12.	S7	<i>Repubblica, Via Marconi e Via Arigni</i> che passa da 72 s a 77 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Corso della Repubblica</i>) da 34 s a 39 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice secondaria (<i>Via Marconi</i>).	-20,27
13.	S5	Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Marconi e Via Enrico De Nicola</i> che passa da 85 s a 90 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico de Nicola</i>) da 40 s a 45 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice secondaria (<i>Via Marconi</i>).	-20,11
14.	S8	Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Corso della Repubblica, Via Marconi e Via Arigni</i> che passa da 72 s a 77 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrici secondarie (<i>Via Arigni e Via Marconi</i>) da 25 s a 30 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Corso della Repubblica</i>).	-18,06
15.	S6	Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Marconi e Via Enrico De Nicola</i> che passa da 85 s a 90 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice secondaria (<i>Via Marconi</i>) da 30 s a 35 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico De Nicola</i>).	-16,11
16.	S11	Rimozione di n. 4 stalli di sosta in <i>Via Lombardia</i> in prossimità dell'intersezione con <i>Via XX Settembre</i> al fine di permettere un allargamento della corsia in prossimità dell'intersezione tra <i>Via XX Settembre e Via Lombardia</i> , con conseguente aumento della capacità della corsia e visibilità dell'intersezione.	-15,72

17.	S12	Arretramento delle strisce pedonali su <i>Via Lombardia</i> ed avanzamento del segnale di arresto sulla medesima, al fine di aumentare la visibilità sull'incrocio per tutti gli utenti che intraprendono le opportune manovre di svolta per raggiungere la loro destinazione di spostamento.	-15,62
------------	------------	---	--------

Tab. 13. Tabella riassuntiva delle migliori soluzioni progettuali trovate per la fascia oraria del pomeriggio.

Posizione	Identificativo alfanumerico della soluzione	Descrizione della soluzione progettuale identificata	Risparmio temporale globale RTG [h]
1.	S3+S8	<p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Enrico De Nicola, Via degli Eroi e Via Bari</i> che passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulle direttrici secondarie (<i>Via degli Eroi e Via Bari</i>) da 15 s a 20 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico De Nicola</i>).</p> <p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Corso della Repubblica, Via Marconi e Via Arigni</i> che passa da 72 s a 77 s, con aumento dei tempi di verde sulle direttrici secondarie (<i>Via Arigni e Via Marconi</i>) da 25 s a 30 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Corso della Repubblica</i>).</p>	-188,99
		Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Corso della Repubblica, Via Verdi e Via Bari</i> che passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Corso della Repubblica</i>) da 40 s a 45 s, mentre nessun	

2.	S3+S10	<p>aumento dei tempi di verde sulle strade secondarie (<i>Via Bari</i> e <i>Via Verdi</i>).</p> <p>Rimozione di <i>n.</i> 4 stalli di sosta in <i>Via Bari</i> (nella direzione di <i>Via Enrico De Nicola</i>) al fine di permettere un allargamento della corsia in prossimità dell'intersezione tra <i>Via Enrico De Nicola</i>, <i>Via degli Eroi</i> e <i>Via Bari</i>.</p>	-24,03
3.	S8+S10	<p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Corso della Repubblica</i>, <i>Via Marconi</i> e <i>Via Arigni</i> che passa da 72 s a 77 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrici secondarie (<i>Via Arigni</i> e <i>Via Marconi</i>) da 25 s a 30 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Corso della Repubblica</i>).</p> <p>Rimozione di <i>n.</i> 4 stalli di sosta in <i>Via Bari</i> (nella direzione di <i>Via Enrico De Nicola</i>) al fine di permettere un allargamento della corsia in prossimità dell'intersezione tra <i>Via Enrico De Nicola</i>, <i>Via degli Eroi</i> e <i>Via Bari</i>.</p>	-21.06
4.	S2+S11	<p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Enrico De Nicola</i>, <i>Via degli Eroi</i> e <i>Via Bari</i> che passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulle direttrici secondarie (<i>Via degli Eroi</i> e <i>Via Bari</i>) da 15 s a 20 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico De Nicola</i>).</p> <p>Rimozione di <i>n.</i> 4 stalli di sosta in <i>Via Lombardia</i> in prossimità dell'intersezione con <i>Via XX Settembre</i> al fine di permettere un allargamento della corsia in prossimità dell'intersezione tra <i>Via XX Settembre</i> e <i>Via Lombardia</i>, con conseguente aumento della capacità della corsia e visibilità dell'intersezione.</p>	-21,05

5.	S2+S4	<p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Enrico De Nicola, Via degli Eroi e Via Bari</i> cha passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulle direttrici secondarie (<i>Via degli Eroi e Via Bari</i>) da 15 s a 20 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico De Nicola</i>).</p> <p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Corso della Repubblica, Via Verdi e Via Bari</i> cha passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulle direttrici secondarie (<i>Via Verdi e Via Bari</i>) da 20 s a 25 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Corso della Repubblica</i>).</p>	-15,52
6.	S8	<p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Corso della Repubblica, Via Marconi e Via Arigni</i> che passa da 72 s a 77 s, con aumento dei tempi di verde sulle direttrici secondarie (<i>Via Arigni e Via Marconi</i>) da 25 s a 30 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Corso della Repubblica</i>).</p>	-10,57
7.	S7	<p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Corso della Repubblica, Via Marconi e Via Arigni</i> che passa da 72 s a 77 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Corso della Repubblica</i>) da 34 s a 39 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice secondaria (<i>Via Marconi</i>).</p>	-10,27
8.	S2	<p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Enrico De Nicola, Via degli Eroi e Via Bari</i> cha passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulle direttrici secondarie (<i>Via degli Eroi e Via Bari</i>) da 15 s a 20 s, mentre</p>	-8,48

		nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico De Nicola</i>).	
9.	S11	Rimozione di <i>n.</i> 4 stalli di sosta in <i>Via Lombardia</i> in prossimità dell'intersezione con <i>Via XX Settembre</i> al fine di permettere un allargamento della corsia in prossimità dell'intersezione tra <i>Via XX Settembre</i> e <i>Via Lombardia</i> , con conseguente aumento della capacità della corsia e visibilità dell'intersezione.	-7,63
10.	S1	Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Enrico De Nicola</i> , <i>Via degli Eroi</i> e <i>Via Bari</i> che passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico De Nicola</i>) da 45 s a 50 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulle strade secondarie (<i>Via Bari</i> e <i>Via degli Eroi</i>).	-5,98
11.	S10	Rimozione di <i>n.</i> 4 stalli di sosta in <i>Via Bari</i> (nella direzione di <i>Via Enrico De Nicola</i>) al fine di permettere un allargamento della corsia in prossimità dell'intersezione tra <i>Via Enrico De Nicola</i> , <i>Via degli Eroi</i> e <i>Via Bari</i> .	-21,67
12.	S3	Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Corso della Repubblica</i> , <i>Via Verdi</i> e <i>Via Bari</i> che passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Corso della Repubblica</i>) da 40 s a 45 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulle strade secondarie (<i>Via Bari</i> e <i>Via Verdi</i>).	-3,11

13.	S4	Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Corso della Repubblica, Via Verdi e Via Bari</i> che passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulle direttrici secondarie (<i>Via Verdi e Via Bari</i>) da 20 s a 25 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Corso della Repubblica</i>).	-2,26
------------	-----------	--	-------

Tab. 14. Migliori soluzioni individuate per singola fascia oraria.

Fascia oraria	Identificativo alfanumerico della soluzione	Descrizione della soluzione progettuale identificata	Risparmio temporale globale RTG [h]
Mattina	S9	Rimozione di <i>n.</i> 4 stalli di sosta in <i>Via Bari</i> (nella direzione di <i>Corso della Repubblica</i>) al fine di permettere un allargamento della corsia in prossimità dell'intersezione tra <i>Corso della Repubblica, Via Verdi e Via Bari</i> .	-94,92
Pranzo	S4+S5	Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Corso della Repubblica, Via Verdi e Via Bari</i> che passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulle direttrici secondarie (<i>Via Verdi e Via Bari</i>) da 20 s a 25 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Corso della Repubblica</i>). Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via</i>	-77,80

		<i>Marconi e Via Enrico De Nicola che passa da 85 s a 90 s, con aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (Via Enrico de Nicola) da 40 s a 45 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice secondaria (Via Marconi).</i>	
Pomeriggio	S3+S8	<p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Via Enrico De Nicola, Via degli Eroi e Via Bari</i> che passa da 75 s a 80 s, con aumento dei tempi di verde sulle direttrici secondarie (<i>Via degli Eroi e Via Bari</i>) da 15 s a 20 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Via Enrico De Nicola</i>).</p> <p>Aumento del ciclo semaforico dell'impianto semaforico situato sull'intersezione tra <i>Corso della Repubblica, Via Marconi e Via Arigni</i> che passa da 72 s a 77 s, con aumento dei tempi di verde sulle direttrici secondarie (<i>Via Arigni e Via Marconi</i>) da 25 s a 30 s, mentre nessun aumento dei tempi di verde sulla direttrice principale (<i>Corso della Repubblica</i>).</p>	-188,99

Analisi di traffico della zona pedonale con la presenza del mercato

Altro scenario su cui focalizzare l'attenzione è quello che si registra ogni sabato mattina a causa delle interruzioni delle strade per via dell'occupazione degli stalli da parte degli espositori per i diversi mercati rionali che si installano sulle vie della città (**Fig. 81**). Con la realizzazione dell'isola pedonale, questo scenario è ancor più critico a causa di ulteriori chiusure (nella fattispecie Corso della Repubblica) oltre le altre strade che ospitano i banchi degli espositori. Sebbene negli scenari legati ai giorni festivi la domanda di mobilità legata agli spostamenti casa-lavoro e casa-studio sia ridotta (in virtù del fatto che le scuole nella città, di ogni ordine e grado, sospendono le attività didattiche e che i

lavoratori impegnati negli spostamenti pendolaristici nel fine settimana sono ridotti in termini assoluti e ridotti nelle ore di punta di affluenza ai mercati), è necessario comunque valutare il numero di avventori ai diversi mercati rionali che costituiscono una consistente quota della mobilità nel fine settimana.

Come è possibile notare nella tabella sottostante (**Tab. 15**), il 30% degli avventori totali è di cassino, il restante 70% proviene dai comuni limitrofi più vicini. Tenendo conto di queste percentuali sulle tipologie di avventori in base alle loro origini di spostamento, e tenendo conto anche di una minima quota legati agli spostamenti casa-lavoro (20% della matrice OD di un tipico giorno feriale), è possibile ricavare una nuova matrice origine/destinazione per la giornata di sabato. Di seguito i risultati dell'assegnazione rappresentati mediante i flussi di saturazione nello scenario di mercato in vigore (**Fig. 82**).

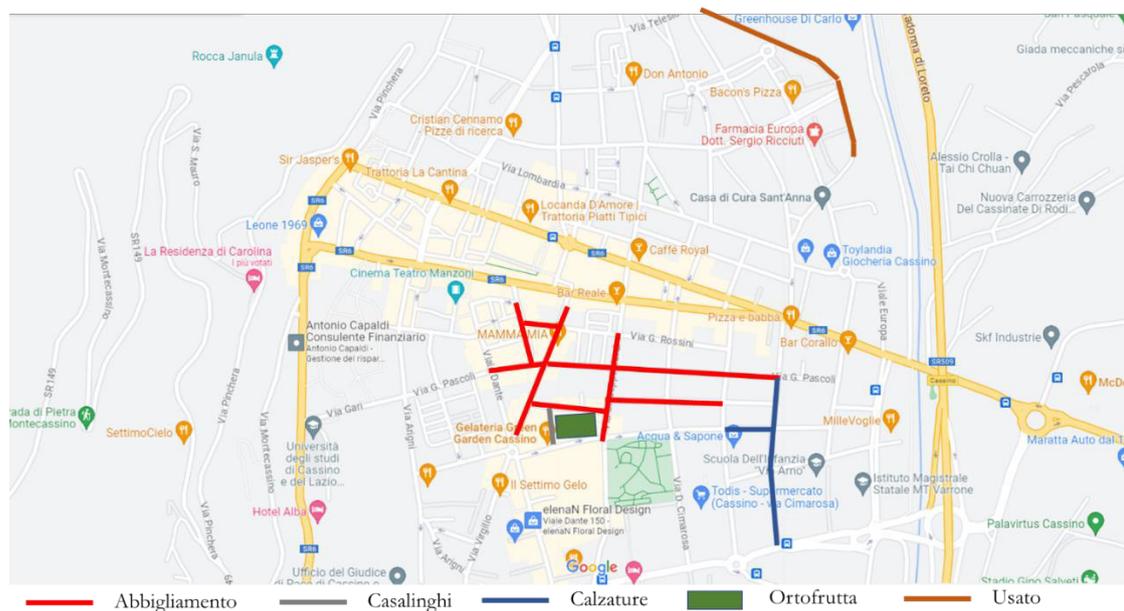


Fig. 81. Schema attuale dei mercati del sabato mattina suddivisi per tipologia merceologica.

Tab. 15. Distribuzione degli avventori ai mercati rionali di Cassino mediante l'utilizzo di un modello gravitativo.

Origine	Destinazione	Popolaz. [abitanti]	T percor. [minuti]	Aij	Kaj [adim]
Castelforte	CASSINO	4615	41	3949089.268	0.010058
Minturno	CASSINO	18554	32	20342141.75	0.051808
SantiCosma e Damiano	CASSINO	6614	38	6106462.526	0.015552
Spigno saturnia	CASSINO	2716	24	3970339.333	0.010112
Arce	CASSINO	6131	23	9352174.087	0.023818
Aquino	CASSINO	5461	12	15966143.67	0.040663
Atina	CASSINO	4710	18	9180313.333	0.023381
Ausonia	CASSINO	2571	19	4747419.158	0.012091
Cervaro	CASSINO	7460	10	26172664	0.066657
Esperia	CASSINO	4251	21	7102004	0.018088
Pignatarointeramna	CASSINO	2569	7	12875828	0.032793
Pontecorvo	CASSINO	13394	17	27642064.47	0.0704
Piedimonte S.Germano	CASSINO	5137	6	30037751.33	0.076501
San Giorgio a liri	CASSINO	3094	13	8349992	0.021266
SanVittore del lazio	CASSINO	998	13	2693371.692	0.00686
Sant'Elia Fiumerapido	CASSINO	1687	9	6576300.889	0.016749
Roccasecca	CASSINO	7562	20	13265260.4	0.033784
Sant'Apollinare	CASSINO	6390	14	16013340	0.040783
Castrocielo	CASSINO	5047	14	12647782	0.032212
Casalvieri	CASSINO	3134	24	4581385.667	0.011668
Pozzilli	CASSINO	2185	28	2737805	0.006973
Venafro	CASSINO	11054	22	17628115.27	0.044896
Sestocampano	CASSINO	3098	33	3293643.394	0.008388
Mignano montelungo	CASSINO	3372	17	6959014.588	0.017723
Rocca d'evandro	CASSINO	3744	18	7297472	0.018585
Cassino	CASSINO	35084	11	113156113.4	0.28819



Fig. 82. Rappresentazione della saturazione degli archi stradali nel Comune di Cassino nello scenario di punta delle 09:15-10:15 del sabato mattina con la presenza dei diversi mercati rionali.

In ultima istanza, due nuovi scenari frutto di una nuova disposizione degli stalli dedicati agli espositori proposta dallo stesso Comune di Cassino, come riportato nelle figure sottostanti (**Fig. 83**, **Fig. 84**). Nella figura successiva invece sono riportati i risultati dell'assegnazione in termini di flussi di saturazione. Da come era possibile immaginare, la frammentazione dei mercati in diverse zone della città porta inevitabilmente ad un peggioramento delle condizioni di traffico rispetto alla disposizione attuale dei mercati.

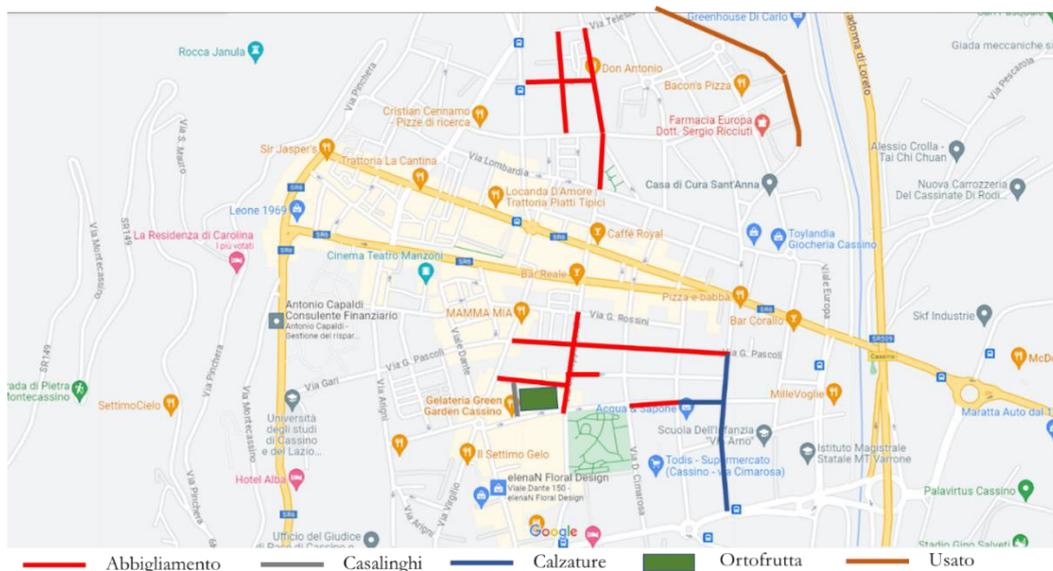


Fig. 83. Prima proposta del Comune di Cassino riguardo una nuova disposizione degli stalli degli espositori del mercato del sabato mattina.

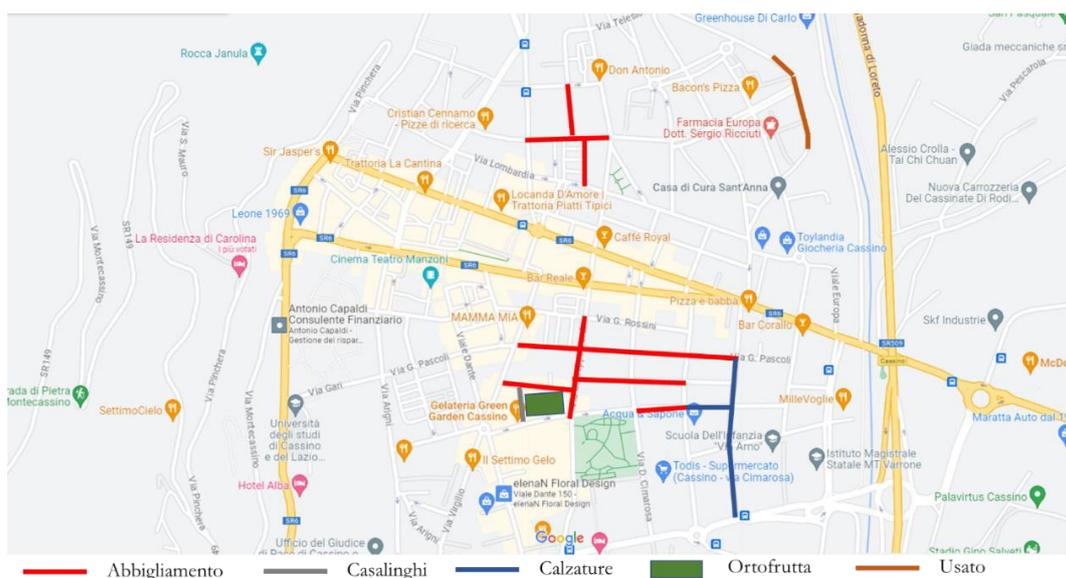


Fig. 84. Seconda proposta del Comune di Cassino riguardo una nuova disposizione degli stalli degli espositori del mercato del sabato mattina.

Al fine di valutare quanto siano conveniente le due nuove proposte progettuali, si procede, come fatto già precedentemente ad un'analisi sfruttando tutti gli strumenti di una microsimulazione e paragonando i risparmi di tempo valutati globalmente (**Tab. 16**).

Tab. 16. Migliori soluzioni individuate per singola fascia oraria.

Fascia oraria	Identificativo alfanumerico della soluzione	Descrizione della soluzione progettuale identificata	Risparmio temporale globale RTG [h]
Mattina	PR1	Rimozione degli stalli dedicati agli espositori su Via Gabriele D'Annunzio e nuova parziale allocazione su Via degli Eroi e Piazza San Giovanni.	-72,98
Mattina	PR2	Rimozione degli stalli dedicati agli espositori su Via Gabriele D'Annunzio e nuova parziale allocazione su Via Enrico Capocci e Via Giovan Battista Vico.	-58,96
Mattina	PR1+S9	Rimozione degli stalli dedicati agli espositori su Via Gabriele D'Annunzio e nuova parziale allocazione su Via degli Eroi e Piazza San Giovanni. Rimozione di <i>n.</i> 4 stalli di sosta in <i>Via Bari</i> (nella direzione di <i>Corso della Repubblica</i>) al fine di permettere un allargamento della corsia in prossimità dell'intersezione tra <i>Corso della Repubblica, Via Verdi e Via Bari</i> .	-74,17

Come è possibile notare dalle analisi effettuate, la **PR1** mostra un rilevante risparmio di tempo rispetto alla soluzione **PR2**: entrambe mostrano un risparmio in quanto entrambe sono caratterizzate dalla rimozione degli stalli degli espositori su Via Gabriele D'Annunzio, ma con una nuova diversa allocazione degli stalli persi su questa strada su altre porzioni del Comune. Successivamente la soluzione **PR1** è stata combinata con la soluzione **S9** che presenta il migliore risparmio di tempo nella fascia di mattina di un

giorno feriale tipo: la soluzione risultante **PR1+S1** porta ad un accettabile risparmio di tempo rispetto alla soluzione singola **PR1**.

Analisi di traffico nuova viabilità zona Folcara

Per quanto riguarda la nuova viabilità nella zona Folcara, quindi quell'area compresa tra gli edifici dell'*Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale*, il *Rettorato*, l'*ITIS Ettore Majorana* e il *Liceo Scientifico Statale Gioacchino Pellicchia*, il Comune di Cassino ha previsto la realizzazione di una nuova strada che collega *Via Sant'Angelo* (che diventerà a senso unico nella direzione verso gli istituti scolastici con due corsie per senso di marcia) con la *Strada Provinciale 76* in prossimità degli istituti scolastici, realizzando nei fatti un anello.

Nelle figure **Fig. 85** e **Fig. 86**, sono riportati rispettivamente lo stato di fatto e lo stato di progetto della viabilità che interessa la zona *Folcara*.

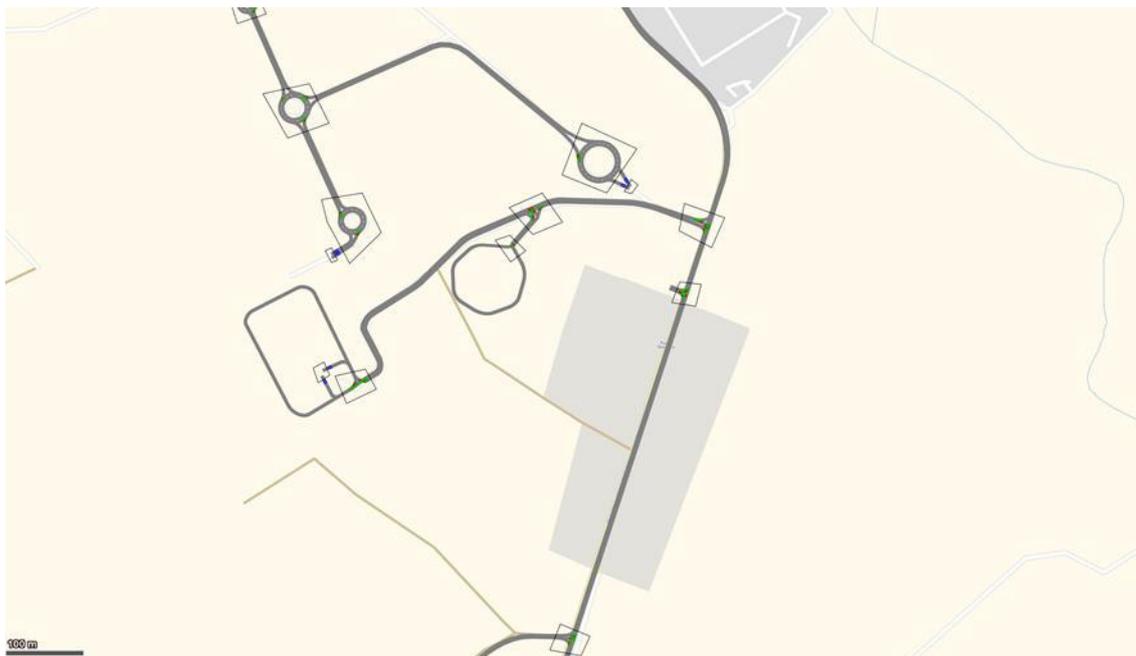


Fig. 85. Viabilità zona *Folcara* nello stato di fatto.



Fig. 86. Viabilità zona *Folcara* nello stato di progetto.

Al fine di valutare l'incidenza di questa soluzione prevista per migliorare la fluidificazione del traffico nella zona in esame, vengono usati gli stessi strumenti e gli stessi concetti messi in campo per le diverse analisi nei paragrafi precedenti di questa relazione. Nella tabella sottostante (**Tab. 17**), sono riportati i risparmi di tempo valutati sulla singola fascia oraria e quelli mediati sui flussi per le fasce orarie (mattina e pranzo) prese in esame: da come si può osservare, sulla singola fascia della mattina, la soluzione progettuale prevista porta a consistenti risparmi di tempo rispetto alla fascia oraria del pranzo: si può inoltre affermare che il risparmio temporale stimato, mediato sui flussi delle rispettive fasce orarie, porta ad un risparmio di tempo rilevante.

Tab. 17. Riepilogo analisi sulla zona Folcara per singola fascia oraria.

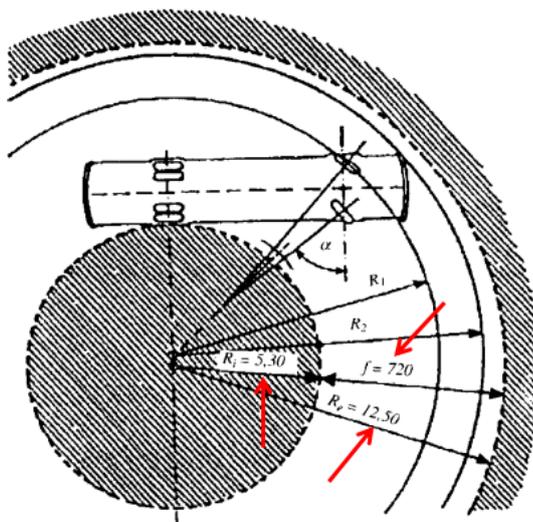
Fascia oraria	Descrizione della soluzione progettuale identificata	Risparmio temporale globale RTG [h]	Risparmio temporale globale medio RTGm [h]
Mattina	Realizzazione di una nuova strada che collega <i>Via Sant'Angelo</i> (che diventerà a senso unico nella direzione verso gli istituti scolastici con due corsie per senso di marcia) con la <i>Strada Provinciale 76</i> in prossimità degli istituti scolastici.	-181,76	-50,87
Pranzo	Realizzazione di una nuova strada che collega <i>Via Sant'Angelo</i> (che diventerà a senso unico nella direzione verso gli istituti scolastici con due corsie per senso di marcia) con la <i>Strada Provinciale 76</i> in prossimità degli istituti scolastici.	-71,70	

Valutazione degli ingombri dinamici

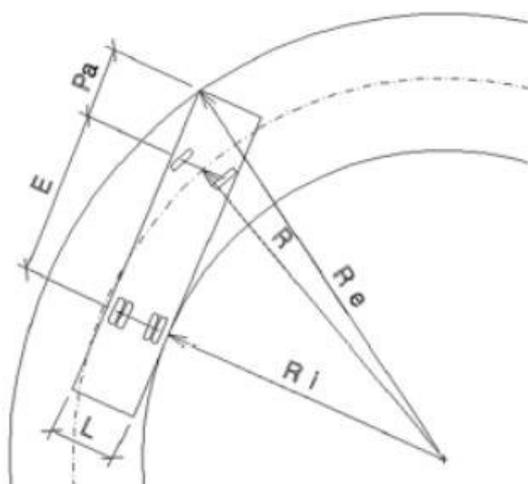
Con l'istituzione dell'area pedonale, i percorsi TPL subiscono delle variazioni rispetto al percorso originario, esse necessitano di una verifica per ciò che concerne l'ingombro dinamico dei mezzi pubblici durante le relative svolte.

Per verificare ciò ci si è avvalsi di formulazioni di letteratura che tengono conto dei raggi di svolta dei veicoli terrestri.

A seconda del tipo di veicolo vi è una fascia massima di ingombro prescritta in normativa, definendo l'ingombro del veicolo esso deve essere iscritto in tale fascia massima per essere considerato verificato.



Oltre ciò vengono definiti dei raggi minimi per consentire la svolta a seconda della prescrizione della geometria stradale.



$$R_{i-min} = \sqrt{R^2 - E^2} - \frac{L}{2} R_{e-min} =$$

$$\sqrt{(\sqrt{R^2 - E^2} + \frac{L}{2})^2 + (E + Pa)^2} =$$

$$\sqrt{(R_{i-min} + L)^2 + (E + Pa)^2}$$

Fig. 87. Raggi minimi per la svolta di un autobus.

Al fine di effettuare tali verifiche, si è preso in considerazione un'autobus urbano di dimensione standard da normativa come descritto in **Fig.88**.

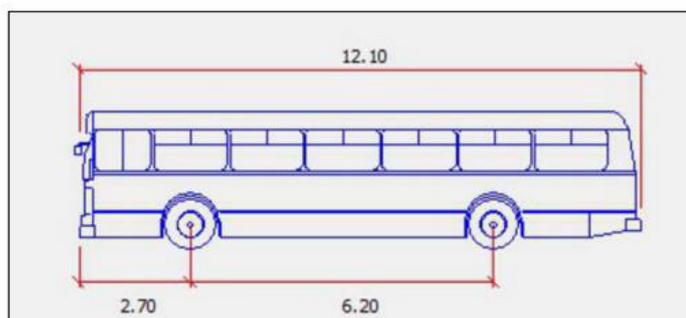
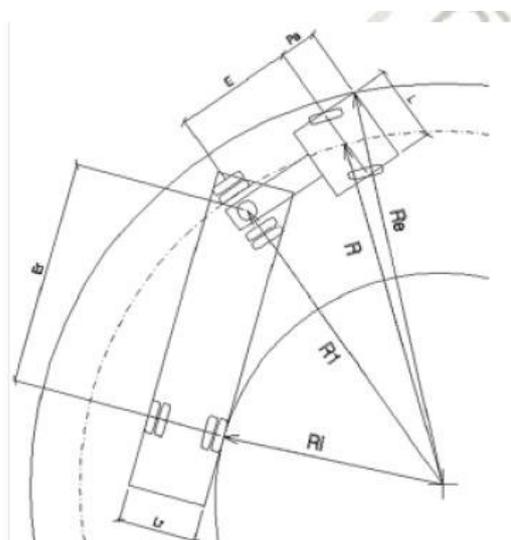


Fig. 88. Dimensioni Autobus urbano.

La normativa presa a riferimento è il Codice della strada, in particolare nell'articolo 61 – Sagome limite.

Effettuando tali verifiche, si è visto che non ci sono problematiche nelle svolte degli autobus nei percorsi alternativi stipulati a causa dell'istituzione dell'area pedonale. Per le schede di tali verifiche si rimanda all'allegato 2B.

Oltre alle svolte degli autobus, con l'istituzione dell'area pedonale è stato necessario verificare anche le svolte di mezzi pesanti, come autoarticolati.



$$R_{i-min} = \sqrt{R^2 - E^2} - E_r^2 - \frac{L_r}{2}$$

$$R_{e-min} = \sqrt{(\sqrt{R^2 - E^2} + \frac{L}{2})^2 + (E + Pa)^2}$$

$$= \sqrt{(\sqrt{R_{i-min} + \frac{L_r}{2}})^2 + (E_r^2 + \frac{L}{2})^2 + (E + Pa)^2}$$

Fig. 89. Raggi minimi per la svolta di un autoarticolato.

Si è preso in considerazione un autoarticolato di dimensioni standard da normativa (precedentemente citata) come espresso in **Fig.90**.



Fig. 90. Dimensioni Autoarticolato.

Da tale verifica è emerso che non tutte le svolte sono verificate; in particolare vi sono problemi per la svolta su Via Arigni proveniente da Corso della Repubblica (vedi **Fig.91**).



Fig. 91. Svolta autoarticolato da C.so della Repubblica a Via Arigni.

Al fine di risolvere tali problematiche, le soluzioni proposte risultano essere la rimozione, in prossimità dell'incrocio, di due stalli in Via Arigni Nicola evidenziati in rosso nelle **Fig.91**.

Per una disamina dettagliata delle criticità relative alla valutazione degli ingombri dinamici in svolta dei veicoli commerciali si rimanda all'allegato 2B.