

S.S. 17 "dell'Appennino Abruzzese ad Appulo Sannitico"
Tronco Antrodoco-Navelli
Adeguamento tratto S.Gregorio-S. Pio delle Camere
dal km 45+000 al km 58+000

PROGETTO DEFINITIVO

COD. AQ-01

PROGETTAZIONE:



PROGETTISTA:

Prof. Ing. Andrea Del Grosso
Ordine Ingg. Genova n. 3611

GEOLOGO:

Geol. Roberto Pedone
Ordine Geol. Liguria n. 183

RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE
DISCIPLINE SPECIALISTICHE:

Ing. Alessandro Aliotta
Ordine Ingg. Genova n. 7995A

COORDINATORE DELLA SICUREZZA:

Arch. Giorgio Villa
Ordine Arch. Provincia di Pavia n.645

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. CLAUDIO BUCCI

INQUADRAMENTO GENERALE

Analisi e Studio del Traffico (microsimulazioni)

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG.	ANNO			
DPAQ00001	D	20	TOOEGOOGENRE05_B		
			CODICE ELAB.	TOOEGOOGENRE05	B
C					
B	Revisione a seguito di istruttoria ANAS		Febbraio 2023	RINA	A. BADO A. DEL GROSSO
A	EMISSIONE		Ottobre 2022	RINA	A. BADO A. DEL GROSSO
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO APPROVATO

Sommario

1	PREMESSA	3
2	Costruzione del Modello Matematico per l'Analisi della Viabilità.....	4
2.1	AREA DI STUDIO E ZONIZZAZIONE.....	4
2.2	Costruzione del Modello di Offerta	7
2.3	MATRICE OD ATTUALE	10
2.4	LA PROCEDURA DI ASSEGNAZIONE	11
2.5	CALIBRAZIONE DEL MODELLO	13
2.6	STIMA DELLA DOMANDA DI MOBILITÀ FUTURA	14
3	ANALISI DATI DI TRAFFICO.....	16
4	LA MOBILITÀ NELL'AREA DI STUDIO.....	20
4.1	PROCEDURA DI ASSEGNAZIONE	20
4.2	LO STATO ATTUALE DELLA RETE STRADALE	20
4.3	SCENARI FUTURI	22
4.3.1	<i>Scenario di Non Intervento</i>	<i>22</i>
4.3.2	<i>Scenario di Progetto.....</i>	<i>23</i>
5	STIMA DEL LIVELLO DI SERVIZIO	27
5.1	CALCOLO DEL LOS TWO LANE HIGHWAYS CLASS I.....	27
6	VERIFICA DELLA CAPACITÀ DI UNA ROTATORIA	29

Indice delle Tabelle e delle Figure

FIGURA 2-1. MACRO ZONE ANAS	5
FIGURA 2-2. ZONIZZAZIONE INTERNA DELL'AREA DI STUDIO	5
FIGURA 2-3. ZONIZZAZIONE E CENTROIDI	6
FIGURA 2-4. GRAFO RAPPRESENTATIVO DELLE INFRASTRUTTURE STRADALI.....	7
FIGURA 2-5. RAPPRESENTAZIONE ARCHI REALI (IN VERDE) E ARCHI CONNETTORI (IN GIALLO)	8
FIGURA 2-6. MODELLO DI OFFERTA DELLA RETE ATTUALE	9
FIGURA 2-7. MODELLO DI OFFERTA DELLA RETE FUTURA	10
FIGURA 2-8. LINEE DI DESIDERIO – MATRICE ATTUALE.....	11
FIGURA 2-9. CONFRONTO FLUSSI MISURATI E SIMULATI	13
FIGURA 2-10. PROIEZIONE AL 2036 DEI DATI ANAS (STORICO DAL 2016 AL 2019) SUI FLUSSI SULLE STRADE STATALI DELL'ABRUZZO (VEICOLI LEGGERI).....	15
FIGURA 2-11. PROIEZIONE AL 2036 DEI DATI ANAS (STORICO DAL 2016 AL 2019) SUI FLUSSI SULLE STRADE STATALI DELL'ABRUZZO (MEZZI PESANTI)	15
FIGURA 3-1. POSTAZIONI RILIEVO FLUSSI DI TRAFFICO	16
FIGURA 3-2. TGM E DISTRIBUZIONE SETTIMANALE	16
FIGURA 3-3. DISTRIBUZIONE DEI FLUSSI NELLA GIORNATA	17
FIGURA 3-4. DISTRIBUZIONE DEI FLUSSI NELLA GIORNATA PER LE DUE DIREZIONI (SEZ. 3478)	17
FIGURA 3-5. DISTRIBUZIONE DEI FLUSSI NELLA GIORNATA PER LE DUE DIREZIONI (SEZ. 284)	18
FIGURA 3-6. DISTRIBUZIONE DEI FLUSSI NELLA GIORNATA PER LE DUE DIREZIONI (SEZ. 948)	18
FIGURA 3-7. ANDAMENTO DEI FLUSSI ORARI DEI VEICOLI PESANTI.	19
FIGURA 3-8. PERCENTUALE VEICOLI PESANTI RISPETTO AL FLUSSO DEI VEICOLI LEGGERI.	19
FIGURA 4-1. MAPPA DI ASSEGNAZIONE DELLA RETE DI TRASPORTO STRADALE NELLA SIMULAZIONE DELLO SCENARIO ATTUALE - VEICOLI LEGGERI	21
FIGURA 4-2. MAPPA DI ASSEGNAZIONE DELLA RETE DI TRASPORTO STRADALE NELLA SIMULAZIONE DELLO SCENARIO ATTUALE – MEZZI PESANTI	21
FIGURA 4-3. MAPPA DI ASSEGNAZIONE DELLA RETE DI TRASPORTO STRADALE NELLA SIMULAZIONE DELLO SCENARIO DI PROGETTO 2036 – VEICOLI LEGGERI.....	24
FIGURA 4-4. MAPPA DI ASSEGNAZIONE DELLA RETE DI TRASPORTO STRADALE NELLA SIMULAZIONE DELLO SCENARIO DI PROGETTO 2036 – MEZZI PESANTI	24
FIGURA 4-5: MAPPA DELLE DIFFERENZE DI ASSEGNAZIONE DELLA RETE DI TRASPORTO STRADALE SCENARIO DI PROGETTO 2036 -SCENARIO DI RIFERIMENTO 2036 (VEICOLI LEGGERI)	26
FIGURA 6-1. INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	29
FIGURA 6-2. GRANDEZZE GEOMETRICHE DELLA ROTATORIA	30

1 PREMESSA

Il presente studio si pone come obiettivo quello di stimare il traffico veicolare che percorrerà la SS17 "dell'Appennino Abruzzese ed Appulo Sannitico" dopo l'ammodernamento previsto da ANAS per il tratto compreso dall'innesto con SS 261 "della Valle Subequana" progressiva km 45+000 alla progressiva km 58+000. Per tale tratto è previsto l'adeguamento della sezione stradale e delle caratteristiche planometriche del tracciato al tipo C1 e l'eliminazione delle intersezioni con un sistema di complanari e roatorie.

Lo studio di traffico si basa sui risultati forniti dal "Modello Trasportistico Stradale DSS" di ANAS a livello nazionale opportunamente adattato ad una scala territoriale locale, più dettagliata e funzionale per la valutazione dei risultati che esso fornisce. L'adattamento all'Area di Studio che gravita intorno alla tratta da riqualificare della SS100 è consistito in un adeguamento della zonizzazione trasportistica mantenendo invariato il grafo stradale.

Nel corso di tale analisi, tutte le fasi relative alla costruzione del modello matematico, alla simulazione macroscopica della rete nonché all'elaborazione dei risultati, sono state eseguite mediante l'utilizzo del software Transcad (versione 7.0)¹, un programma che integra pienamente il sistema di informazione georeferenziata (GIS) con applicazioni logistiche e la pianificazione di modelli di traffico.

Inoltre, in base alle indicazioni dell'HCM (Highway Capacity Manual), è stato determinato il livello di servizio dello scenario futuro.

Lo studio, infine, è stato completato con la verifica di una delle roatorie previste dal nuovo progetto ed in particolare quella presso il comune di Castelnuovo che risulta tra le più caricate e di cui il modello di macro-simulazione ci fornisce maggiori informazioni ovvero avviamo i flussi su tutti i rami della rotatoria.

¹ <http://www.caliper.com/tcovu.htm>

2 COSTRUZIONE DEL MODELLO MATEMATICO PER L'ANALISI DELLA VIABILITÀ

L'analisi di un sistema di trasporto richiede l'implementazione di un modello matematico di simulazione, il quale rappresenta un elemento indispensabile per la stima delle condizioni di circolazione attuali e future.

In particolare, la costruzione di un modello di simulazione richiede l'implementazione delle seguenti fasi (Cascetta, 2009):

- Individuazione dell'area di studio;
- Suddivisione in zone dell'area di studio (procedure di zonizzazione) ed estrapolazione delle infrastrutture rilevanti;
- Costruzione del modello di offerta;
- Stima della domanda di trasporto tramite l'uso delle indagini e/o dei modelli di domanda;
- Simulazione dell'interazione domanda/offerta (procedura di assegnazione).

I risultati relativi a ciascuna fase sono riportati in dettaglio nei paragrafi seguenti.

2.1 AREA DI STUDIO E ZONIZZAZIONE

La prima fase necessaria alla stima delle condizioni di circolazione attuali e future nei pressi della nuova infrastruttura è costituita dalla definizione dell'area di studio, vale a dire la zona all'interno della quale si ritiene si esauriscono la maggior parte degli effetti degli interventi progettati.

L'estensione dell'area di studio è strettamente legata agli effetti prodotti dall'intervento progettato.

Uno spostamento che interessa l'area di studio può avere, in generale, un qualunque punto di origine ed un qualunque punto di destinazione. I possibili punti di origine e destinazione sono, pertanto, teoricamente infiniti. Ovviamente, per poter descrivere il fenomeno della mobilità attraverso un modello matematico quantitativo, è necessario (per esigenze di carattere pratico/modellistico) ricondurre ad un numero finito le origini e le destinazioni degli spostamenti. Ciò si ottiene attraverso la procedura di zonizzazione.

La zonizzazione consiste nel discretizzare l'area di studio in zone di traffico (di numero finito), in modo che sia possibile stimare il numero di spostamenti che si hanno tra le varie zone di origine generica "o" e di destinazione generica "d". Tale informazione è organizzata in matrici origine/destinazione (di seguito matrici OD).

Dal punto di vista del modello topologico, ad ogni zona si associa un punto (detto nodo centroide) in cui si ipotizza siano concentrate le origini e le destinazioni di tutti gli spostamenti. In questo modo si commette una approssimazione, che sarà tanto più piccola quanto maggiore è il numero delle zone. Il centroide è poi connesso al grafo che rappresenta la rete stradale mediante un arco fittizio, detto connettore. Gli archi connettori descrivono pertanto gli spostamenti che avvengono per raggiungere la rete di base, a partire dal nodo centroide.

La zonizzazione usata è stata ottenuta discretizzando una zonizzazione usata da ANAS in un modello nazionale (Figura 2-1). La zonizzazione ANAS prevedeva cinque macro-zone, che sono state trasformate in 14 zone (usando Figura 2-2) la zonizzazione ISTAT dei comuni.

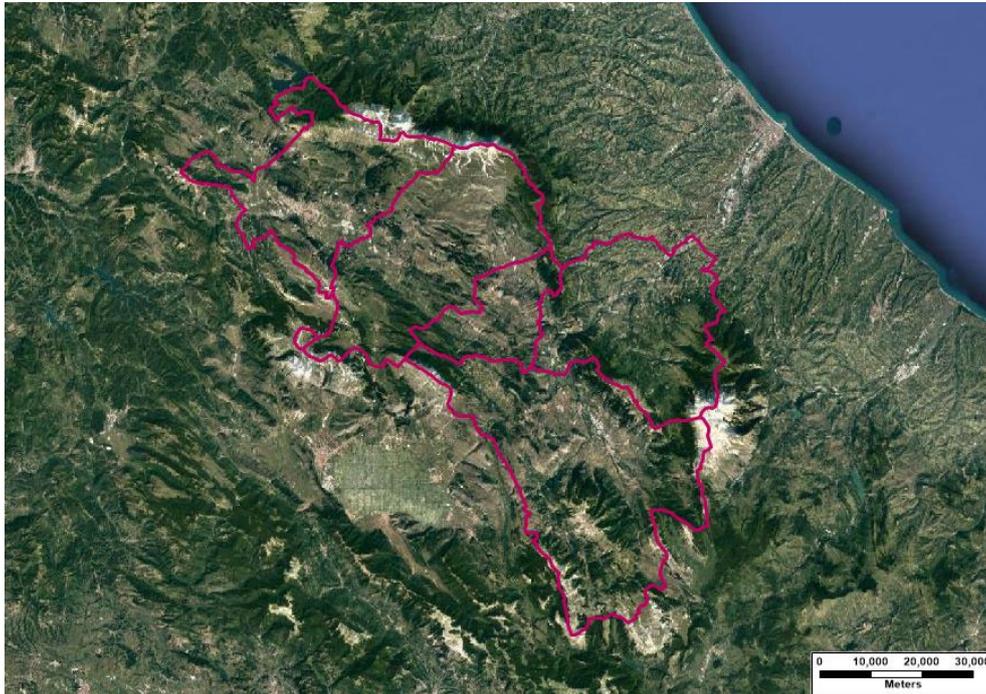


Figura 2-1. Macro Zone ANAS

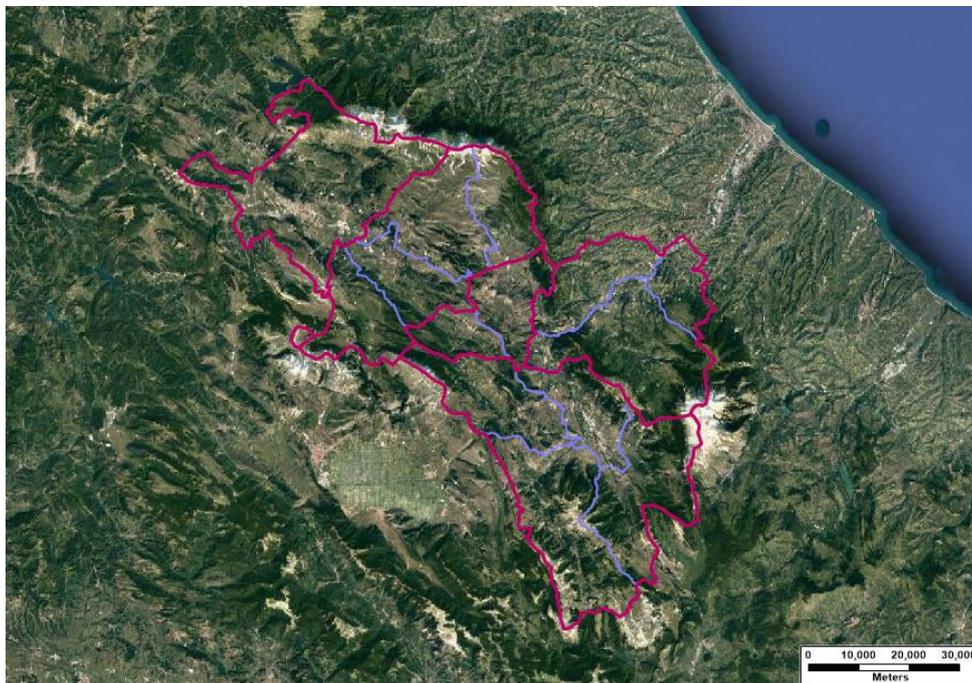


Figura 2-2. Zonizzazione interna dell'area di studio

In Figura 2-3 è raffigurato la zonizzazione con l'indicazione dei centroidi sia interni che esterni.

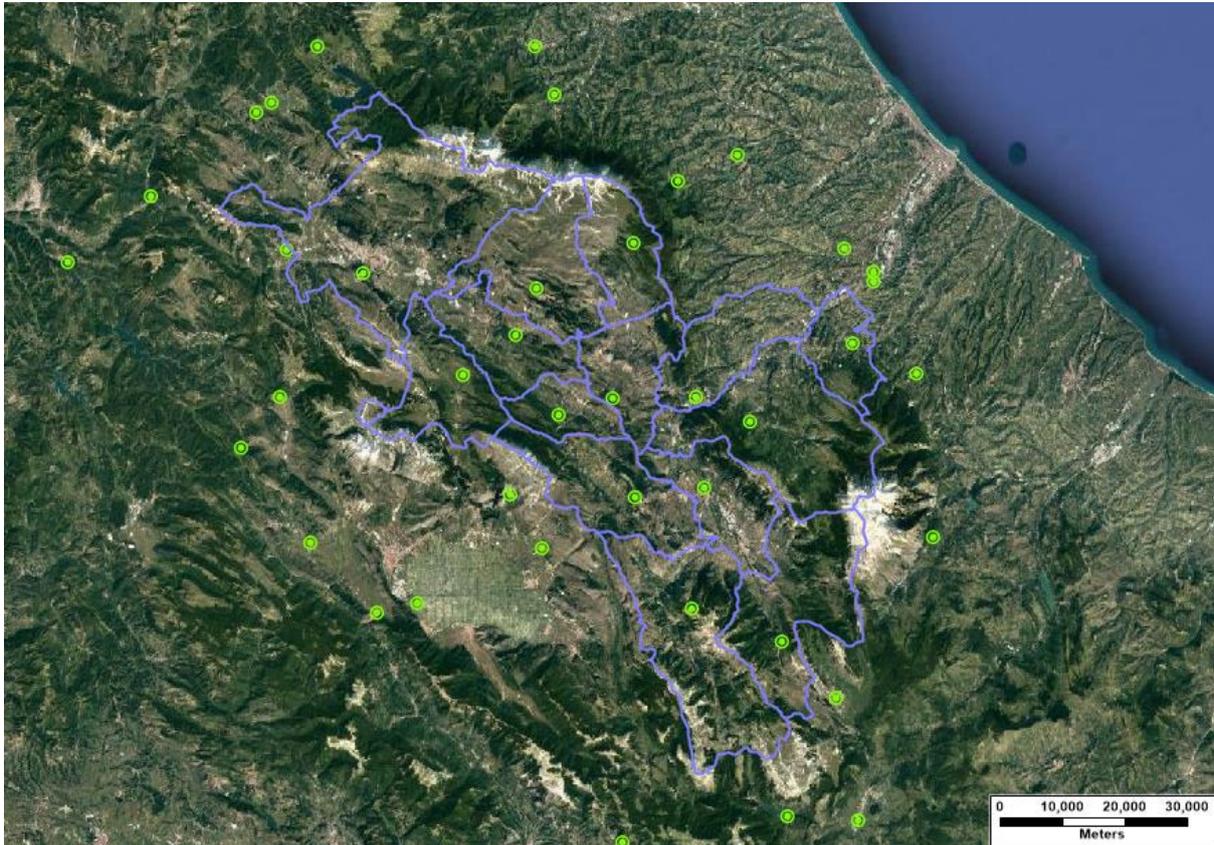


Figura 2-3. Zonizzazione e Centroidi

Terminata la fase di zonizzazione, è necessario procedere successivamente con la individuazione della rete di trasporto caratteristica dell'area in esame nota come attività di estrapolazione delle infrastrutture significative per le finalità dell'analisi.

Vale la pena sottolineare che, tale procedura deve essere concorde alla zonizzazione dell'area di studio.

Nel caso studio analizzato sono state considerate le infrastrutture stradali principali e secondarie presenti sul modello nazionale di ANAS. Le infrastrutture presenti sul grafo ANAS sono state ritenute sufficienti per l'obiettivo dello studio.

Ciò ha permesso di ottenere il modello topologico raffigurato in Figura 2-4 dove in magenta si è evidenziata la SS17.

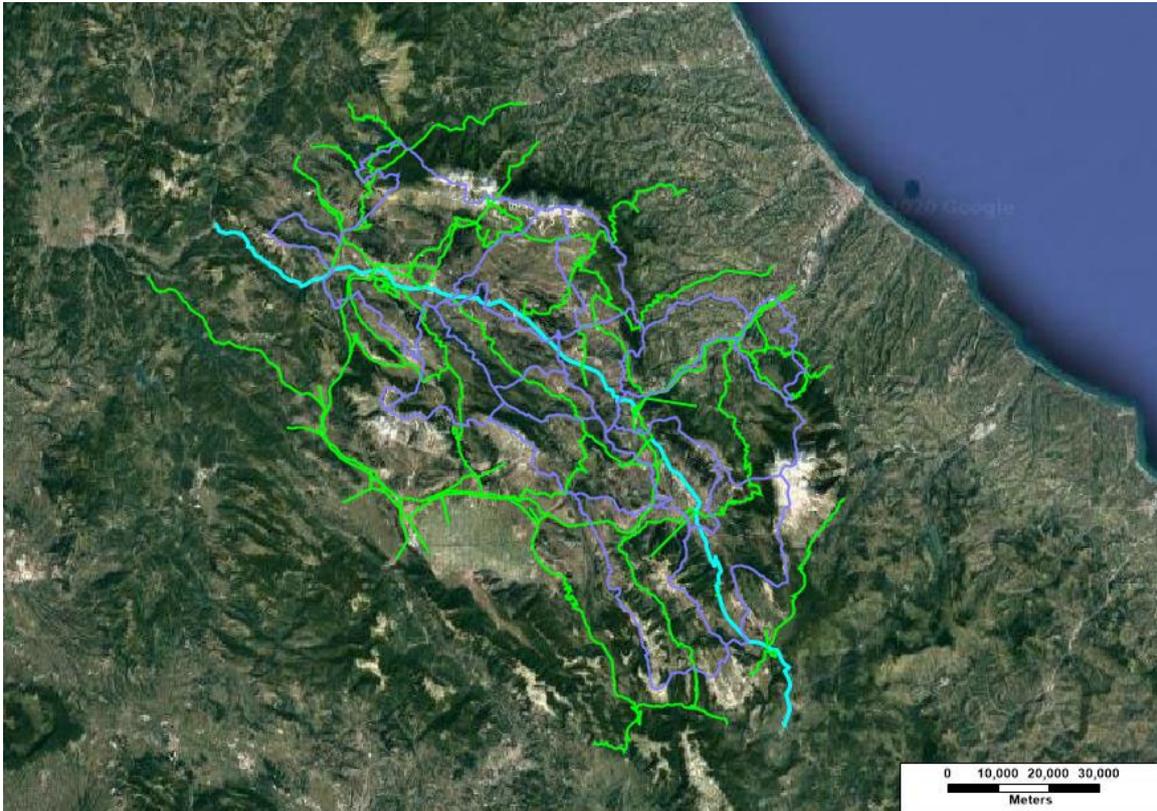


Figura 2-4. Grafo rappresentativo delle infrastrutture stradali

2.2 COSTRUZIONE DEL MODELLO DI OFFERTA

Come precedentemente illustrato, il modello topologico di offerta di trasporto è costituito dal grafo, rappresentativo delle infrastrutture e dei servizi di trasporto nell'area di studio. Esso è un'entità matematica costituita da due insiemi, quello degli archi e quello dei vertici o nodi. I primi descrivono fasi omogenee dello spostamento; ciò significa che le caratteristiche fisiche e funzionali dell'arco considerato (ad esempio la velocità media) rimangono inalterate durante lo sviluppo dell'arco stesso.

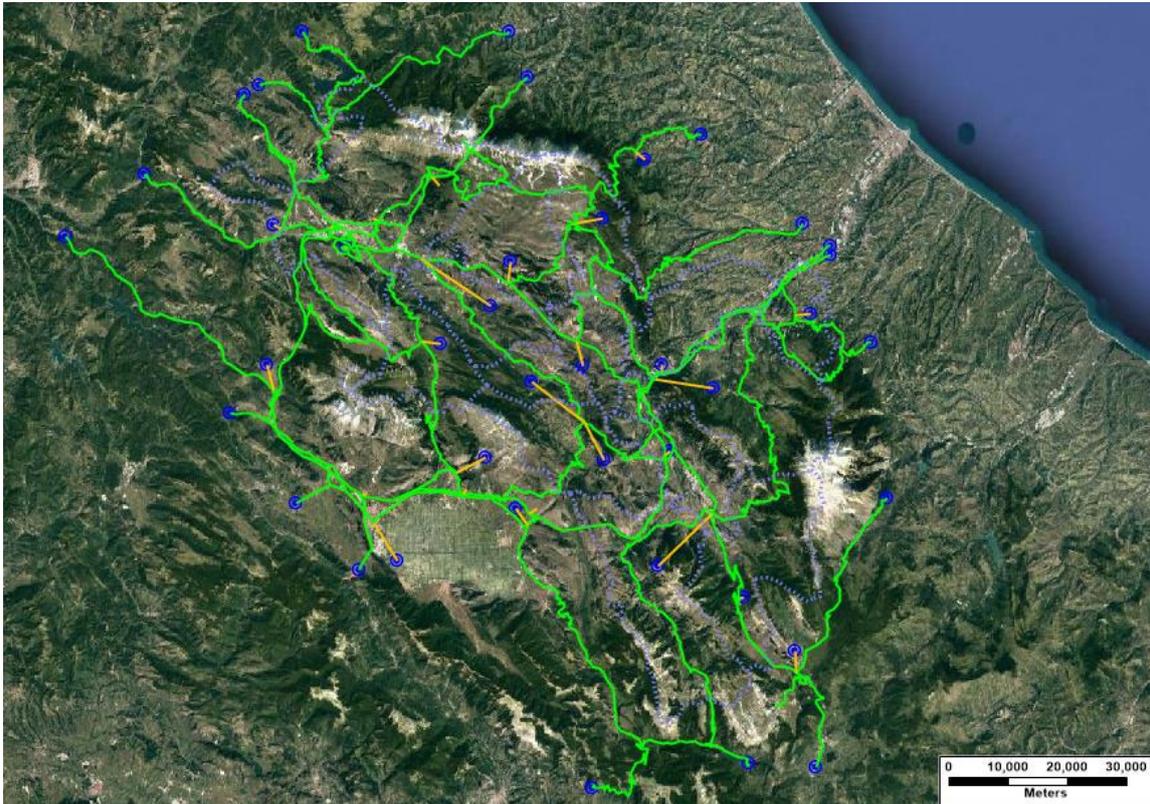


Figura 2-5. Rappresentazione archi reali (in verde) e archi connettori (in giallo)

I vertici o nodi, invece, sono punti di coordinate spaziale e/o temporali in cui vengono separate le diverse fasi del viaggio. Oltre ai già citati centroidi interni ed esterni, all'interno di un grafo si riconoscono:

- Nodi reali: generalmente rappresentano intersezioni o punti di confluenza della rete;
- Nodi fittizi: descrivono i punti in cui avvengono gli scambi tra i centroidi interni e la rete reale.

In maniera analoga gli archi possono essere classificati come archi reali o archi fittizi a seconda che rappresentino elementi fisici della rete (ad esempio un ramo stradale o una manovra di svolta) oppure elementi virtuali quali gli archi connettori che rappresentano il collegamento tra i nodi centroide e la rete reale.

In Figura 2-5, i rami stradali precedentemente elencati sono raffigurati secondo la rappresentazione topologica descritta. In particolare, gli archi in giallo rappresentano gli archi connettori o fittizi mentre in verde sono evidenziati gli archi reali.

Al fine della costruzione del modello di offerta è necessario a questo punto trasformare il semplice grafo ottenuto in una rete, all'interno della quale ad ogni singolo arco è associato un costo generalizzato. Quest'ultimo rappresenta la difficoltà o impedenza (espressa ad esempio come tempo di attesa o tempo di percorrenza) che un generico utente incontra nell'effettuare una determinata fase dello spostamento. È da rilevare che le funzioni di costo utilizzate in ambito extraurbano devono variare il loro valore in funzione del numero di utenti che contemporaneamente decide di utilizzare quell'elemento della rete. In tale circostanza, dunque, il tempo di percorrenza su di un ramo stradale dipende dal numero di utenti che contemporaneamente decide di utilizzare il ramo (maggiore è il flusso, tanto maggiore saranno i tempi di percorrenza).

La costruzione del modello di offerta della rete stradale oggetto di studio è stata eseguita associando a ciascun arco le seguenti informazioni:

- Lunghezza dell'arco (in km), reale per gli archi di corsa, pari al raggio medio di zona per gli archi connettori;
- Larghezza dell'arco (in metri) per senso di marcia. Per gli archi connettori, che si considerano non congestionati, la larghezza è imposta molto grande (infinita);

- Velocità a flusso nullo posta per semplicità pari alla velocità massima consentita su ciascun ramo stradale;
- Tempo di percorrenza a flusso nullo calcolato nell'ipotesi di deflusso stabile in funzione della lunghezza dell'arco L_i e della velocità a flusso nullo V_i come:

$$t_i^r = L_i / V_i \quad |$$

- Capacità in veicoli/giorno, differenziata per senso di marcia.

Pertanto, è possibile definire i seguenti elementi:

- Nodi
- Nodi centroidi (Origine/Destinazione degli spostamenti)
- Archi:
- Archi fittizi.

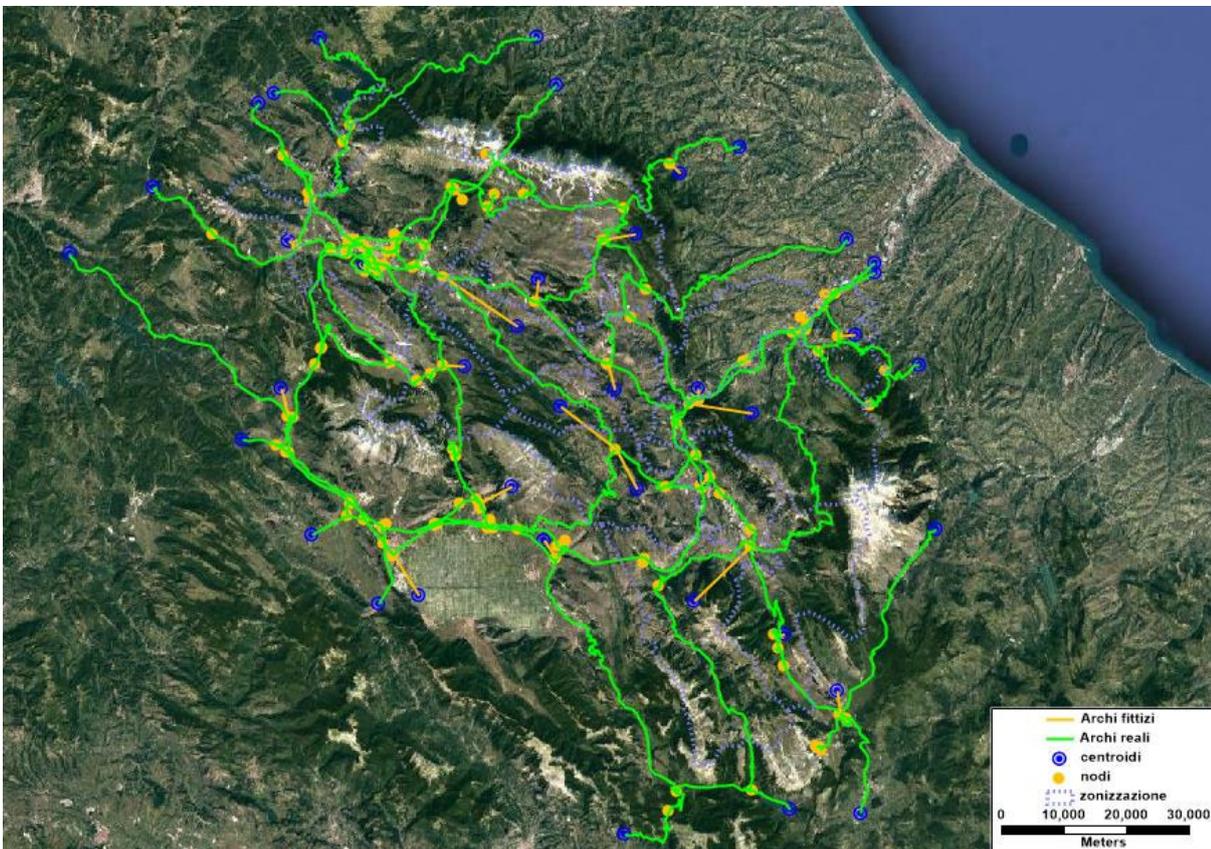


Figura 2-6. Modello di offerta della rete attuale

Lo scenario futuro prevede l'adeguamento funzionale di circa 13 km di strada. La sezione stradale di progetto prevede una carreggiata da 10,50 metri con corsie da 3,50 e la presenza di una corsia di arrampicamento per facilitare il passaggio dei mezzi pesanti.

Nella Figura 2-7 è evidenziato il tratto della rete che verrà adeguato.

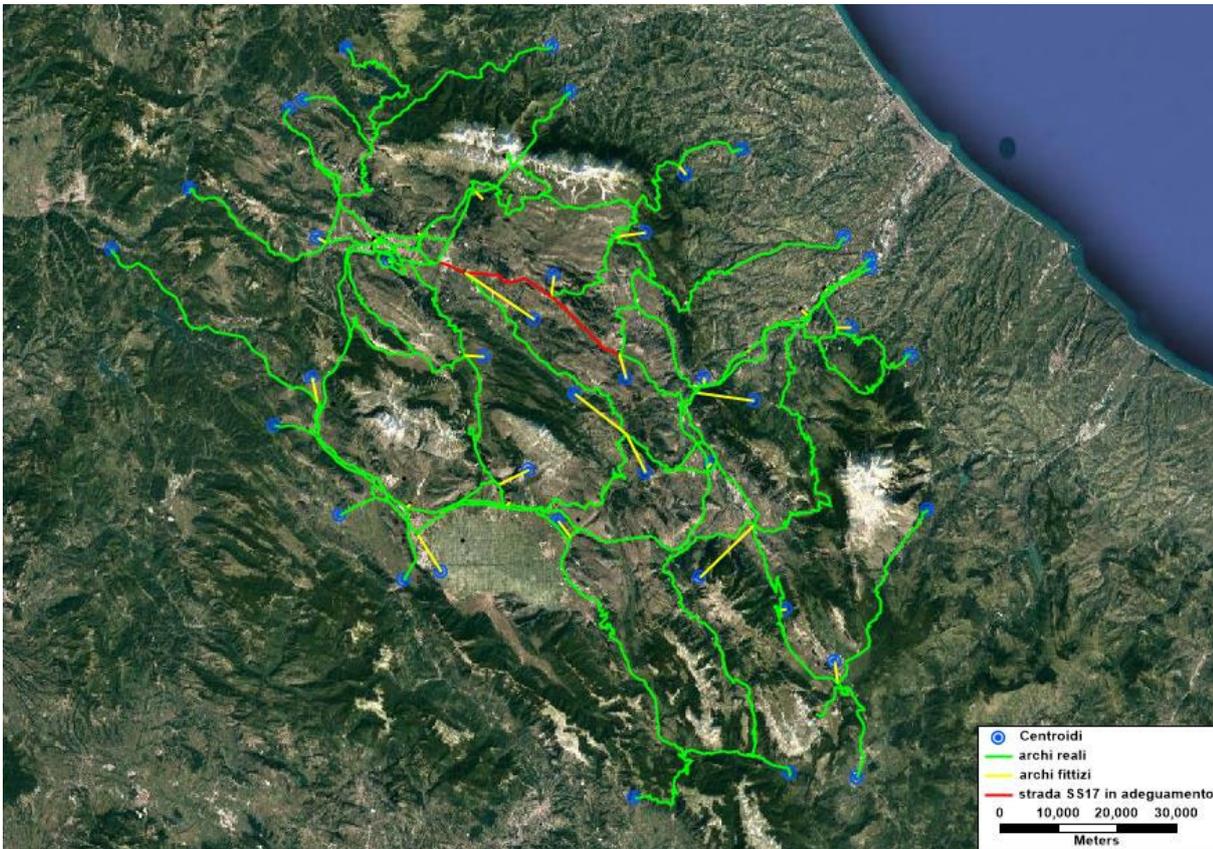


Figura 2-7. Modello di offerta della rete futura

2.3 MATRICE OD ATTUALE

Per il calcolo della matrice OD si è partiti da una matrice estratta dal Modello Trasportistico Stradale a livello Nazionale di ANAS formata da 31 righe e 31 colonne.

La matrice ANAS è stata integrata con i dati della matrice del pendolarismo ISTAT relativa ai comuni selezionati per la zonizzazione. Per considerare gli spostamenti sistematici giornalieri è stata considerata la matrice OD del pendolarismo della mattina (spostamenti Casa-Lavoro) e la sua trasposta per considerare gli spostamenti (Lavoro-Casa). Il risultato è, quindi, una matrice 40x40 per i veicoli leggeri.

Per i mezzi pesanti si è utilizzata la matrice ANAS discretizzata inserendo i nuovi centroidi e ripetendo il numero di spostamenti della matrice ANAS in base al numero delle imprese presenti nei comuni considerati.

Una volta ottenute le matrici relative ai veicoli leggeri ed ai mezzi pesanti, sono state considerati i rilievi di traffico su alcune sezioni di stradali forniti da ANAS per migliorare la stima delle matrici iniziali.

Tra le procedure per la stima della matrice OD tramite conteggi di traffico presenti in Transad si è scelto di utilizzare il metodo proposto da Nielsen (Nielsen, 1993). Tale metodo ha il vantaggio di trattare i conteggi come variabili stocastiche e di lavorare con ogni metodo di assegnazione di traffico (Equilibrium, Stochastic User Equilibrium, System Optimization Assignment, Capacity Restraint, Incremental Assignment, All-or-Nothing Assignment). Nel caso specifico, il metodo di assegnazione scelto è lo Stochastic User Equilibrium. Ciò ha permesso di assumere che la percezione dei costi da parte degli utenti in un dato percorso, non è identica e che i viaggi tra ogni coppia OD sono divisi tra i percorsi, con il percorso più economico che attira la maggior parte dei viaggi. In generale, tale tipo di assegnazione produce dei risultati più realistici rispetto ad altre metodologie deterministiche.

Il metodo di Nielsen è un processo iterativo (o bi-level) che va in avanti e indietro tra uno stadio di assegnazione di traffico e uno stadio della matrice stimata.

Il successo di questo metodo è basato sull'uso di un realistico modello di assegnazione del traffico. TransCAD compie questo tipo di iterazione: i totali delle righe e delle colonne della matrice OD dell'iterazione corrente vengono divisi per i totali delle righe e colonne della matrice della precedente iterazione; questo rapporto è poi moltiplicato per gli spostamenti della matrice della precedente iterazione per estrarre i valori relativi a la successiva matrice OD da stimare.

Sulla base di tale metodo, le matrici dei veicoli leggeri e di mezzi pesanti sono state calibrate e assegnate alla rete, come descritto in dettaglio nei capitoli seguenti.

Nella Figura 2-8 vengono rappresentate le linee di desiderio della matrice OD attuale.

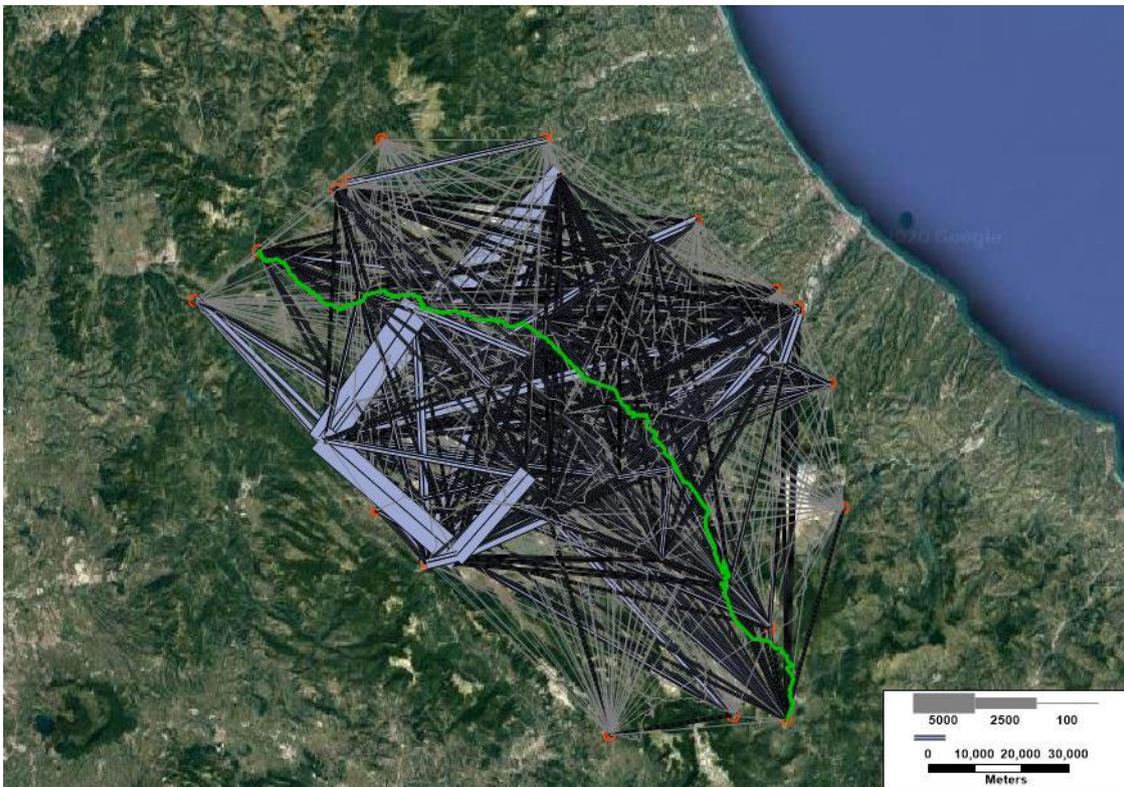


Figura 2-8. Linee di Desiderio – Matrice attuale

2.4 LA PROCEDURA DI ASSEGNAZIONE

La procedura di assegnazione utilizzata per la calibrazione del modello, e per le analisi dei flussi di traffico della rete stradale analizzata nel modello, è di tipo MMA-Assignment, ovvero un'assegnazione multimodale e multiclasse che consente di assegnare simultaneamente più matrici da una rete tenendo quindi in considerazione più tipologie di utenti o veicoli.

I coefficienti di equivalenza utilizzati nell'assegnazione multimodale sono i seguenti:

- 1.0 veicoli equivalenti per i veicoli leggeri (passeggeri);
- 2.5 veicoli equivalenti per i veicoli pesanti (merci).

La tecnica di assegnazione utilizzata è all'Equilibrio Stocastico dell'Utente (SUE), in modo da tenere conto dei vincoli di capacità degli archi appartenenti alla rete funzione delle caratteristiche funzionali e geometriche degli stessi.

La procedura che effettua l'assegnazione alla rete stradale della domanda merci e passeggeri determina i valori delle seguenti variabili:

- il flusso di traffico (numero dei veicoli) prodotti sulla rete stradale dalla domanda di mobilità;
- il livello di servizio della rete espresso dalle caratteristiche prestazionali degli archi (tempi, velocità, costi, criticità = rapporto flussi/capacità).

Il caricamento della rete viene simulato come attribuzione di quote omogenee di domanda agli archi del grafo stradale, in base ai percorsi utilizzati per recarsi dalle origini alle destinazioni degli spostamenti.

La simulazione della scelta dei percorsi consiste, secondo i criteri della teoria dell'utilità casuale, nella minimizzazione del costo generalizzato del trasporto percepito dal viaggiatore nell'effettuare lo spostamento a fronte dei limiti relativi sia alla sua percezione dello stato della rete stradale che alla conoscenza e discretizzazione del suo comportamento.

L'assegnazione di ogni quota di domanda è riconducibile ad un caricamento stocastico della rete fra le possibili scelte dell'autista ed i flussi di traffico generati nel corso della medesima assegnazione.

Le caratteristiche funzionali della rete considerate nel modello di assegnazione sono le seguenti:

- lunghezza (km) del singolo arco;
- tempo di percorrenza a flusso nullo dell'arco;
- capacità di deflusso dell'arco.

I parametri utilizzati per il calcolo del costo generalizzato del trasporto sono i seguenti:

- costo chilometrico del trasporto (legato ad ogni singolo arco della rete e funzione dell'estensione chilometrica dello stesso);
- valore monetario del tempo (VOT);
- il costo del pedaggio (ove esistente).

Il tempo di percorrenza dell'arco, che determina il Valore Monetario del Tempo VOT, è funzione sia delle caratteristiche geometriche e funzionali dell'infrastruttura (velocità a flusso libero, capacità della strada) sia del flusso che vi transita in quanto al crescere dei flussi cresce anche il condizionamento tra i veicoli e può essere determinato attraverso funzioni sperimentali.

Ad ogni arco corrisponde una legge di deflusso, nel modello è utilizzata una funzione sperimentale del tipo BPR, la cui espressione generale è:

$$t^{BPR}(q) = t_0 \left[1 + \alpha \left(\frac{q}{n \cdot C} \right)^\beta \right]$$

in cui il tempo di percorrenza di un tratto unitario dell'arco ad un dato livello di flusso è espresso come funzione del tempo di percorrenza dell'arco a flusso nullo t_0 per un fattore maggiore dell'unità che dipende dal flusso q , dalla capacità $n \cdot C$ dell'arco stesso (in cui n rappresenta il numero di corsie e C la capacità di una corsia) e da due parametri α e β che derivano da calibrazione.

Il valore del tempo di viaggio (Value Of Time, VOT) è considerato dalla letteratura di settore funzione di molteplici fattori quali il salario, il tipo di attività fatta nel tempo risparmiato, l'utilità associata a quest'attività e a quella associata al tempo di viaggio. Tali fattori, oltre a variare per ogni individuo, variano anche in funzione del tipo di spostamento, della motivazione dello spostamento e della fase del viaggio.

Ai fini di una corretta rappresentazione modellistica è stato stimato il VOT per classe di utente, e quindi per i veicoli leggeri e per i veicoli pesanti.

Il valore del VOT utilizzato per i veicoli leggeri e per i mezzi pesanti è lo stesso usato da ANAS in altri studi e che è stato determinato a partire dai valori proposti in letteratura.

Nel modello di assegnazione i valori del tempo applicati sono pari a 0,25 €/minuto (15,00€/ora) per i veicoli leggeri e a 0,50€/minuto (30,00€/ora) per i veicoli pesanti.

Il valore del costo chilometrico utilizzato per i veicoli leggeri è pari a 0,19 euro/km mentre per i mezzi pesanti è pari a 0,79 euro/km. Tali valori sono quelli utilizzati nei modelli da ANAS.

2.5 CALIBRAZIONE DEL MODELLO

Le matrici OD stimate sono state assegnate alla rete di trasporto del modello e si è proceduto al confronto fra i flussi misurati e quelli simulati.

La differenza tra i flussi simulati e quelli misurati ha prodotto uno scarto quadratico medio R2 pari a 0,9728 per la matrice dei veicoli leggeri e 0,9992 per la matrice dei veicoli pesanti.

In Tabella 2-1 è riportato il confronto tra flussi assegnati con il modello di simulazione ed i flussi misurati sulle sezioni di conteggio ANAS. I dati tabellari sono rappresentati in forma di grafico di dispersione nella seguente Figura 2-9.

Tabella 2-1. Confronto flussi misurati e simulati

Strada	Flussi Misurati		Flussi Simulati	
	Leggeri	Pesanti	Leggeri	Pesanti
SS17	4179	442	4171	442
SS5	562	18	351	14
SS17	4855	240	5583	244
SS17	2184	118	2102	121
SS17	2040	125	2102	121
SS17	7645	264	7812	263
SS153	1805	177	1382	170

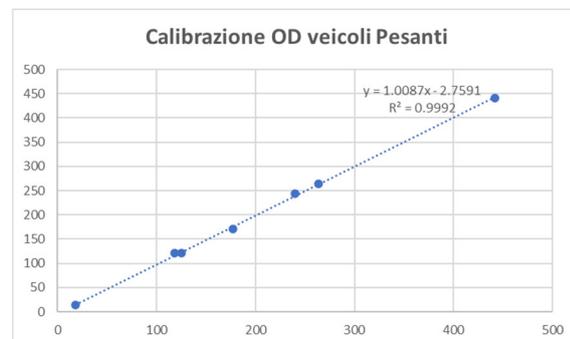
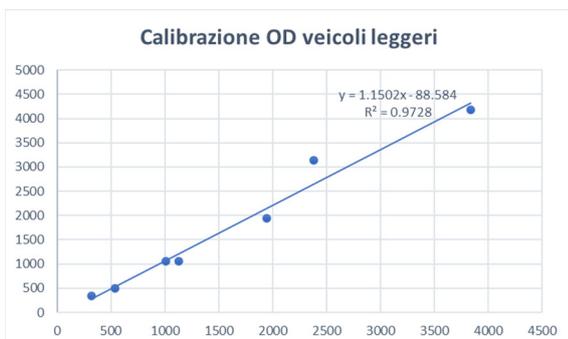


Figura 2-9. Confronto flussi misurati e simulati

2.6 STIMA DELLA DOMANDA DI MOBILITÀ FUTURA

La determinazione della domanda futura, relativamente ai mezzi leggeri ed ai mezzi pesanti, ha preso a riferimento le matrici OD giornaliere precedentemente calibrate.

Le espansioni sono state effettuate utilizzando i seguenti i dati ANAS relativi ai flussi sulle strade statali dell'Abruzzo negli anni 2016, 2017, 2018 e 2019. I dati del 2020 non sono stati considerati perché presentano una notevole riduzione causata dal periodo di lockdown vissuto in Italia.

In Tabella 2-2 sono riportate le stazioni di rilievo considerate con il flusso dei veicoli pesanti e leggeri per gli anni analizzati.

Tabella 2-2. Flussi medi sulle strade statali abruzzesi

Postazione	Strada	Km	Comune	Pr	2016		2017		2018		2019		2020	
					Leggeri	Pesanti								
920051	SS150	18.564	Canzano	TE	9792	377	9876	391	10,136	440	10,056	444	8,141	427
962	SS158	4.835	Alfedena	AQ	123	0			136	0	121	0	2,084	208
2105	SS16	398.753	Alba Adriatica	TE	17,617	567	18,026	585	18,267	616	17,944	640	14,061	601
2123	SS17	15.615	Scoppito	AQ	2,056	123	2,082	125	2,040	118	2,129	120	1,542	102
284	SS17	60.604	San Pio delle Camere	AQ	4,305	247	4,248	231						
286	SS17	103.925	Pettorano sul Gizio	AQ	4,303	378								
3478	SS17	52.707	Barisciano	AQ	6,851	289	6,857	271					5,151	254
920049	SS5QUATER	15.759	Sante Marie	AQ	2743	51	2,597	57	2,792	82	2,620	76		
920053	SS690	8.319	Capistrello	AQ	12888	995			13,578	1,016	13,487	1,058	10,223	1,015
2108	SS80	93.044	Mosciano Sant'Angelo	TE	9,793	339	9,948	334					7,697	256
920050	SS80RACC	2.282	Teramo	TE	29805	1527	27,529	1,961						
2110	SS81	76.439	Montefino	TE	361	9	351	13					267	7
615	SS81	27.303	Campoli	TE	3,644	121								
616	SS81	41.892	Teramo	TE	469	21	384	23						

Nella Figura 2-10 è riportata la proiezione al 2026 (anno in cui si ipotizza l'entrata in esercizio della nuova strada) e al 2036 (dopo 10 anni) dei flussi sulle strade statali dell'Abruzzo. Le proiezioni sono sia logaritmico, sia lineare che esponenziale.

La crescita "lineare" si ritiene che possa essere sufficientemente cautelativa. Quindi il coefficiente di crescita da utilizzare sarà pari a 1,10 per l'orizzonte temporale del 2026 e 1,20 per l'orizzonte temporale del 2036.

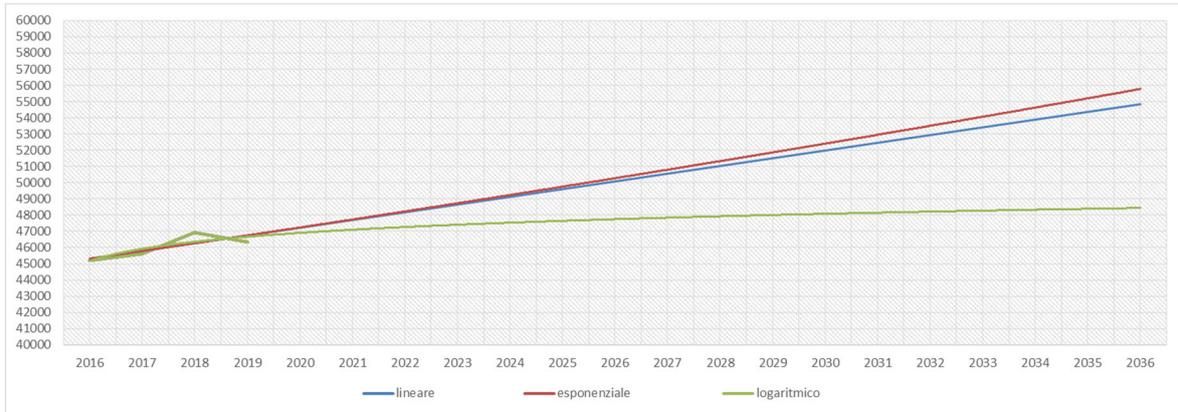


Figura 2-10. Proiezione al 2036 dei dati ANAS (storico dal 2016 al 2019) sui flussi sulle strade statali dell'Abruzzo (veicoli Leggeri)

Lo stesso ragionamento è stato ripetuto per i mezzi pesanti.

Nella Figura 2-11 è riportata la proiezione al 2026 e al 2036 dei mezzi pesanti.

In questo caso si ritiene che, prudenzialmente, utilizzare la linea di tendenza logaritmica. I coefficienti utilizzati sono: 1,15 al 2026 e 1,19 al 2036.

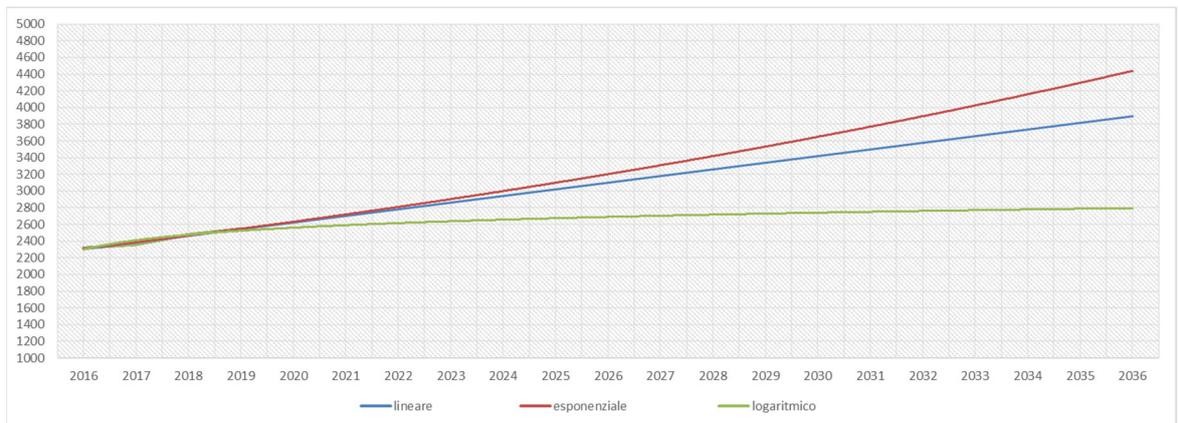


Figura 2-11. Proiezione al 2036 dei dati ANAS (storico dal 2016 al 2019) sui flussi sulle strade statali dell'Abruzzo (mezzi pesanti)

3 ANALISI DATI DI TRAFFICO

In questo capitolo vengono analizzati nel dettaglio i dati di traffico rilevati in alcune sezioni della rete stradale dell'area di studio ed in particolare quelle disponibili sulla SS17 e sulla SS153.

Nella figura seguente è riportata la localizzazione delle postazioni di rilievo analizzate.

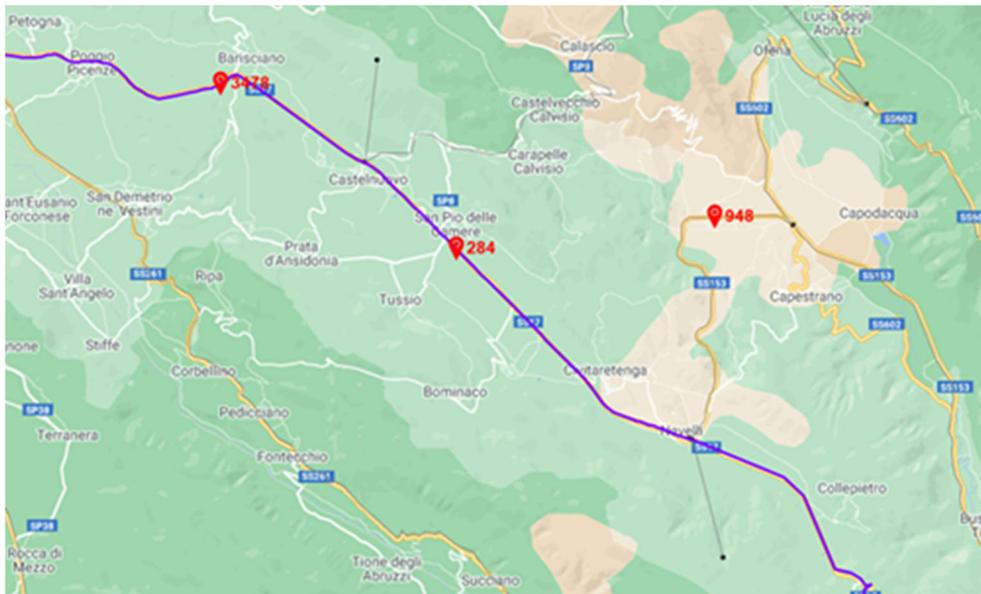


Figura 3-1. Postazioni rilievo flussi di traffico

Nella Figura 3-2 è riportato il valore del TGM nelle tre sezioni di rilievo e la sua distribuzione nei diversi giorni della settimana (anno di riferimento 2017). Dal grafico si nota che dal lunedì al venerdì (giorni feriali) il TGM è praticamente costante in tutte le sezioni di rilievo.

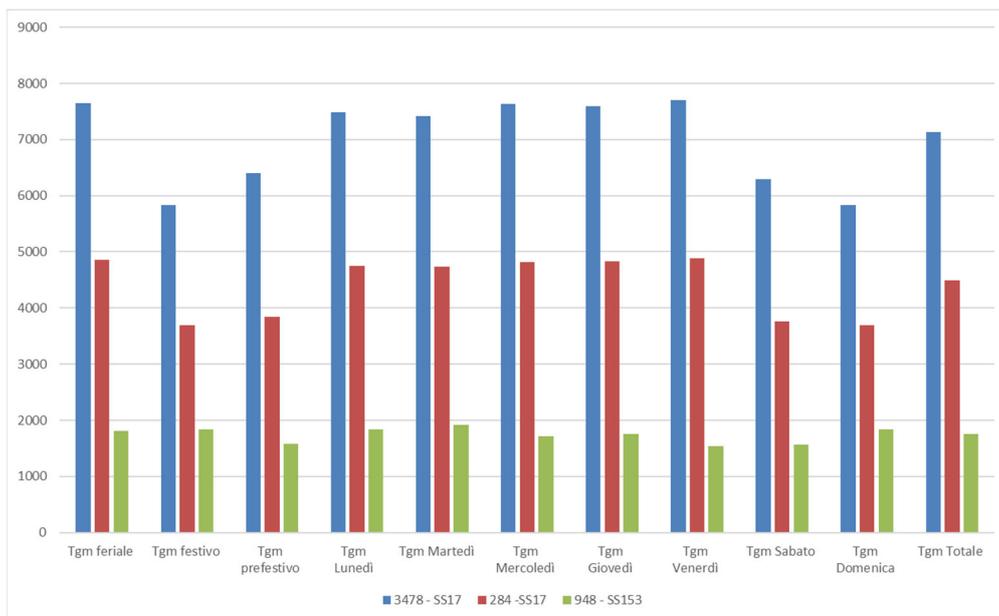


Figura 3-2. TGM e distribuzione settimanale

L'andamento dei flussi totali (ascendente e discendente) nelle 24 ore è concentrato soprattutto tra le 7 e le 20 e presenta due picchi tra le 8 e le 9 del mattino e tra le 17 e le 18 del pomeriggio (Figura 3-3).

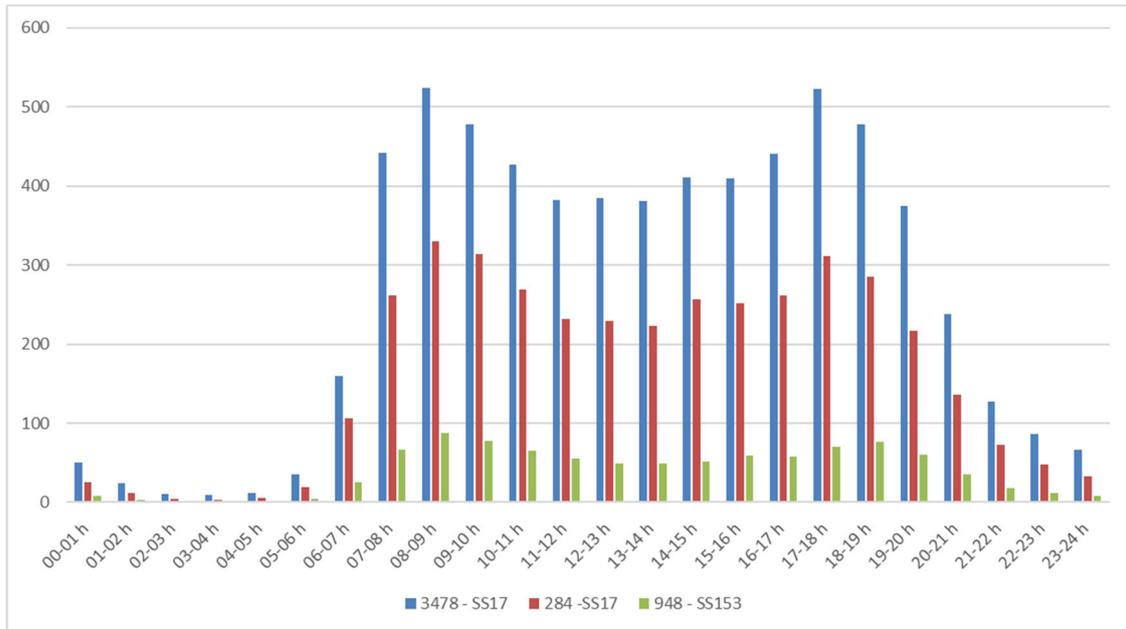


Figura 3-3. Distribuzione dei flussi nella giornata

Analizzando separatamente i flussi ascendenti e discendenti nelle tre sezioni di rilievo si nota che i flussi sono simmetrici e che il picchio del mattino in una direzione lo si ritrova nel pomeriggio in direzione contraria (Figura 3-4, Figura 3-5, Figura 3-6).

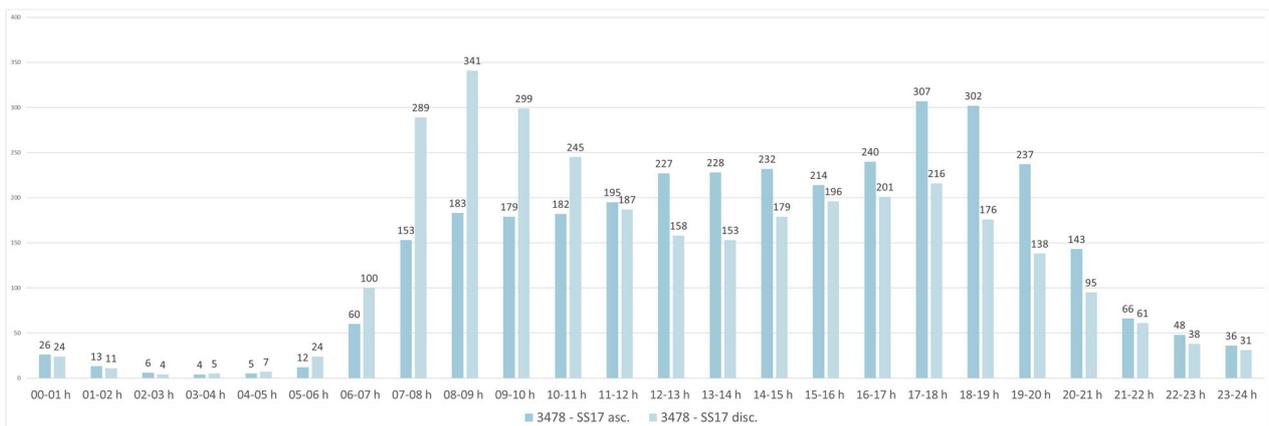


Figura 3-4. Distribuzione dei flussi nella giornata per le due direzioni (sez. 3478)

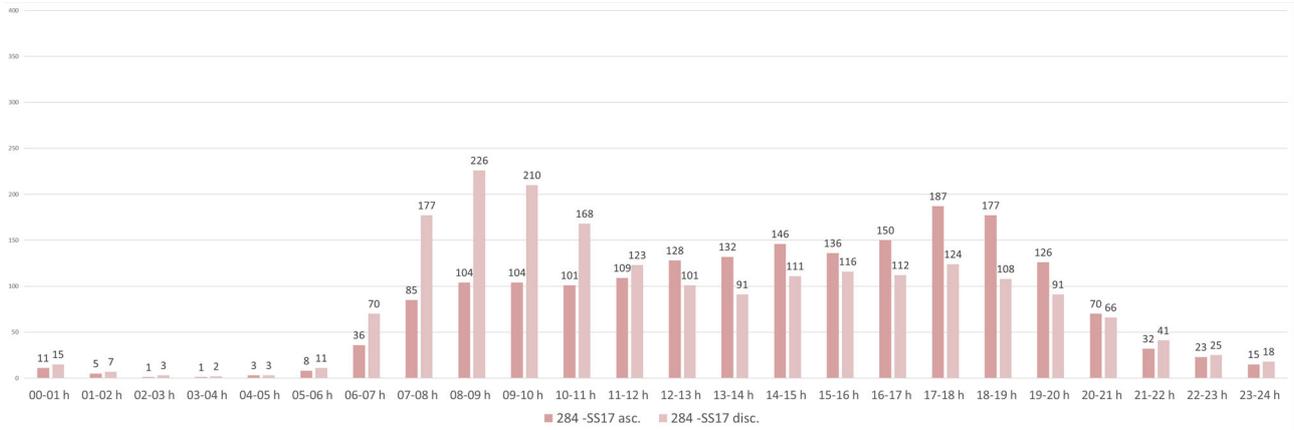


Figura 3-5. Distribuzione dei flussi nella giornata per le due direzioni (sez. 284)

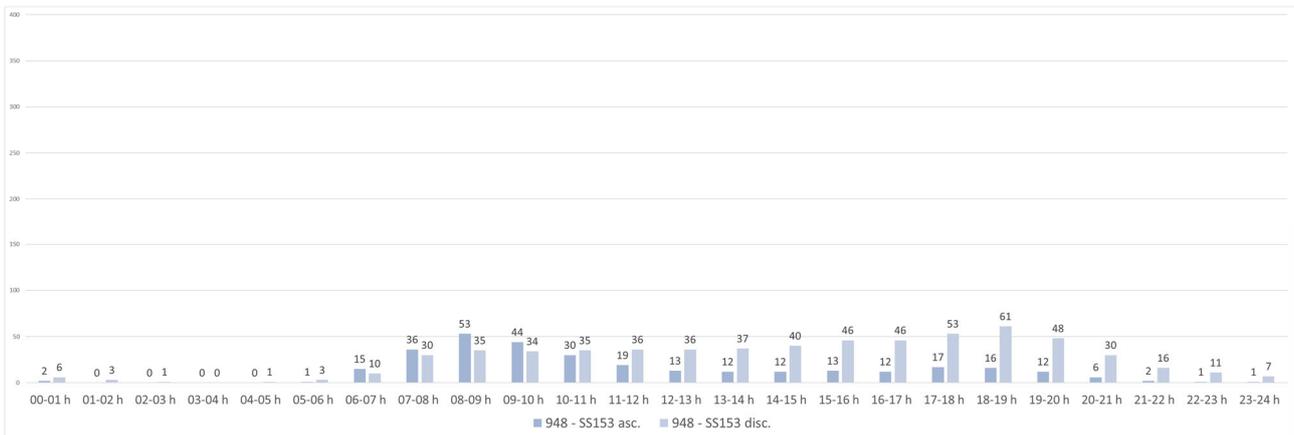


Figura 3-6. Distribuzione dei flussi nella giornata per le due direzioni (sez. 948)

Il flusso dei veicoli pesanti (Figura 3-7) è concentrato tra le 5 del mattino e le 20 della sera con il picco nella fascia oraria tra le 7 e le 9 del mattino. Il flusso dei veicoli pesanti è in media il 6% di quello dei veicoli leggeri sulla SS17. Sulla statale 152 la percentuale dei veicoli pesanti sale fino ad una media del 16%. L'andamento dei valori percentuali dei veicoli pesanti rispetto ai veicoli leggeri è riportato nella Figura 3-8.

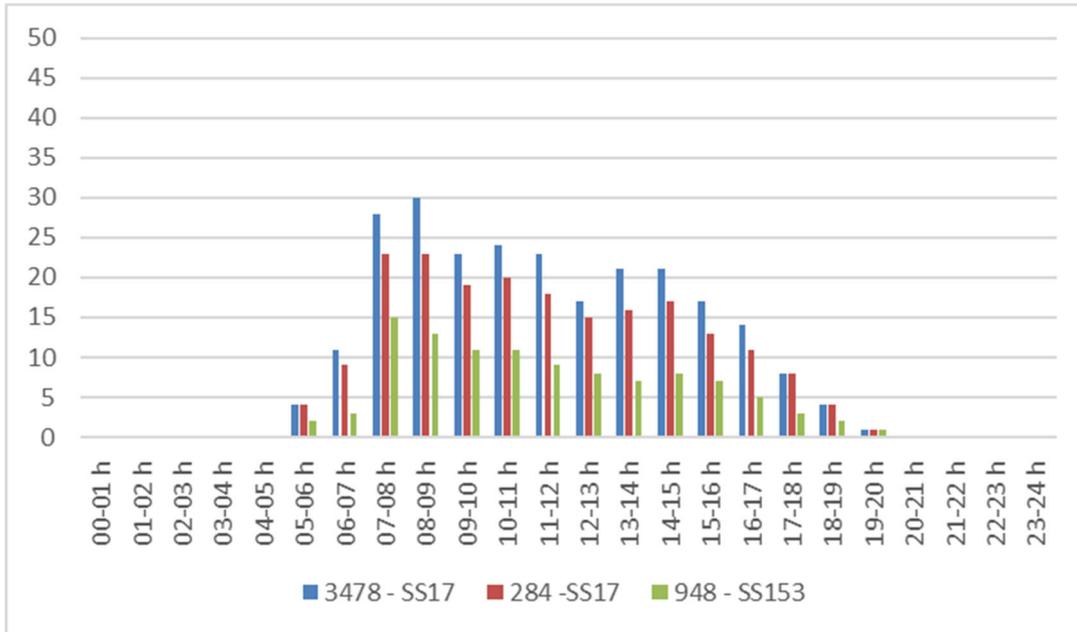


Figura 3-7. Andamento dei flussi orari dei veicoli pesanti.

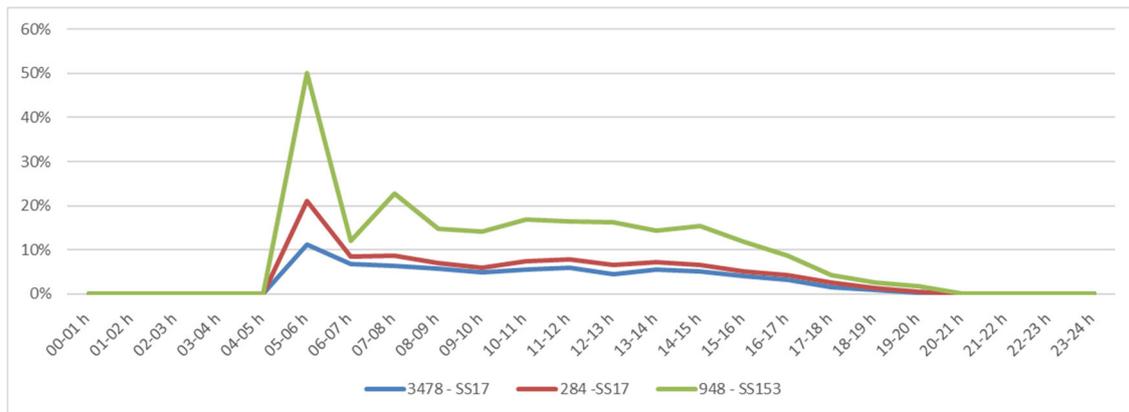


Figura 3-8. Percentuale veicoli pesanti rispetto al flusso dei veicoli leggeri.

4 LA MOBILITÀ NELL'AREA DI STUDIO

4.1 PROCEDURA DI ASSEGNAZIONE

L'assegnazione delle matrici OD stimate alla rete permette di valutare i flussi di veicoli e di utenti all'interno dell'area di studio.

Tali assegnazioni restituiscono come output i flussi sugli archi della rete in veicoli equivalenti/ora.

In forma grafica, è possibile produrre per ogni assegnazione un tematismo della rete rappresentativo dell'intensità dei flussi di traffico, proporzionale allo spessore dell'arco,

A partire dai flussi di arco e dalle velocità a carico ottenute dalla procedura di assegnazione, è possibile caratterizzare il funzionamento della rete, in termini di criticità locali e globali, con riferimento alle prestazioni trasportistiche.

In particolare, nel presente studio, sono stati calcolati per l'analisi delle condizioni di circolazione del trasporto privato i seguenti indicatori:

- i veicoli chilometro, quantificati come somma complessiva dei chilometri percorsi dai veicoli in movimento sulla rete:

$$Veic \cdot km = \sum_{l \in I_{Archi\ Real}} L_l \cdot f_l \quad 2$$

- il tempo totale, cioè il tempo complessivamente speso dai veicoli per compiere il tragitto dal punto di origine al punto di destinazione:

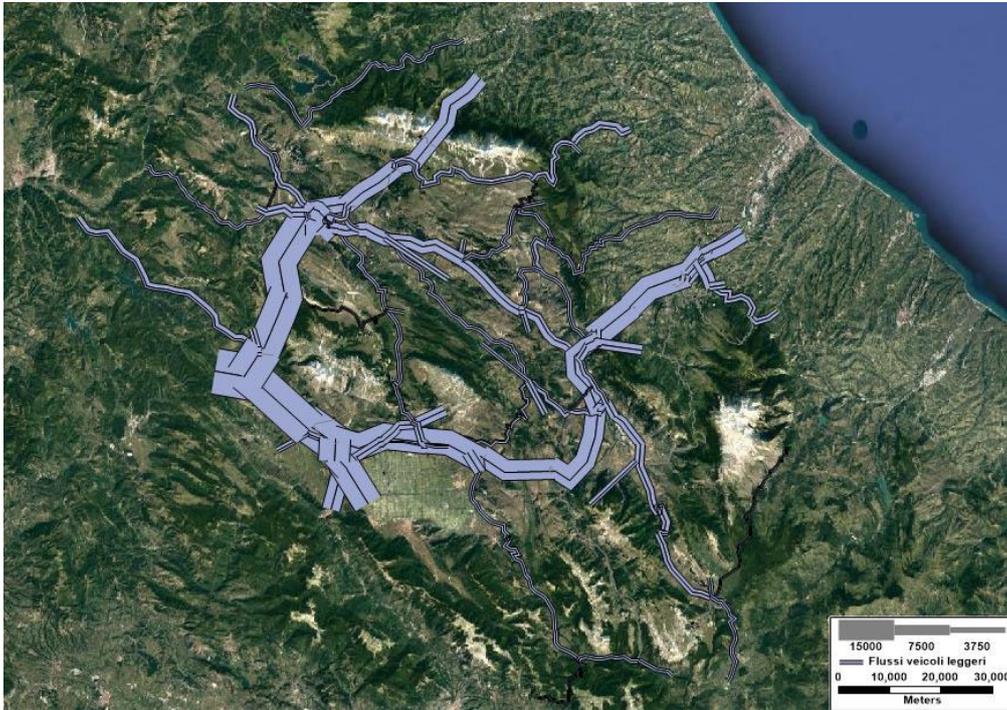
$$\bar{T} = \frac{\sum_{od} T_{od} \cdot d_{od}}{\sum_{od} d_{od}} \quad 3$$

- la velocità media di percorrenza sulla rete, media delle velocità reali calcolate su ciascun arco della rete nelle condizioni di traffico simulate:

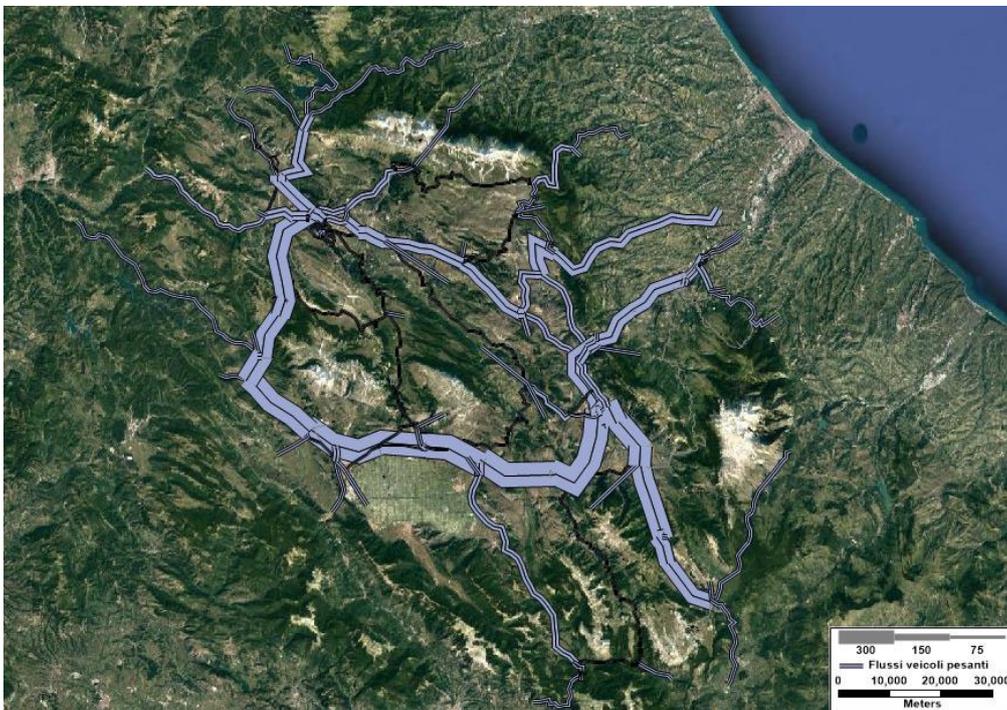
$$\bar{V} = \frac{\sum_{l \in I_{archireali}} V_l \cdot f_l}{\sum_{l \in I_{archireali}} f_l} \quad 4$$

4.2 LO STATO ATTUALE DELLA RETE STRADALE

I risultati della procedura di assegnazione sono rappresentati in Figura 4-1 e Figura 4-2, in particolare, per quanto riguarda la SS17 i valori del TGM sono riassunti in Tabella 4-1 **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**



*Figura 4-1. Mappa di assegnazione della rete di trasporto stradale
nella simulazione dello Scenario Attuale - Veicoli Leggeri*



*Figura 4-2. Mappa di assegnazione della rete di trasporto stradale
nella simulazione dello Scenario Attuale – Mezzi Pesanti*

Tabella 4-1. Valori del flusso simulato sulla SS17 nello scenario attuale

	SS17
TGM Veicoli leggeri	7812
TGM Mezzi Pesanti	263
Veicoli Equivalenti Totali	8470

Nella Tabella 4-2 sono riportati gli indicatori di scenario calcolati che scaturiscono dal modello elaborato.

Tabella 4-2. Indicatori di rete – Scenario Attuale (2017)

Percorrenza (veic*km)	leggeri	5.429.483
	pesanti	175.253
	totale	5.604.736
Tempi su rete (veicoli*h)	leggeri	77.910
	pesanti	2.826
	totale	80.736
Velocità medie di rete (km/h)	leggeri	63,9
	pesanti	54,7

4.3 SCENARI FUTURI

4.3.1 Scenario di Non Intervento

Nello scenario di “non intervento” si prevede che non venga realizzato alcun intervento sulla tratta della SS17 oggetto del presente Studio di Traffico, che mantiene le stesse caratteristiche fisiche e funzionali dello scenario attuale.

Anche sul resto del sistema stradale dell’Area di Studio non sono previsti interventi che modificano in maniera significativa l’assetto della rete e, pertanto, non si attende una redistribuzione dei flussi di traffico tra le diverse infrastrutture presenti.

Il risultato delle previsioni di traffico a tale scenario nell’orizzonte temporale considerato si riassume in un aumento dei flussi stradali su tutta la rete proporzionale all’incremento atteso del livello globale di domanda dell’Area di Studio.

L’aumento dei flussi di traffico comporta un incremento dei livelli di congestione ed una diminuzione delle velocità medie su rete.

Gli indicatori di area al 2026 ed al 2036 sono riportati nella seguente Tabella 4-3.

Tabella 4-3. Indicatori di rete – Scenario di non intervento (2026 e 2036)

	Categoria Veicolare	2026	2036
Percorrenza (veic*km)	leggeri	5.972.430	6.515.410
	pesanti	201.540	208.552
	totale	6.173.970	6.723.962
Tempi su rete (veicoli*h)	leggeri	85.715	93.529
	pesanti	3.250	3.363
	totale	88.965	96.892
Velocità medie di rete (km/h)	leggeri	63,2	61,7
	pesanti	54,0	52,7

Il TGM simulato sulla tratta della SS17 oggetto dell'adeguamento è riportato nella tabella seguente

Tabella 4-4. Valori del flusso simulato sulla tratta di progetto nello scenario di non progetto

	2026	2036
TGM Veicoli leggeri	8282	9035
TGM Mezzi Pesanti	304	314
Veicoli Equivalenti Totali	8588	9820

4.3.2 Scenario di Progetto

Nello scenario di progetto si prevede l'adeguamento alla sezione C1 di cui al D.M. 5/11/2001 (con corsie da 3,75m e banchina da 1,5 m) della SS17 nel tratto San Gregorio – San Pio delle Camere – Navelli

La realizzazione del progetto, oltre all'adeguamento della sezione stradale, avrà come beneficio principale la risoluzione delle attuali interferenze della tratta, dovute prevalentemente alla elevata presenza di intersezioni.

I principali benefici alla circolazione sono riconducibili all'incremento della velocità a 90Km/h e alla presenza di una corsia di arrampicamento per i mezzi pesanti.

Le variazioni delle caratteristiche della SS17 previste dal progetto sono state inserite nel modello di traffico, costruendo lo scenario infrastrutturale di progetto cui sono state assegnate le matrici di domanda dei veicoli leggeri e pesanti agli orizzonti temporali di analisi (2026 e 2036) ricavando gli indicatori di rete rappresentativi del sistema di trasporto modellizzato per tale scenario.

La Figura 4-3 e la Figura 4-4 mostrano i risultati dell'assegnazione della domanda di trasporto all'offerta di trasporto simulata, ovvero i flussogrammi rappresentativi rispettivamente del TGM veicoli leggeri e pesanti su ciascun arco della rete nello scenario di progetto al 2036.

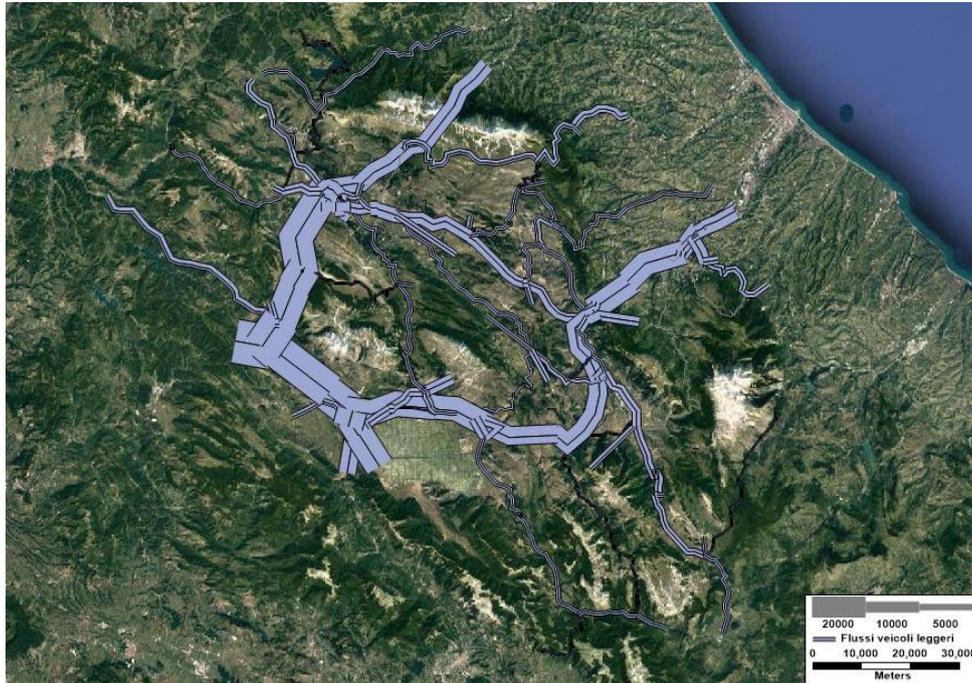


Figura 4-3. Mappa di assegnazione della rete di trasporto stradale nella simulazione dello Scenario di Progetto 2036 – Veicoli Leggeri



Figura 4-4. Mappa di assegnazione della rete di trasporto stradale nella simulazione dello Scenario di Progetto 2036 – Mezzi Pesanti

Gli indicatori di area al 2026 ed al 2036 sono riportati nella seguente Tabella 4-5.

Tabella 4-5. Indicatori di rete – Scenario di Progetto (2026 e 2036)

	Categoria Veicolare	2026	2036
Percorrenza (veic*km)	leggeri	5.944.061	6.484.430
	pesanti	200.417	207.388
	totale	6.144.478	6.691.818
Tempi su rete (veicoli*h)	leggeri	85.564	93.367
	pesanti	3.245	3.358
	totale	88.809	96.725
Velocità medie di rete (km/h)	leggeri	63,6	63,1
	pesanti	54,5	53,9

Tabella 4-6. Indicatori di rete – variazione tra Scenario di Progetto e Scenario Riferimento (2026 e 2036)

	Categoria Veicolare	2026	2036
Percorrenza (veic*km)	leggeri	-28.369	-30.980
	pesanti	-1.123	-1.164
	totale	-29.492	-32.144
Tempi su rete (veicoli*h)	leggeri	-151	-162
	pesanti	-5	-5
	totale	-156	-167
Velocità medie di rete (km/h)	leggeri	0,4	1,4
	pesanti	0,5	1,2

Dal confronto con lo scenario di riferimento emerge una diminuzione delle percorrenze e dei tempi spesi su rete in conseguenza della velocizzazione della tratta di progetto

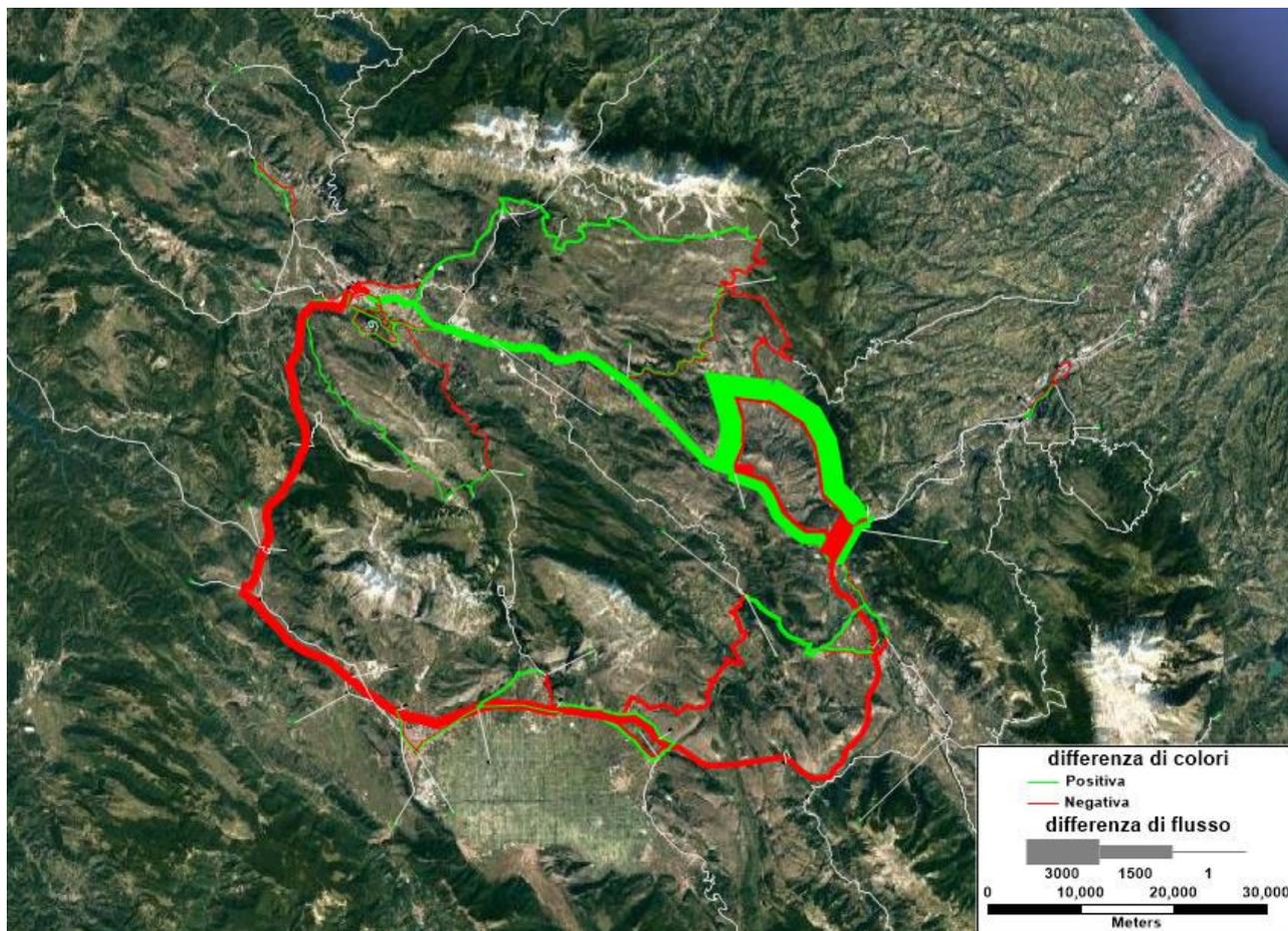
I flussi di traffico, scenari futuri, sulla tratta SS17 oggetto dell'intervento di adeguamento funzionale hanno un incremento rispetto allo scenario attuale.

Il TGM complessivo è pari a 9.254 veicoli/giorno nel 2026 ovvero con un incremento del 15% rispetto allo scenario attuale e 10.077 veicoli/giorno nel 2036 ovvero un incremento del 25% rispetto allo scenario attuale.

Tabella 4-7. Valori del flusso simulato sulla tratta di progetto Scenario di Progetto

	2026	2036
TGM Veicoli leggeri (veicoli/giorno)	8.921	9.732
TGM Mezzi Pesanti (veicoli/giorno)	333	345
TGM Totale (veicoli/giorno)	9.254	10.077
Veicoli Equivalenti Totali	9.754	10.594

Nella figura seguente (Figura 4-5) è riportata la differenza tra l'assegnazione dello "Scenario di Riferimento 2036" e l'assegnazione dello "Scenario Futuro 2036". La figura mostra come sostanzialmente vi sia un aumento del traffico sulla Strada Statale 17 ed una diminuzione di traffico sulla E80.



*Figura 4-5: Mappa delle differenze di assegnazione della rete di trasporto stradale
Scenario di Progetto 2036 -Scenario di Riferimento 2036 (veicoli leggeri)*

5 STIMA DEL LIVELLO DI SERVIZIO

Partendo dalle previsioni dei flussi di traffico si è effettuata la verifica del livello di servizio della tratta della SS17 del progetto di adeguamento, in modo da poter validare il tipo di sezione stradale scelta per l'intervento.

Per il calcolo del livello di servizio sono state usate le indicazioni dell'HCM (Highway Capacity Manual).

Secondo HCM le condizioni di deflusso sono caratterizzate e misurabili dalle seguenti variabili:

- portata, espressa in veicoli/ora;
- densità, espressa in veicoli/Km;
- velocità, espressa in Km/ora;
- tempi di ritardo, espressi in secondi/veicoli

La nuova SS17 è definita dall'HCM come una "two lane highways" di classe I ovvero una strada caratterizzata da buone caratteristiche geometriche (riferibili alla Categoria C del DM 5/11/2001), congiungenti rilevanti generatori di traffico passeggeri e merci, a medie distanze, con utenti prevalentemente pendolari, con ATS (velocità media di viaggio) relativamente alta, pur dovendo "spendere" tempo in accodamento (PTFS: % di tempo in coda) in attesa di compiere i sorpassi necessari per mantenere tale velocità.

Le variabili esprimenti il LOS (Level Of Service) sono appunto ATS e PTFS.

Nella Tabella 5-1 sono riportati i valori di riferimento di ATS e PTFS per i vari livelli

Tabella 5-1. Criterio per LOS per Two Lane Highways (TLH)

LOS		A	B	C	D	E
Classe I	PTFS %	<35	35-50	50-65	65-80	>80
	ATS	>90	80-90	70-80	60-70	<60

5.1 CALCOLO DEL LOS TWO LANE HIGHWAYS CLASS I

Le condizioni ideali di strada per questa categoria sono:

- Corsie di almeno ml 3,60
- Larghezza delle banchine maggiore di ml 1,80
- Terreno pianeggiante: consente ai veicoli pesanti di mantenere la stessa velocità delle autovetture.
- Nessun divieto di sorpasso: zero % NO PASSING ZONE (npz)

Le condizioni ideali di traffico e controllo per questa categoria di strada sono:

- Traffico composto di sole autovetture
- Nessun tipo di controllo del traffico (esempio semafori) e assenza di svolte
- Ripartizione del flusso al 50% nelle due direzioni

La velocità in condizioni di flusso libero è:

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A \text{ dove}$$

BFFS = velocità in condizioni di flusso libero in condizioni base

- f_{LS} = Coefficiente riduttivo per banchine laterali
- f_A = Coefficiente riduttivo per numero d'intersezioni al Km

Il tasso di flusso è:

$v_p = V/(PHF \cdot f_G \cdot f_{HV})$ dove:

- v_p = tasso di flusso in autovetture equivalenti nel quarto d'ora più caricato (autovetture/h)
- V = volume dell'ora di punta (veicoli/h)
- P_{HF} = fattore dell'ora di punta
- f_G = Fattore correttivo per pendenza
- f_{HV} = Fattore correttivo per veicoli pesanti

La velocità media si calcola:

$ATS = FFS - 0,0125 \cdot V_p - f_{npz}$ dove:

- ATS = velocità media di viaggio nelle due direzioni (Km/h)
- FFS = velocità in condizioni di flusso libero (Km/h)
- f_{npz} = Coefficiente riduttivo per il sorpasso impedito

La velocità media di viaggio decresce con l'aumentare del flusso a causa dei maggiori condizionamenti tra veicoli e la ridotta possibilità di sorpasso. La procedura HCM assume che la velocità media decresce linearmente con l'aumentare del tasso di flusso complessivo nei due sensi di marcia.

Percentuale di tempo in coda:

$PTFS = BPTFS + f_{d/npz}$

- $BPTFS = 100 (1 - e^{-0.000879 V_p})$
- $f_{d/npz}$ = Coefficiente riduttivo per l'effetto combinato della distribuzione del traffico e del sorpasso impedito

Il LOS è definito in termini di tempo speso in coda al seguito di veicoli più lenti e la metodologia HCM impone di valutare prima di tutto il volume veicolare di riferimento v_p , che risulta dalla somma dei flussi orari equivalenti stimati in entrambe le direzioni maggiorati di un fattore $1/PHF$ destinato a stimare il picco massimo nei 15 minuti. Nel caso specifico si è assunto nel calcolo un valore PHF pari a 0,90 che comporta una maggiorazione di circa il 11% del flusso medio orario, così come raccomandato dall'HCM stesso.

Il valore del volume veicolare così stimato viene utilizzato per computare il valore base della % di tempo speso in coda in condizioni ideali. Da questo si deduce il valore definitivo apportando opportuni correttivi che tengono conto:

- effettiva distribuzione delle portate fra le due direzioni di marcia
- percentuale di zone di non sorpasso

I dati di ingresso per la stima del LOS della SS17 sono di seguito riassunti:

- larghezza corsie ml 3,75
- larghezza banchine 1,50
- 1 corsia per ogni senso di marcia
- percentuale di non sorpasso 20%

Con tali dati si ottengono i seguenti valori:

Flusso ora di punta	876
V_p	551
FFS	87,9
AST	78,8
BPTFS	38,4
PTFS	50,2

I valori di AST e di PTFS ottenuti, confrontandoli con i valori di riferimento riportati nella Tabella 5-1 si ottiene che il livello di servizio nello scenario futuro è di tipo **C**. Tale livello di servizio è compatibile con quello di richiesto dalla norma ovvero un livello di servizio pari a C per la sezione tipo C.

6 VERIFICA DELLA CAPACITÀ DI UNA ROTATORIA

A conclusione dello studio è stata effettuata la verifica della capacità della rotatoria progettata sulla SS17 presso il comune di Castelnuovo.

Per il calcolo della capacità della rotatoria SS17 è stato utilizzato il metodo degli anni '80 del Service d'Études Techniques des Route et Autoroutes (SETRA).

Secondo il metodo francese, la capacità è funzione del flusso di traffico uscente, del traffico circolante in conflitto con il flusso entrante e delle caratteristiche geometriche dei rami della rotatoria (larghezza dell'anello, larghezza dell'isola spartitraffico, larghezza della semicarreggiata del braccio misurata dietro il primo veicolo fermo all'altezza della linea del dare precedenza): $C=f(Q_u, Q_c, L_c, L_d, L_i)$.

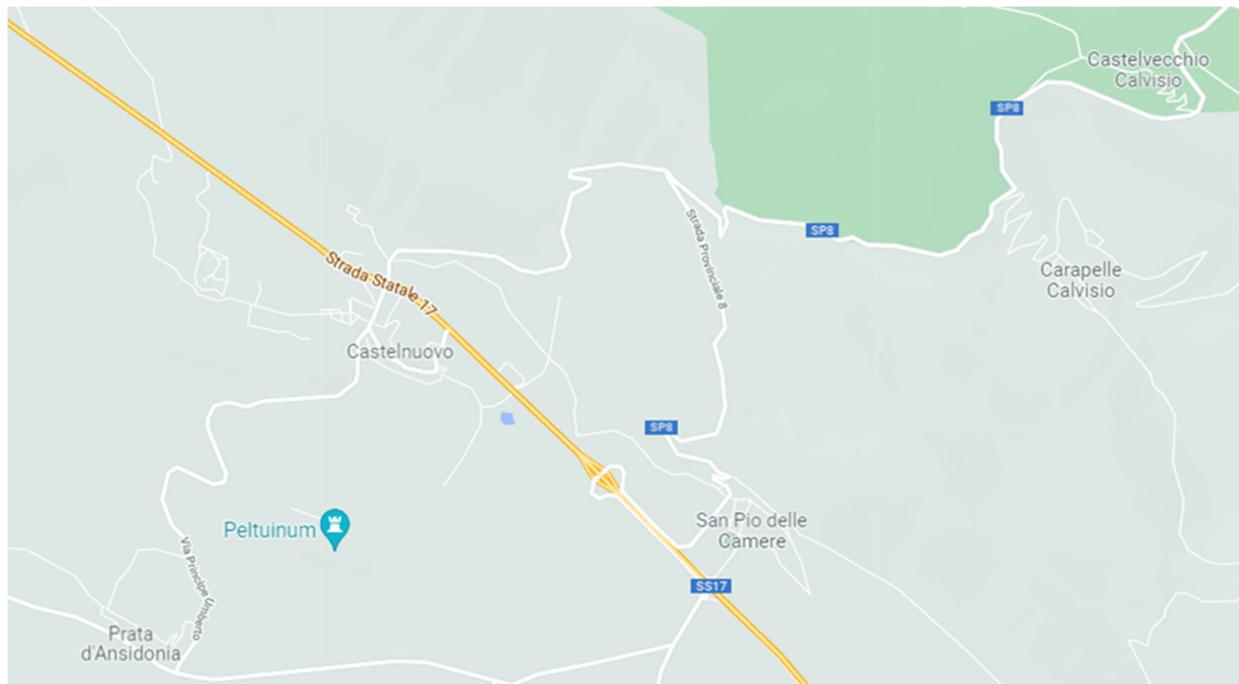


Figura 6-1. Inquadramento territoriale

I rami della rotatoria suddetta sono stati schematizzati come segue:

- Ramo A: SS17 Nord-Sud - Castelnuovo
- Ramo B: Castelvecchio
- Ramo C: SS17 Sud-Nord Castelnuovo Calvisio
- Ramo D: Prata d'Ansidonia

Data la seguente matrice di nodo, relativa al TGM:

Tabella 6-1. Matrice O/D (TGM)

MATRICE O/D (TGM)	Ramo A	Ramo B	Ramo C	Ramo D
Ramo A	0	348	4374	1032
Ramo B	300	0	100	190
Ramo C	3135	100	0	100
Ramo D	1404	100	100	0

si è proceduto con la costruzione della matrice relativa al numero dei veicoli/h, in cui l'ora di punta è pari ad una percentuale pari all'11% del TGM così come si evince dai rilievi ANAS sulla SS17.

Tabella 6-2. Matrice O/D (veic/h)

MATRICE O/D (VEIC/H)	Ramo A	Ramo B	Ramo C	Ramo D	Ingressi
Ramo A	0	38,28	481,14	113,52	632,94
Ramo B	33	0	11	20,9	64,9
Ramo C	344,85	11	0	11	366,85
Ramo D	154,44	11	11	0	176,44
Uscite	532,29	60,28	503,14	145,42	1241,13

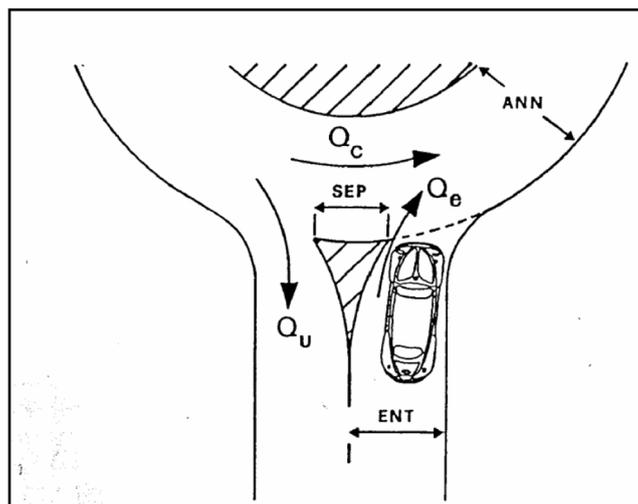


Figura 6-2. Grandezze geometriche della rotatoria

Le grandezze note sono le caratteristiche geometriche della rotatoria. Per i quattro rami si ha:

Tabella 6-3. Caratteristiche geometriche della rotatoria

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA ROTATORIA		Ramo A	Ramo B	Ramo C	Ramo D	u.m.
Li	Larghezza della semicarreggiata in ingresso (misurata dietro il primo veicolo all'altezza della linea del dare precedenza)	3,75	3,44	3,8	3,11	m
Lc	Larghezza dell'anello	6	6	6	6	m
Ld	Larghezza dell'isola spartitraffico	9,26	5,9	9,36	6,14	m

Sulla base delle caratteristiche geometriche di tutti i rami e della matrice O/D relativa al numero di veicoli all'ora, i flussi interessanti la rotatoria sono stati ottenuti come segue:

- I flussi in ingresso Q_i e in uscita Q_u sono calcolati come somma rispettivamente delle colonne e delle righe della matrice OD;
- I flussi di traffico circolante Q_c sono calcolati come somma dei flussi effettivamente in conflitto con il flusso in entrata ad ogni ramo. Dunque si ha:
 - I flussi in conflitto con il ramo A sono: i flussi entranti nel ramo C e uscenti al ramo B, i flussi D-B, D-C, i flussi in entrata in B e in uscita in B, i flussi C-C ed i flussi D-D;
 - I flussi di traffico in conflitto con il ramo B sono: i flussi A-C, A-D, D-C, A-A, C-C, D-D;
 - I flussi in conflitto con il ramo C sono: A-D, B-D, B-A, A-A, B-B, D-D;
 - I flussi in conflitto con il ramo D sono: C-A, B-A, C-B, A-A, B-B, C-C.

Sulla base di tali flussi, si è proceduto con il calcolo del traffico uscente equivalente Q'_u e del traffico complessivo di disturbo Q_d mediante formule date da letteratura:

$$Q'_u = Qu \frac{15-Ld}{15}, \text{ con } Q'_u=0 \text{ se } Ld \geq 15m;$$

Equazione 5 Traffico uscente equivalente Q'_u

$$Qd = \left(Qc + \frac{2}{3} Q'u \right) * [1 - 0,085 * (Lc - 8)]$$

Equazione 6 Traffico complessivo di disturbo Q_d

La capacità di ogni braccio si ottiene mediante la formula:

$$C = (1330 - 0,7 * Qd) * [1 + 0,1 * (Li - 3,5)]$$

Equazione 7 Capacità del braccio della rotatoria C

Tabella 6-4. Verifica di capacità dei singoli bracci della rotatoria

VERIFICA DI CAPACITA' DEI SINGOLI BRACCI		Ramo A	Ramo B	Ramo C	Ramo D	u.m.
Qi	Flusso in ingresso	632,94	64,90	366,85	176,44	veic/h
Qu	Flusso di traffico uscente	532,29	60,28	503,14	145,42	veic/h
Qc	Flusso di traffico circolante in conflitto con il flusso in entrata	42,90	510,29	203,72	530,42	veic/h
Q'u	Traffico uscente equivalente	203,69	36,57	189,18	85,89	veic/h
Qd	Traffico complessivo di disturbo	209,07	625,56	385,91	687,59	veic/h
Ci	Capacità del braccio	1213,24	886,75	1091,66	815,59	veic/h

La valutazione del livello di funzionalità della rotatoria viene effettuata mediante il calcolo della Riserva di Capacità.

Tale valore rappresenta la differenza tra la capacità dell'entrata e il flusso in ingresso.

$$RC\% = \frac{C - Qi}{C} * 100$$

Equazione 8 Riserva di capacità RC%

Il valore RC (%) in condizioni ideali deve essere preferibilmente tra il 15% e l'80%. Se ad esempio tale valore è troppo elevato su un'entrata principale, la larghezza potrebbe essere sovradimensionata; se tutte le entrate hanno RC elevata, potrebbe essere auspicabile ridurre la larghezza dell'anello. In caso contrario, per Rc inferiore a 5%, occorre adottare soluzioni atte a migliorare la capacità, come ad esempio un allargamento delle entrate, un ampliamento dell'anello, un aumento del raggio della rotatoria o la creazione di una corsia diretta di svolta a destra.

Nella rotatoria in esame, sono stati ottenuti i seguenti valori di riserva di capacità:

Tabella 6-5. Livello di funzionalità della rotatoria

LIVELLO DI FUNZIONALITA'		Ramo A	Ramo B	Ramo C	Ramo D	u.m.
RC	Riserva di capacità	580,30	821,85	724,81	639,15	veic/h
RC (%)	Riserva di capacità percentuale	48%	93%	66%	78%	%
Condizione di esercizio		Fluida	Fluida	Fluida	Fluida	-