

S.S. 100 "di Gioia del Colle"
COMPLETAMENTO FUNZIONALE E MESSA IN SICUREZZA DELLA S.S. 100, TRA I KM 44+500 E 52+600 (SAN BASILIO) CON SEZIONE DI TIPO B.

PROGETTO DEFINITIVO

COD. BA291

RESPONSABILE INTEGRAZIONE SPECIALISTICA
 Ing. Alessandro Aliotta – Ordine degli Ingegneri di Genova n° 7995 A

IL PROGETTISTA E COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE
 Ing. Vito Capotorto – Ordine degli Ingegneri di Taranto n° 1080

IL GEOLOGO
 Dott. Geol. Mario Stani
 (Ordine dei Geologi della Puglia n° 279)

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
 Ing. Alberto SANCHIRICO
 (ANAS – Struttura territoriale Puglia)

Progettisti



DIRETTORE TECNICO
 Prof. Ing. Andrea Del Grosso



DIRETTORE TECNICO
 Ing. Franz Pacher



DIRETTORE TECNICO
 Ing. Primo STASI



Ing. Tommaso DI BARI
 Ing. Vito CAPOTORTO



DIRETTORE TECNICO
 LAND Italia Srl
 Arch. Andreas KIPAR

INQUADRAMENTO GENERALE
 Studio di Traffico (microsimulazioni)

| CODICE PROGETTO | | NOME FILE | | REVISIONE | SCALA: |
|-----------------|-----------------|---------------------|----------------|------------|-----------|
| PROGETTO | LIV. PROG. ANNO | T00_EG00_GEN_RE06_A | | | |
| STBA0291 | D 23 | CODICE ELAB. | T00EG00GENRE06 | A | — |
| | | | | | |
| | | | | | |
| A | Prima emissione | 06 2023 | Rina | Rina | Rina |
| REV. | DESCRIZIONE | DATA | REDATTO | VERIFICATO | APPROVATO |

SOMMARIO

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUZIONE | 4 |
| 2 | COSTRUZIONE DEL MODELLO MATEMATICO PER L'ANALISI DELLA VIABILITÀ | 5 |
| 2.1 | AREA DI STUDIO E ZONIZZAZIONE..... | 5 |
| 2.2 | COSTRUZIONE DEL MODELLO DI OFFERTA..... | 7 |
| 2.3 | MATRICE OD ATTUALE..... | 9 |
| 2.4 | LA PROCEDURA DI ASSEGNAZIONE..... | 10 |
| 2.5 | CALIBRAZIONE DEL MODELLO..... | 1 |
| 2.6 | STIMA DELLA DOMANDA DI MOBILITÀ FUTURA..... | 2 |
| 3 | ANALISI DATI DI TRAFFICO | 4 |
| 4 | LA MOBILITÀ NELL'AREA DI STUDIO | 12 |
| 4.1 | PROCEDURA DI ASSEGNAZIONE..... | 12 |
| 4.2 | LO STATO ATTUALE DELLA RETE STRADALE..... | 12 |
| 4.3 | SCENARI FUTURI..... | 14 |
| 4.3.1 | <i>Scenario di Non Intervento</i> | 14 |
| 4.3.2 | <i>Scenario di Progetto</i> | 15 |
| 5 | STIMA DEL LIVELLO DI SERVIZIO | 18 |
| 5.1 | CALCOLO DEL LOS..... | 19 |
| 6 | VERIFICA DELLA CAPACITÀ DELLA ROTATORIA SS100 SP23 | 21 |
| 7 | ANALISI INCIDENTALITÀ | 25 |
| 8 | VALUTAZIONI ALTERNATIVE DI TRACCIATO | 27 |
| 8.1 | ANALISI MULTICRITERIA..... | 29 |
| 8.1.1 | <i>Criteri di valutazione</i> | 29 |
| 8.1.2 | <i>Pesi da attribuire ai criteri</i> | 31 |
| 8.1.3 | <i>Risultati delle analisi</i> | 32 |
| 8.1.4 | <i>Analisi Multicriterio con il metodo Regime</i> | 33 |
| 9 | ANALISI BENEFICI COSTI | 35 |
| 9.1 | I COSTI..... | 36 |
| 9.1.1 | <i>I Costi di Investimento</i> | 36 |
| 9.1.2 | <i>I Costi di Manutenzione</i> | 36 |
| 9.2 | BENEFICI DIRETTI..... | 36 |
| 9.3 | IL TASSO DI SCONTO SOCIALE..... | 37 |
| 9.4 | CALCOLO INDICATORI ECONOMICI..... | 37 |
| 10 | RIFERIMENTI | 39 |

Indice delle Tabelle e delle Figure

| | |
|---|----|
| TABELLA 2.1: CONFRONTO FLUSSI MISURATI E SIMULATI | 1 |
| TABELLA 2.2: FLUSSI MEDI SULLE STRADE STATALI PUGLIESI..... | 2 |
| TABELLA 4.1: VALORI DEL FLUSSO SIMULATO SULLA SS100 NELLO SCENARIO ATTUALE | 14 |
| TABELLA 4.2: INDICATORI DI RETE – SCENARIO ATTUALE (2018)..... | 14 |
| TABELLA 4.3: INDICATORI DI RETE – SCENARIO DI NON INTERVENTO (2026 E 2036)..... | 14 |
| TABELLA 4.4: VALORI DEL FLUSSO SIMULATO SULLA TRATTA DI PROGETTO NELLO SCENARIO DI NON PROGETTO..... | 15 |
| TABELLA 4.5: INDICATORI DI RETE – SCENARIO DI PROGETTO (2026 E 2036)..... | 16 |
| TABELLA 4.6: INDICATORI DI RETE – VARIAZIONE TRA SCENARIO DI RIFERIMENTO E SCENARIO DI PROGETTO (2026 E 2036)..... | 16 |
| TABELLA 4.7: VALORI DEL FLUSSO SIMULATO SULLA TRATTA DI PROGETTO SCENARIO DI PROGETTO | 17 |
| TABELLA 5.1: - LIVELLO DI SERVIZIO IN FUNZIONE DELLA DENSITÀ | 19 |
| TABELLA 6.1. MATRICE O/D (TGM) | 22 |
| TABELLA 6.2. MATRICE O/D (VEIC/H)..... | 22 |
| TABELLA 6.3. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA ROTATORIA..... | 23 |
| TABELLA 6.4. VERIFICA DI CAPACITÀ DEI SINGOLI BRACCI DELLA ROTATORIA..... | 24 |
| TABELLA 6.5. LIVELLO DI FUNZIONALITÀ DELLA ROTATORIA | 24 |
| TABELLA 7.1: DATI INCIDENTALITÀ SS100 – 2015-2019 | 25 |
| TABELLA 7.2: CONFRONTO INDICATORI INCIDENTALITÀ | 26 |
| TABELLA 8.1: CRITERI ANALISI MULTICRITERIO | 30 |
| | |
| FIGURA 2.1: MACRO ZONE ANAS..... | 6 |
| FIGURA 2.2: ZONIZZAZIONE INTERNA DELL'AREA DI STUDIO | 6 |
| FIGURA 2.3: ZONIZZAZIONE E CENTROIDI | 7 |
| FIGURA 2.4: MODELLO DI OFFERTA DELLA RETE ATTUALE | 9 |
| FIGURA 2.5: MATRICE OD – VEICOLI LEGGERI | 1 |
| FIGURA 2.6: MATRICE OD – VEICOLI PESANTI | 2 |
| FIGURA 2.7: CONFRONTO FLUSSI MISURATI E SIMULATI..... | 1 |
| FIGURA 2.8: PROIEZIONE AL 2036 DEI DATI ANAS (STORICO DAL 2015 AL 2019) SUI FLUSSI SULLE STRADE STATALI | 3 |
| FIGURA 2.9: PROIEZIONE AL 2036 DEI DATI ANAS (STORICO DAL 2015 AL 2019) SUI FLUSSI SULLE STRADE STATALI DELLA PUGLIA (MEZZI PESANTI) | 3 |
| FIGURA 3.1 DISTRIBUZIONE SETTIMANALE DEL TGM – DIREZIONE ASCENDENTE | 4 |
| FIGURA 3.2 DISTRIBUZIONE SETTIMANALE DEL TGM – DIREZIONE DISCENDENTE | 5 |
| FIGURA 3.3 DISTRIBUZIONE STAGIONALE DEL TGM (ASCENDENTE+DISCENDENTE) SEZ. 704 ANNO 2019..... | 6 |
| FIGURA 3.4 DISTRIBUZIONE DEI VEICOLI GIORNALIERI MEDI NEI VARI GIORNI DELLA SETTIMANA DURANTE L'ANNO (SEZ. 704 ANNO 2019).... | 6 |
| FIGURA 3.5 DISTRIBUZIONE DEI FLUSSI NEL GIORNO FESTIVO IN ESTATE PER LE DUE DIREZIONI (SEZ 704..... | 7 |
| FIGURA 3.6 DISTRIBUZIONE DEI FLUSSI NEI GIORNI FERIALI | 7 |
| FIGURA 3.7 DISTRIBUZIONE DEI FLUSSI (AUTO) NELLA GIORNATA PER LE DUE DIREZIONI (16021.2)..... | 8 |
| FIGURA 3.8 DISTRIBUZIONE DEI FLUSSI (AUTO) NELLA GIORNATA PER LE DUE DIREZIONI (704)..... | 9 |
| FIGURA 3.9 DISTRIBUZIONE DEI FLUSSI (AUTO) NELLA GIORNATA PER LE DUE DIREZIONI (16017.2)..... | 9 |
| FIGURA 3.10 ANDAMENTO DEI FLUSSI DEI VEICOLI PESANTI NEI GIORNI FERIALI | 10 |
| FIGURA 3.11 PERCENTUALE DI VEICOLI PESANTI RISPETTO AI VEICOLI LEGGERI..... | 11 |
| FIGURA 4.1: MAPPA DI ASSEGNAZIONE DELLA RETE DI TRASPORTO STRADALE NELLA SIMULAZIONE DELLO SCENARIO ATTUALE - VEICOLI LEGGERI..... | 13 |
| FIGURA 4.2: MAPPA DI ASSEGNAZIONE DELLA RETE DI TRASPORTO STRADALE NELLA SIMULAZIONE DELLO SCENARIO ATTUALE – MEZZI PESANTI | 13 |
| FIGURA 4.3: MAPPA DI ASSEGNAZIONE DELLA RETE DI TRASPORTO STRADALE NELLA SIMULAZIONE DELLO SCENARIO DI PROGETTO 2036 – VEICOLI LEGGERI..... | 15 |
| FIGURA 4.4: MAPPA DI ASSEGNAZIONE DELLA RETE DI TRASPORTO STRADALE NELLA SIMULAZIONE DELLO SCENARIO DI PROGETTO 2036 – MEZZI PESANTI | 16 |
| FIGURA 5.1: CURVE VELOCITÀ-VOLUME E LDS..... | 18 |

| | |
|--|----|
| FIGURA 6.1. PROGETTO DELLA ROTATORIA | 21 |
| FIGURA 6.2. GRANDEZZE GEOMETRICHE DELLA ROTATORIA..... | 22 |
| FIGURA 7.1: INCIDENTALITÀ SS100 – 2015-2019 | 25 |
| FIGURA 8.1: MATRICE CRITERI - ALTERNATIVE | 30 |
| FIGURA 8.2: CRITERI ADOTTATI..... | 31 |
| FIGURA 8.3: ATTRIBUZIONE DEI PESI | 32 |
| FIGURA 8.4: RISULTATI ANALISI MULTICRITERIO -METODO SOMMA PESATA | 32 |
| FIGURA 8.5: RISULTATI ANALISI MULTICRITERIO -METODO REGIME..... | 34 |
| FIGURA 9.1: CALCOLO INDICATORI ECONOMICI | 38 |
| FIGURA 9.2: CASH FLOW | 38 |

1 INTRODUZIONE

Il presente studio si pone come obiettivo quello di stimare il traffico veicolare che percorrerà la SS100 di Gioia del Colle dopo l'ammodernamento previsto da ANAS per il tratto compreso da Gioia del Colle a San Basilio. Per tale tratto è previsto l'adeguamento della sezione stradale e delle caratteristiche plano-altimetriche del tracciato al tipo B e l'eliminazione delle intersezioni con un sistema di complanari e rotonde.

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), un programma che integra pienamente il sistema di informazione georeferenziata (GIS) con applicazioni logistiche e la pianificazione di modelli di traffico.

Il documento è stato completato con una analisi multicriteria delle alternative di tracciato studiate e la relativa scelta della soluzione migliore.

Per la soluzione progettuale adottata è stata effettuata un'analisi costi benefici.

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 (Figura 2.2) usando la zonizzazione ISTAT dei comuni.

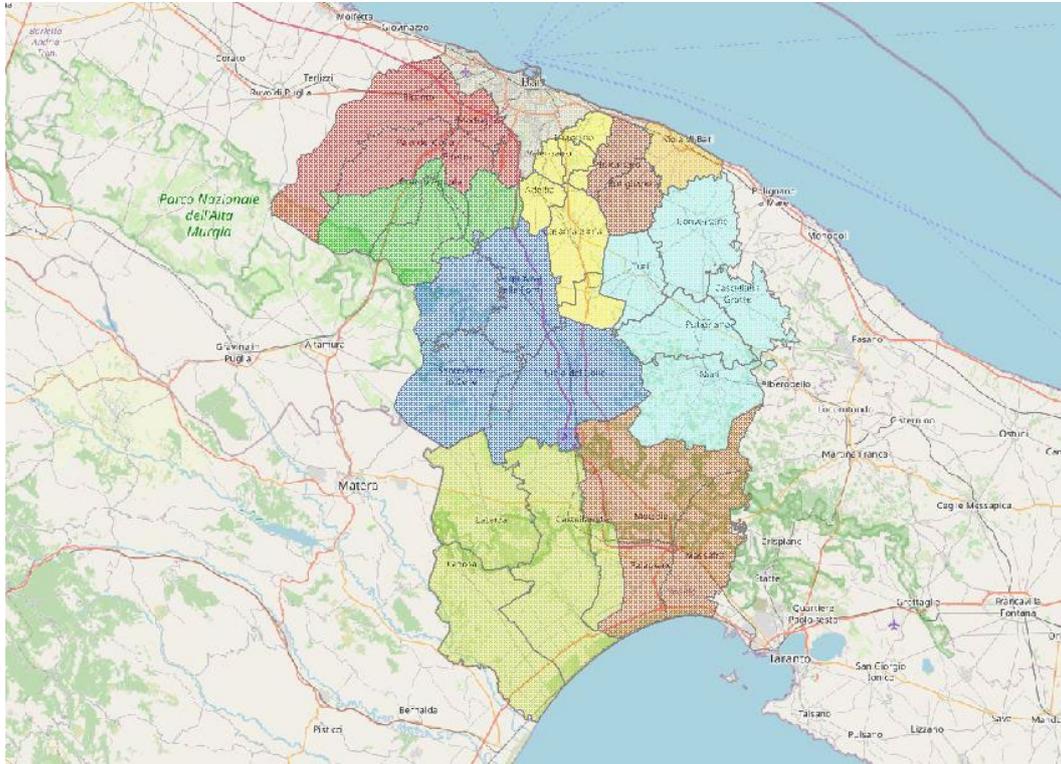


Figura 2.1: Macro Zone ANAS

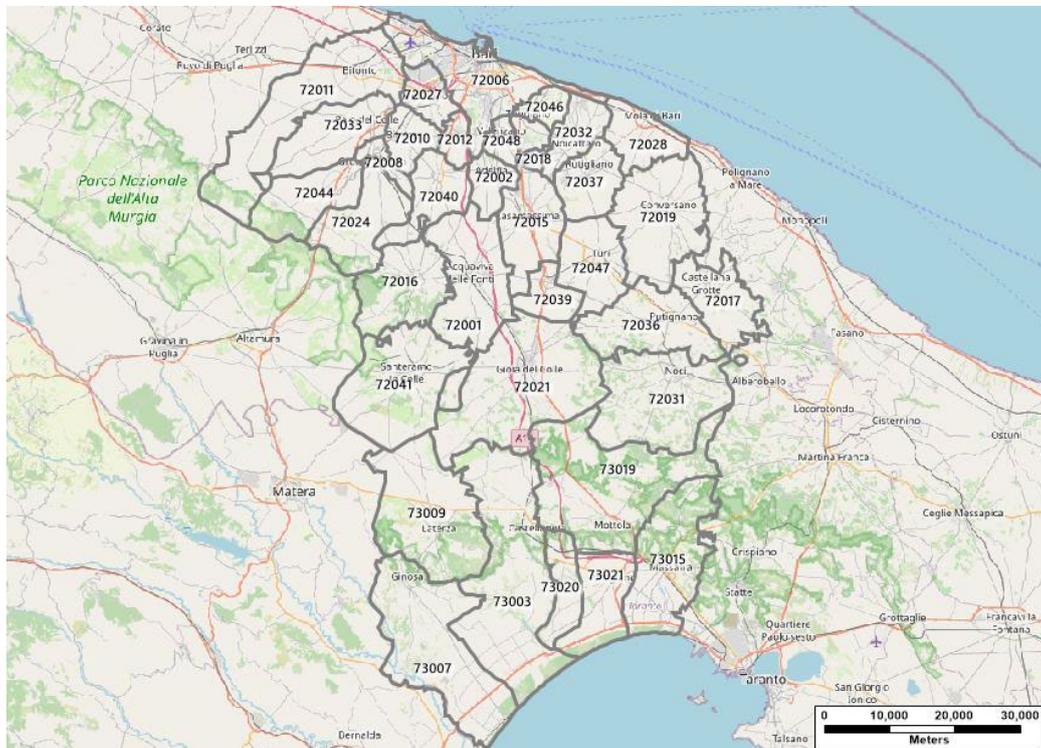


Figura 2.2: Zonizzazione interna dell'area di studio

In Figura 2.3 è raffigurato la zonizzazione con l'indicazione dei centroidi sia interni (blu) che esterni (verdi)

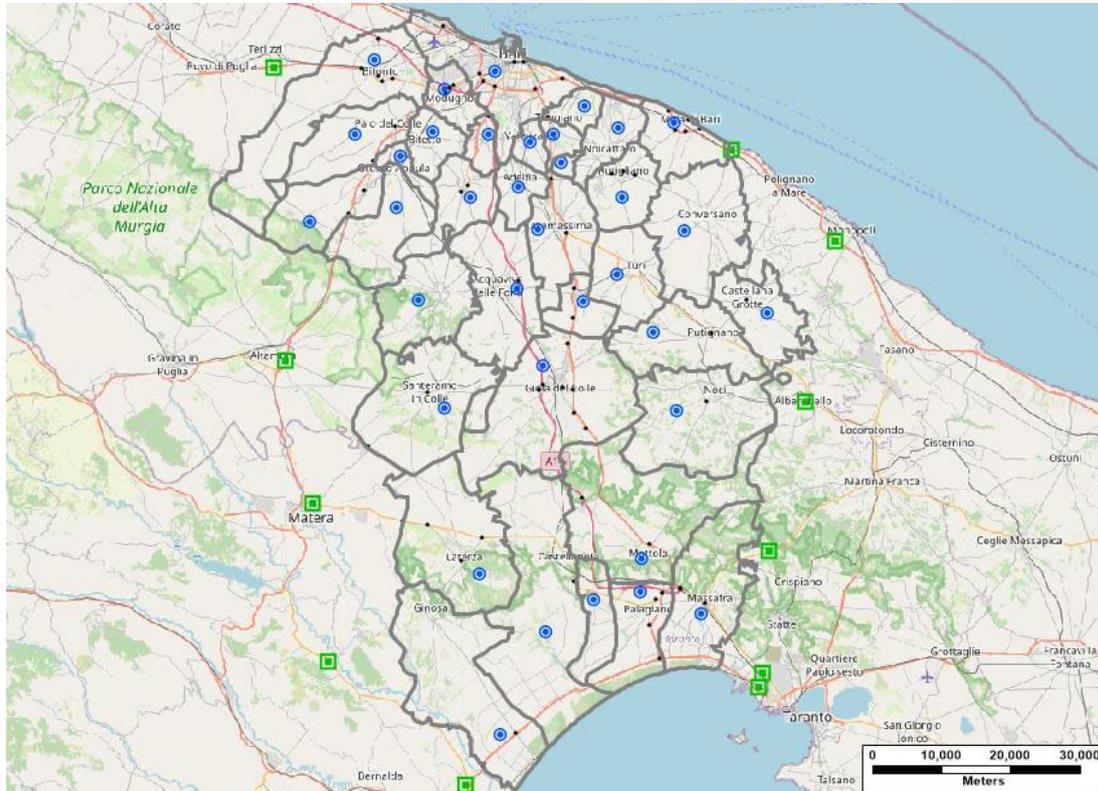


Figura 2.3: Zonizzazione e Centroidi

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.

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.

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 2.4, i rami stradali precedentemente elencati sono raffigurati secondo la rappresentazione topologica descritta. In particolare, gli archi in rosso rappresentano gli archi connettori o fittizi mentre in blu 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:

$$t_i^r = L_i / V_i \quad 1$$

- 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.

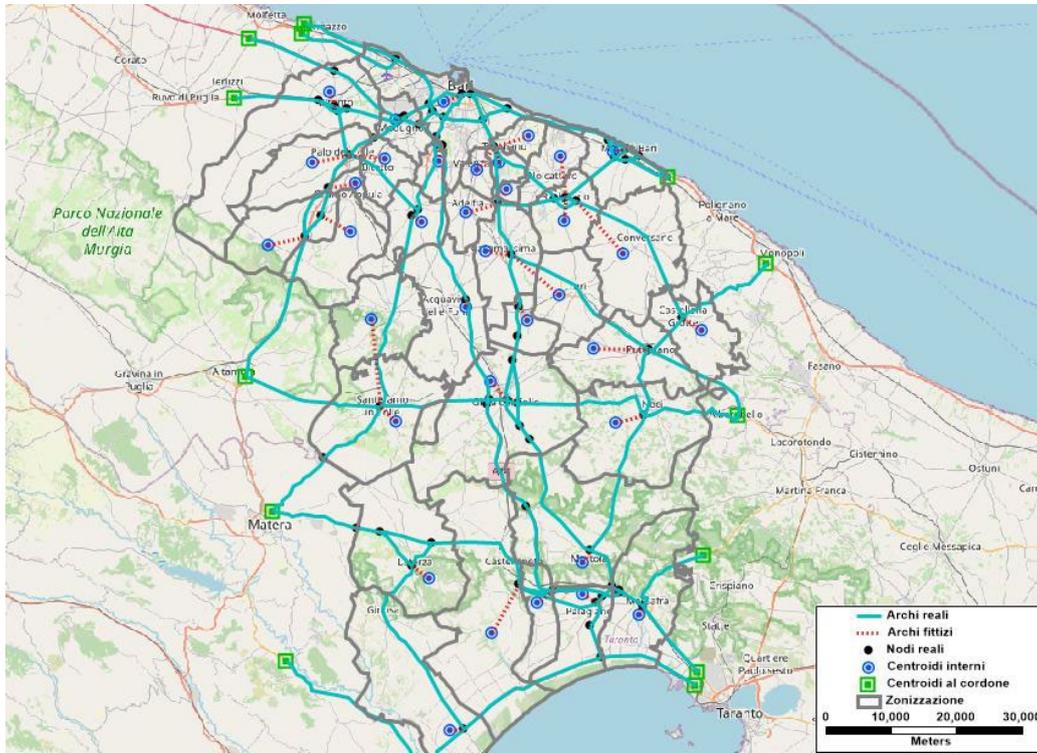


Figura 2.4: Modello di offerta della rete attuale

Lo scenario futuro prevede l'adeguamento funzionale di circa 8 km di strada. La sezione stradale di progetto prevede una sezione tipo B ovvero carreggiate separate da spartitraffico invalicabile, ciascuna con due corsie di marcia e banchine pavimentate.

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.

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 50x50 per i veicoli leggeri.

Per i mezzi pesanti si è utilizzata la matrice ANAS discretizzata inserendo i nuovi centroidi e ripatendo 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 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.

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:

- veicoli equivalenti per i veicoli leggeri (passeggeri);
- 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.

Nelle figure seguenti vengono riportate la matrice dei veicoli leggeri e quella dei veicoli pesanti.

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 0,995 per la matrice dei veicoli leggeri e 0,978 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 su alcune strade statali. I dati tabellari sono rappresentati in forma di grafico di dispersione nella seguente Figura 2.7: Confronto flussi misurati e simulati Figura 2.7.

Tabella 2.1: Confronto flussi misurati e simulati

| Strada | Flussi Misurati | | Flussi Simulati | |
|--------|-----------------|---------|-----------------|---------|
| | Leggeri | Pesanti | Leggeri | Pesanti |
| SS171 | 6723 | 441 | 6725 | 427 |
| SS271 | 6954 | 388 | 6954 | 388 |
| SS96 | 12754 | 1759 | 12754 | 1730 |
| SS171 | 4843 | 372 | 4842 | 401 |
| SS7 | 3113 | 378 | 3114 | 378 |
| SS271 | 2706 | 157 | 2704 | 307 |
| SS377 | 6291 | 231 | 6291 | 222 |
| SS604 | 3945 | 257 | 3947 | 350 |
| SS100 | 12227 | 2383 | 12227 | 2383 |
| SS7 | 2138 | 211 | 1188 | 275 |
| SS172 | 8209 | 329 | 8154 | 432 |
| SS106 | 17769 | 2467 | 18327 | 2765 |
| SS100 | 16453 | 2037 | 16897 | 2014 |
| SS7 | 8466 | 290 | 8109 | 263 |
| SS106 | 13349 | 1832 | 12794 | 1641 |
| SS7 | 13728 | 1296 | 12374 | 1411 |
| SS7 | 15478 | 1395 | 17323 | 1573 |
| SS100 | 38270 | 2887 | 38858 | 3469 |

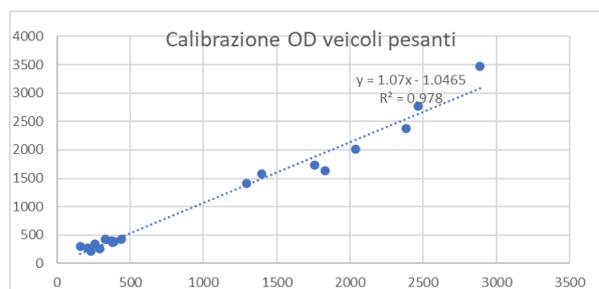
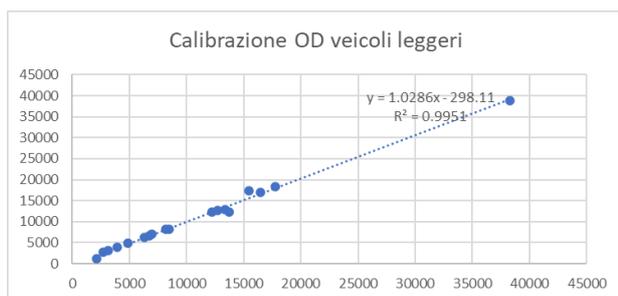


Figura 2.7: Confronto flussi misurati e simulati

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 dati ANAS relativi ai flussi sulle strade statali della Puglia negli anni 2015, 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 pugliesi

| POST | STRADA | KM | COMUNE | PR | 2015 | | 2016 | | 2017 | | 2018 | | 2019 | |
|-------|--------|---------|--------------------|----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | | | | LEGGERI | PESANTI |
| 16021 | SS100 | 24.147 | Casamassima | BA | 17,027 | 1,883 | 16,970 | 1,943 | 17296 | 1939 | - | - | - | - |
| 704 | SS100 | 29.785 | Sammichele di Bari | BA | - | - | 16,015 | 2,045 | 16931 | 1970 | 17182 | 1949 | 17644 | 1987 |
| 16005 | SS172 | 26.843 | Castellana Grotte | BA | - | - | 8,462 | 359 | 8315 | 370 | 8486 | 393 | 8689 | 394 |
| 999 | SS172 | 12.844 | Turi | BA | 8,029 | 275 | 8089 | 279 | - | - | 8165 | 316 | 8068 | 305 |
| 689 | SS96 | 64.234 | Gravina in Puglia | BA | 2,556 | 263 | 2,537 | 272 | - | - | 2789 | 349 | 2685 | 332 |
| 1001 | SS99 | 5.074 | Altamura | BA | 10,871 | 719 | 12,663 | 666 | 12914 | 706 | 13817 | 834 | 14436 | 942 |
| 16015 | SS106 | 480.504 | Massafra | TA | 12,462 | 1,609 | 12,657 | 1,653 | 12795 | 1663 | 13335 | 1779 | 13593 | 2096 |
| 735 | SS106 | 464.527 | Castellaneta | TA | 16,281 | 2,250 | 14,711 | 2,244 | 13922 | 2166 | 17777 | 2425 | 15900 | 2428 |
| 16013 | SS172 | 69.937 | Taranto | TA | 17,323 | 528 | 17,156 | 474 | 17357 | 533 | 17155 | 674 | 17111 | 508 |
| 1255 | SS7 | 598.442 | Laterza | TA | 1,834 | 160 | 1,903 | 167 | - | - | 2130 | 189 | 2176 | 193 |
| 16012 | SS7 | 653.404 | Taranto | TA | 25,242 | 1,674 | 26,672 | 1,713 | 27680 | 1756 | 28351 | 1815 | 28124 | 1849 |
| 16014 | SS7 | 641.431 | Taranto | TA | 13,380 | 1,361 | 13,644 | 1,395 | 13458 | 1311 | 13667 | 1281 | 14010 | 1071 |
| 16018 | SS7 | 623.684 | Palagiano | TA | 8,118 | 285 | 8,366 | 298 | 8395 | 283 | 8462 | 282 | 8699 | 283 |
| 16011 | SS7TER | 10.556 | Taranto | TA | 21,577 | 590 | 21,658 | 575 | 21084 | 549 | 21168 | 579 | 21193 | 615 |

Nella Figura 2.8 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 della Puglia. 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 1,14 per l'orizzonte temporale del 2026 e 1,29 per l'orizzonte temporale del 2036.

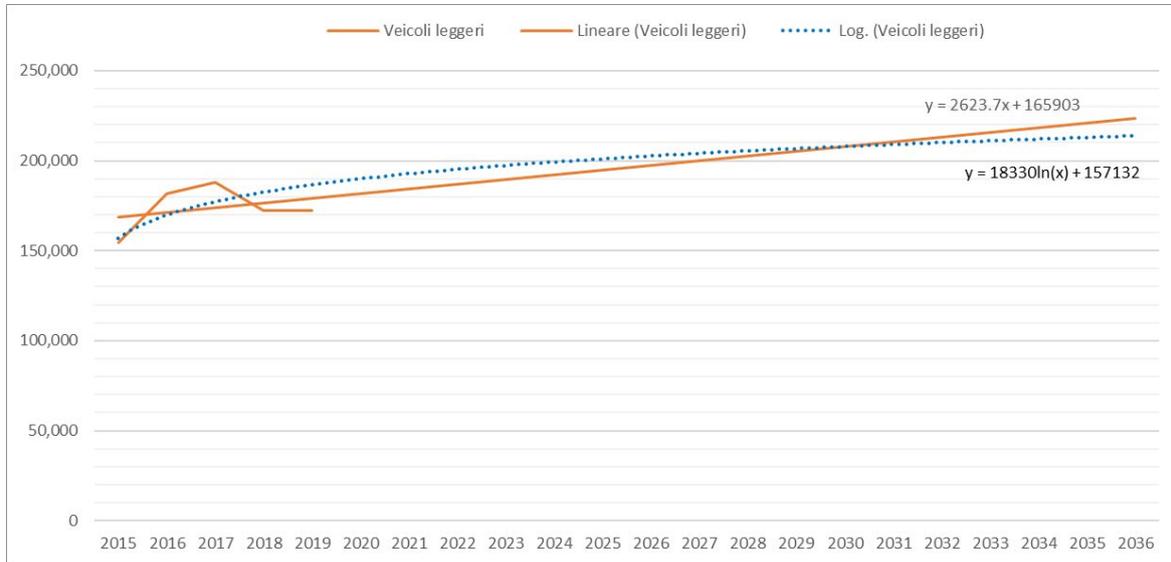


Figura 2.8: Proiezione al 2036 dei dati ANAS (storico dal 2015 al 2019) sui flussi sulle strade statali

Lo stesso ragionamento è stato ripetuto per i mezzi pesanti.

Nella Figura 2.9 è riportata la proiezione al 2026 e al 2036 dei mezzi pesanti.

Anche in questo caso si ritiene che si possa utilizzare la linea di tendenza lineare. I coefficienti utilizzati sono: 1,15 al 2026 e 1,27 al 2036.

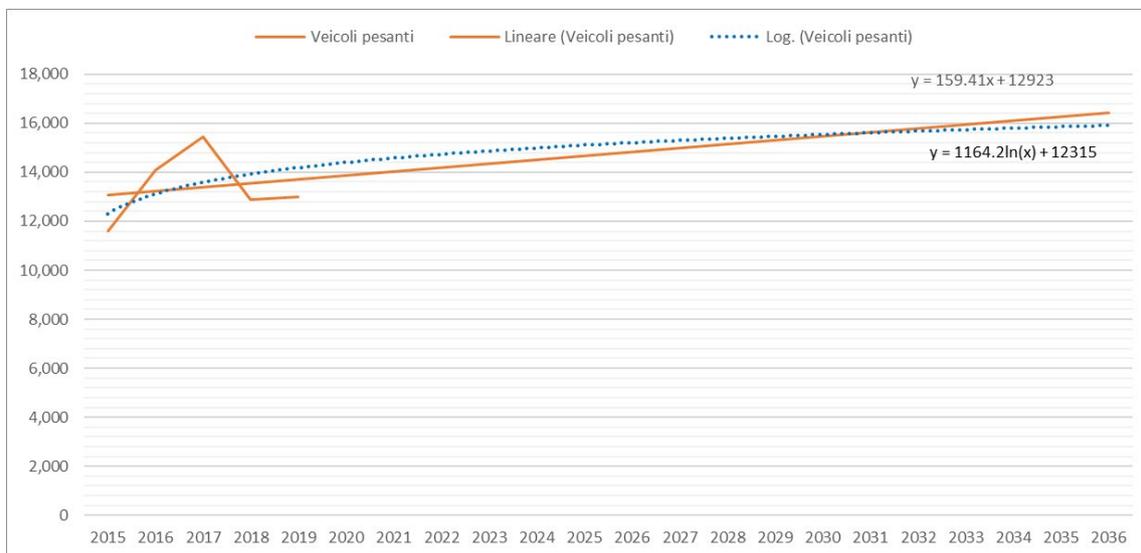


Figura 2.9: Proiezione al 2036 dei dati ANAS (storico dal 2015 al 2019) sui flussi sulle strade statali della Puglia (mezzi pesanti)

3 ANALISI DATI DI TRAFFICO

Nel presente capitolo vengono analizzati nel dettaglio i dati di traffico rilevati in alcune sezioni della rete stradale dell'area di studio.

Nello specifico, è stato analizzato il traffico delle seguenti sezioni stradali:

- Tratta 16021.2:
 - anni 2015,2016,2017, 2019;
 - direzione ascendente e discendente;
- Tratta 704:
 - anni 2015,2016,2017,2018, 2019;
 - direzione ascendente e discendente;
- Tratta 16017.2:
 - anni 2015,2016,2017, 2019;
 - direzione ascendente e discendente;

Le seguenti figure (Figura 3.1 e Figura 3.2) riportano il valore del TGM nelle tre sezioni di rilievo e la sua distribuzione nei diversi giorni della settimana; è stato analizzato l'anno di rilievo meno datato tra quelli disponibili per le suddette sezioni.

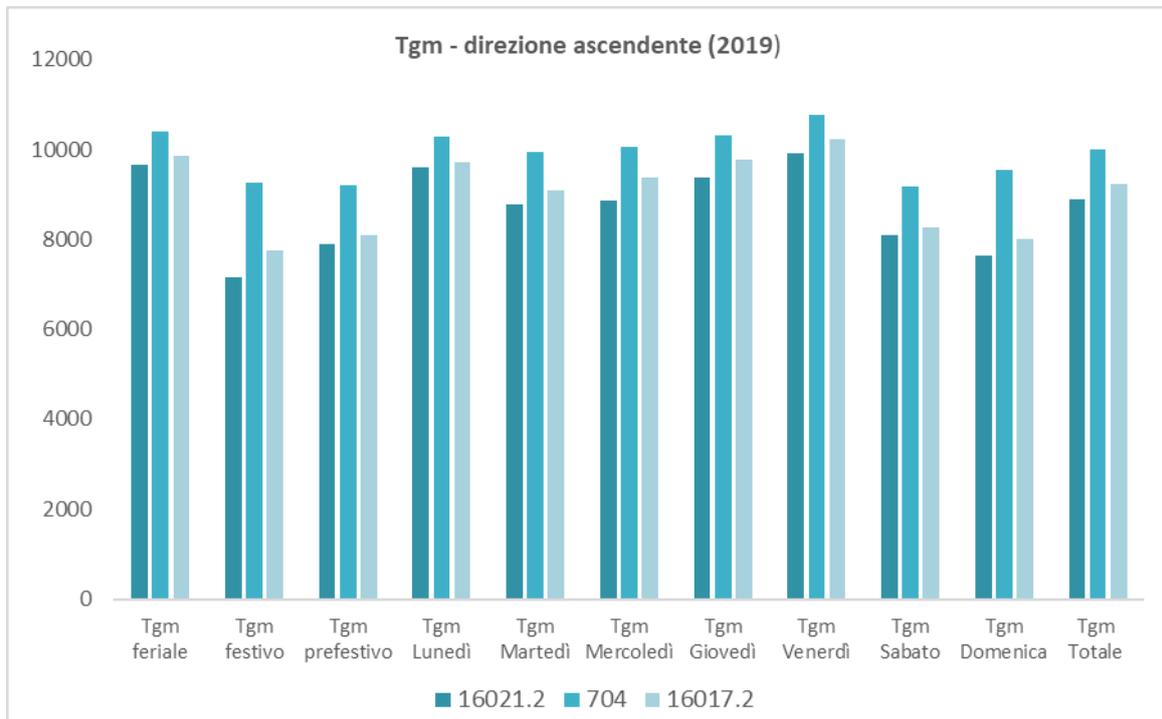


Figura 3.1 Distribuzione settimanale del TGM – direzione ascendente

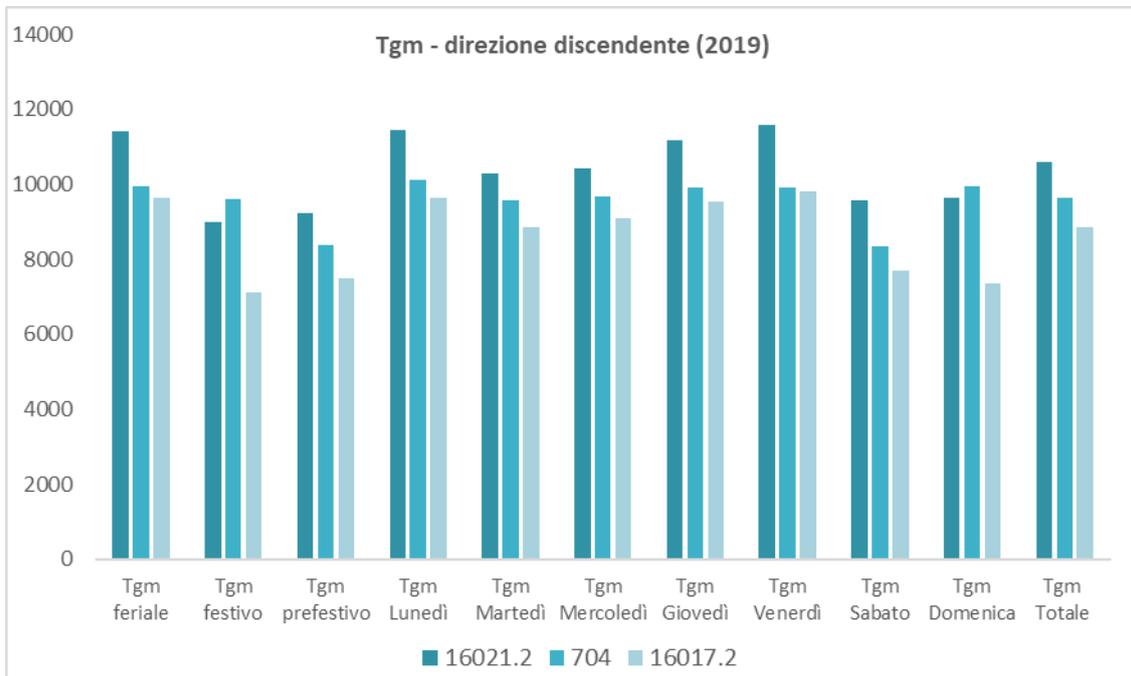


Figura 3.2 Distribuzione settimanale del TGM – direzione discendente

Dal grafico si può notare che dal lunedì al venerdì (giorni feriali) il TGM ha delle modeste variazioni in tutte le sezioni di rilievo:

- per la sezione 16021.2:
 - in direzione ascendente, la forbice del TGM nei giorni feriali va da un minimo di 8768 a un massimo di 9919;
 - in direzione discendente, da un minimo di 9919 a un massimo di 11585;
- per la sezione 704:
 - in direzione ascendente, la forbice del TGM nei giorni feriali va da un minimo di 9938 a un massimo di 10759;
 - in direzione discendente, da un minimo di 9563 a un massimo di 10110;
- per la sezione 16017.2:
 - in direzione ascendente, la forbice del TGM nei giorni feriali va da un minimo di 9081 a un massimo di 10234;
 - in direzione discendente, da un minimo di 8847 a un massimo di 9800.

Nella Figura 3.3 e nella Figura 3.4 per la sezioni 704 viene riportato il flusso stagionale e la distribuzione nei vari giorni della settimana. Le figure mostrano come nel periodo estivo vi è un incremento del 6% del traffico dei veicoli leggeri con punte del 15% la domenica quando la SS100 è attraversata dai vacanzieri che si dirigono verso le spiagge ad ovest di Taranto (per esempio Castellaneta Marina e Ginosà Marina). Questo è evidente anche nel diagramma della distribuzione giornaliera dei veicoli in cui è evidente una punta la mattina in direzione sud ed una punta nel tardo pomeriggio verso nord a comprova che è un flusso di veicoli che vanno verso le località balneari (Figura 3.5).

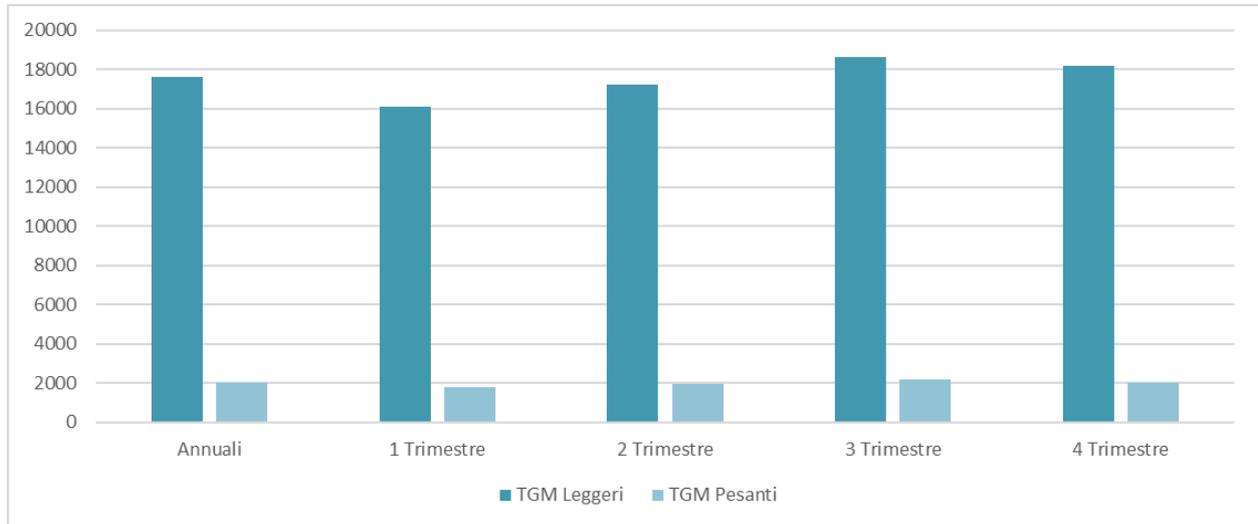


Figura 3.3 Distribuzione stagionale del TGM (ascendente+discendente) sez. 704 anno 2019

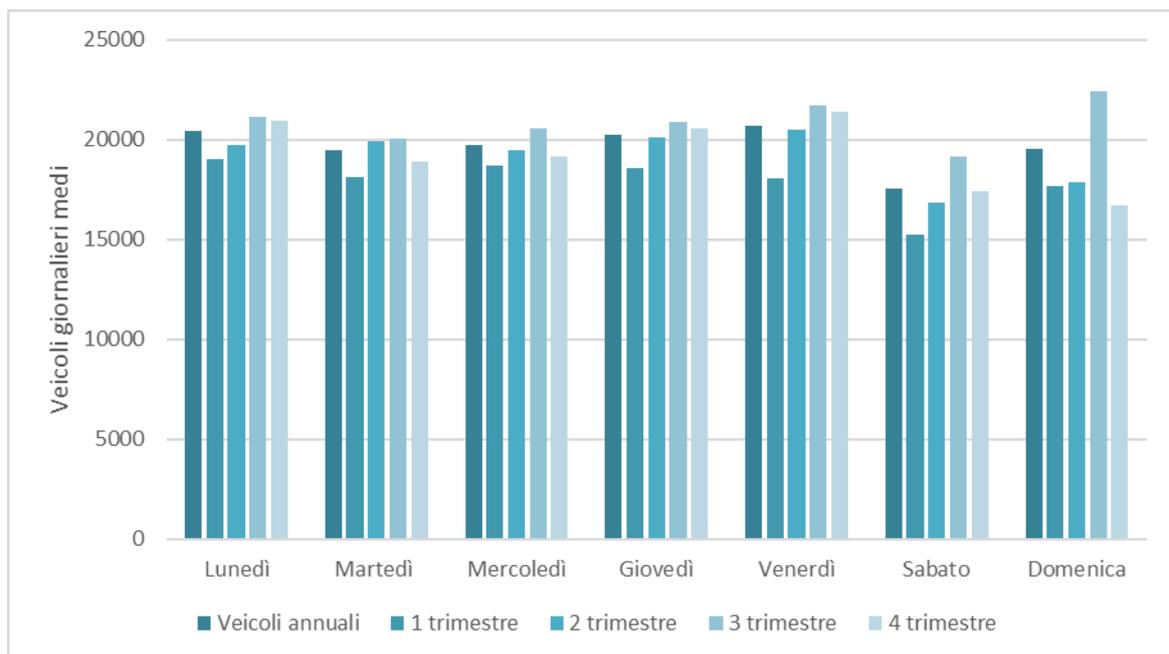


Figura 3.4 Distribuzione dei Veicoli Giornalieri medi nei vari giorni della settimana durante l'anno (sez. 704 anno 2019)

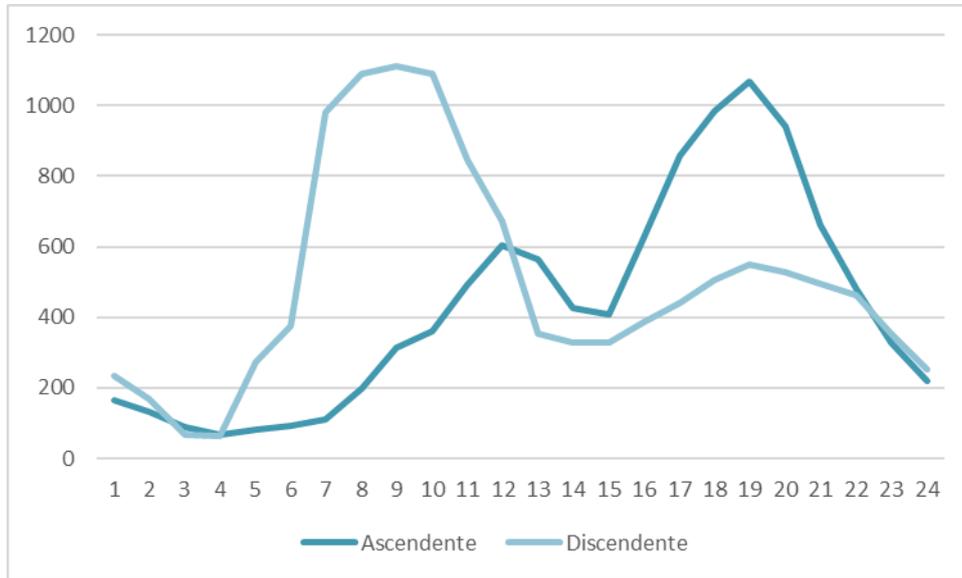


Figura 3.5 Distribuzione dei flussi nel giorno festivo in estate per le due direzioni (sez 704)

L'andamento dei flussi totali (direzione ascendente e discendente) nelle 24 ore ha le seguenti caratteristiche, in comune a tutte e tre le sezioni:

- concentrazione del traffico tra le 7:00 e le 20:00;
- picco mattutino tra le 8:00 e le 9:00;
- picco serale tra le 17:00 e le 18:00.

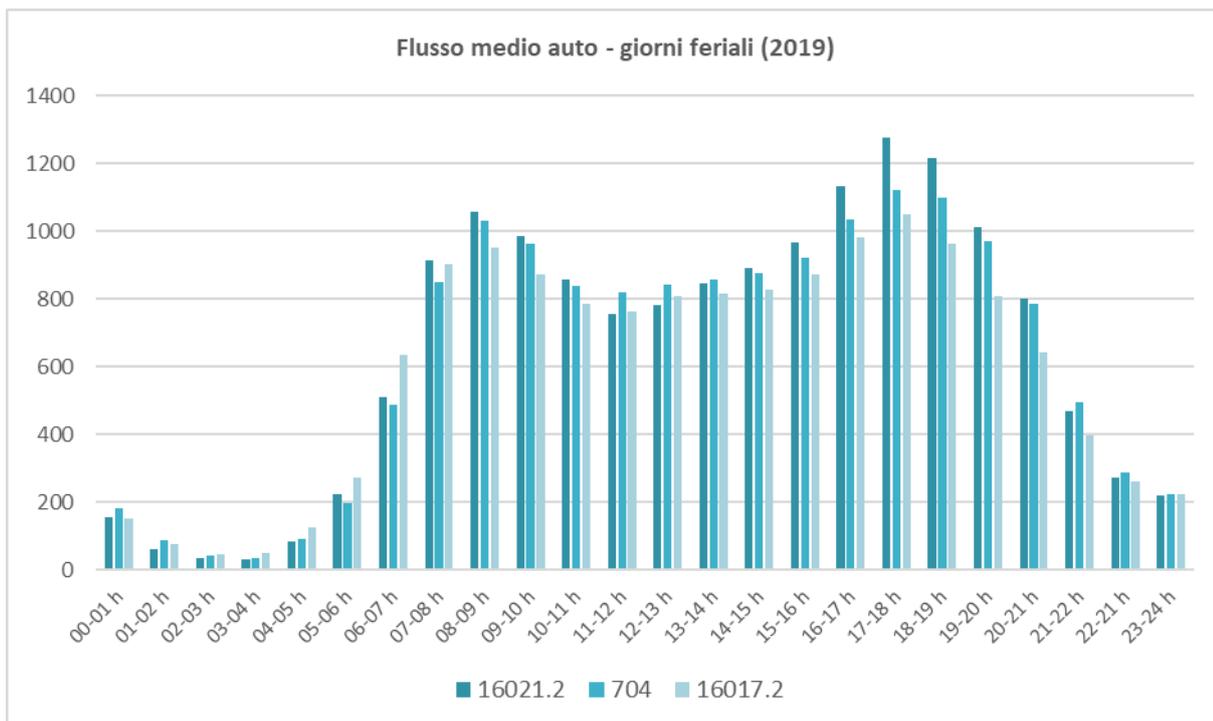


Figura 3.6 Distribuzione dei flussi nei giorni feriali

Analizzando separatamente i flussi ascendenti e discendenti nelle tre sezioni di rilievo si nota che i picchi che al mattino sono in una direzione, il pomeriggio sono nella direzione opposta. In particolare:

- Nella sezione 16021.2 il maggior flusso al mattino si ha nella direzione discendente tra le 8:00 e le 9:00. Tuttavia, in tale sezione la direzione discendente risulta essere quella con maggiori flussi fino alle ore 19:00. Dopodiché, si hanno maggiori flussi in direzione ascendente per il resto della giornata, con picco serale tra le 19:00 e le 20:00;
- Nella sezione 704 si ha il picco mattutino in direzione discendente tra le 8:00 e le 9:00 e il picco pomeridiano tra le 18:00 e le 19:00 in direzione ascendente;

Nella sezione 16017.2 si ha il picco mattutino tra le 8:00 e le 9:00 in direzione ascendente e il picco pomeridiano tra le 16:00 e le 17:00 in direzione ascendente.

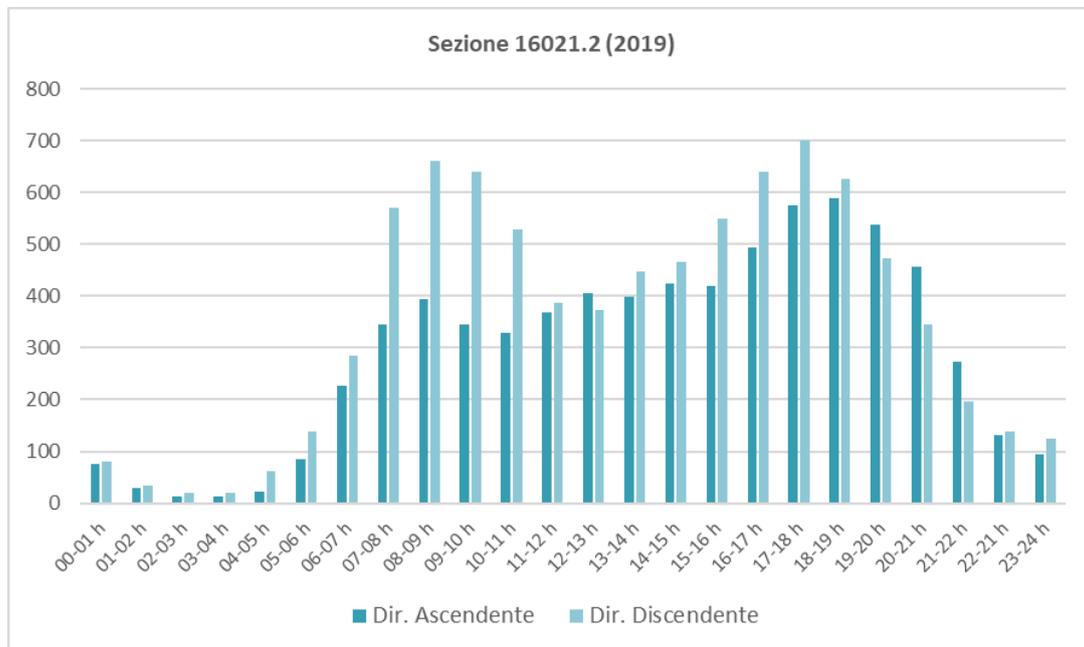


Figura 3.7 Distribuzione dei flussi (auto) nella giornata per le due direzioni (16021.2)

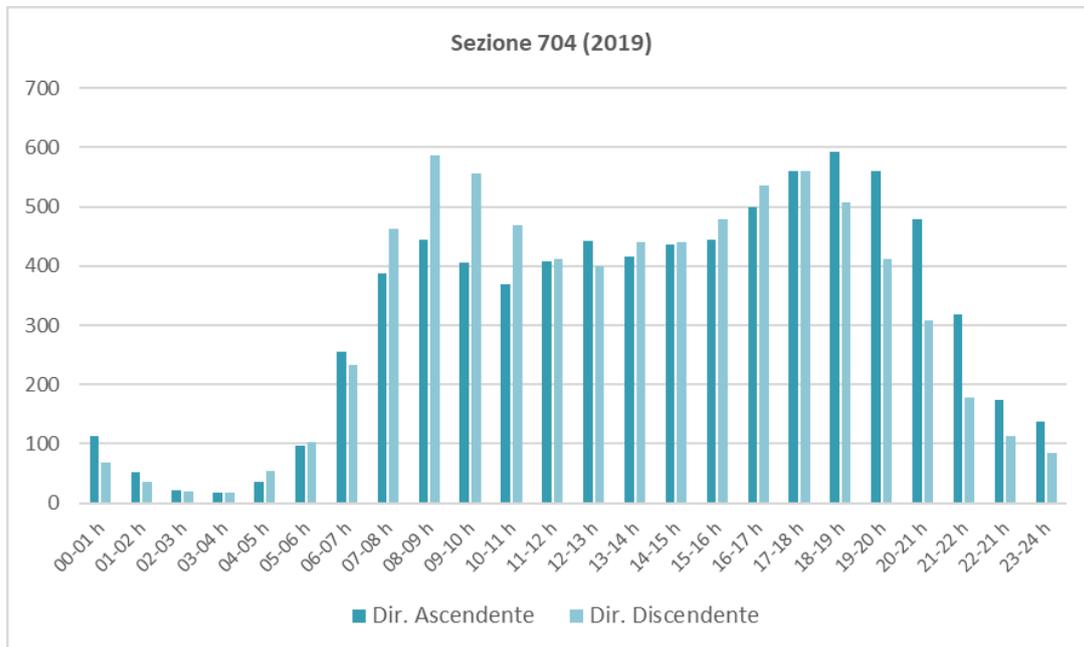


Figura 3.8 Distribuzione dei flussi (auto) nella giornata per le due direzioni (704)

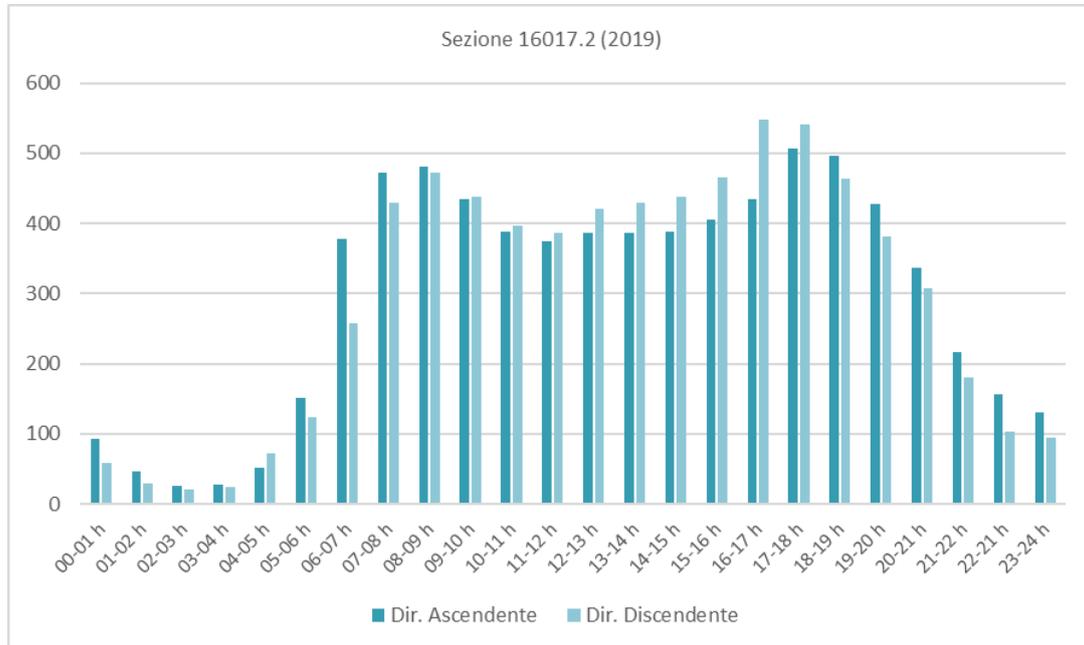


Figura 3.9 Distribuzione dei flussi (auto) nella giornata per le due direzioni (16017.2)

Al fine di analizzare il flusso medio dei veicoli pesanti, in questa ultima categoria sono stati considerati:

- Auto con rimorchi;
- Furgoni;
- Camion <7,5 m;
- Camion >7,5 m;

- Autotreni;
- Autoarticolati;
- Autobus.

Come è possibile vedere dall'immagine sottostante (Figura 3.10), tutte e tre le sezioni presentano un flusso medio dei veicoli pesanti maggiore nella fascia oraria 12:00 – 13:00

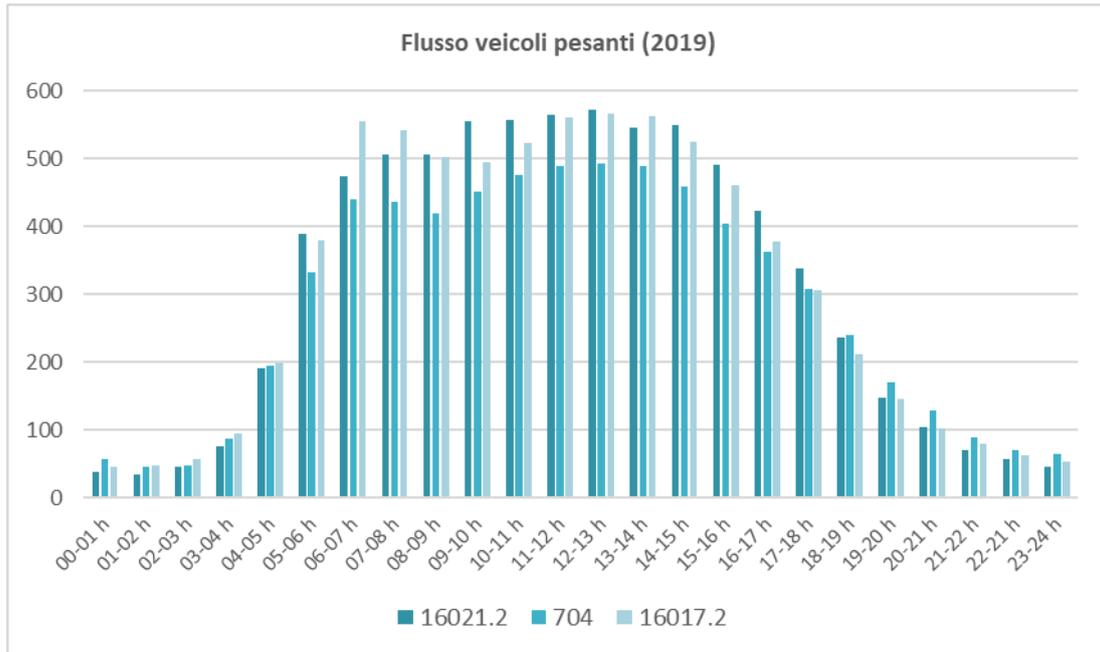


Figura 3.10 Andamento dei flussi dei veicoli pesanti nei giorni feriali

Nelle ore notturne il traffico di veicoli pesanti, in percentuale, è nettamente maggiore di quello dei veicoli leggeri. Il picco percentuale si ha per tutte e tre le sezioni tra le 3:00 e le 4:00 di notte, in particolare:

- Sezione 16021.2: nella suddetta fascia oraria il traffico dei veicoli pesanti è il 224% di quello dei veicoli leggeri;
- Sezione 704: nella suddetta fascia oraria il traffico dei veicoli pesanti è il 226% di quello dei veicoli leggeri;
- Sezione 16017.2: nella suddetta fascia oraria il traffico dei veicoli pesanti è il 181% di quello dei veicoli leggeri.

Tali condizioni tengono a decrescere rapidamente, infatti nelle tre sezioni tra le 7:00 e le 24:00 si ha una media di:

- Sezione 16021.2: 42% di veicoli pesanti rispetto ai veicoli leggeri;
- Sezione 704: 37% di veicoli pesanti rispetto ai veicoli leggeri;
- Sezione 16017.2: 44% di veicoli pesanti rispetto ai veicoli leggeri

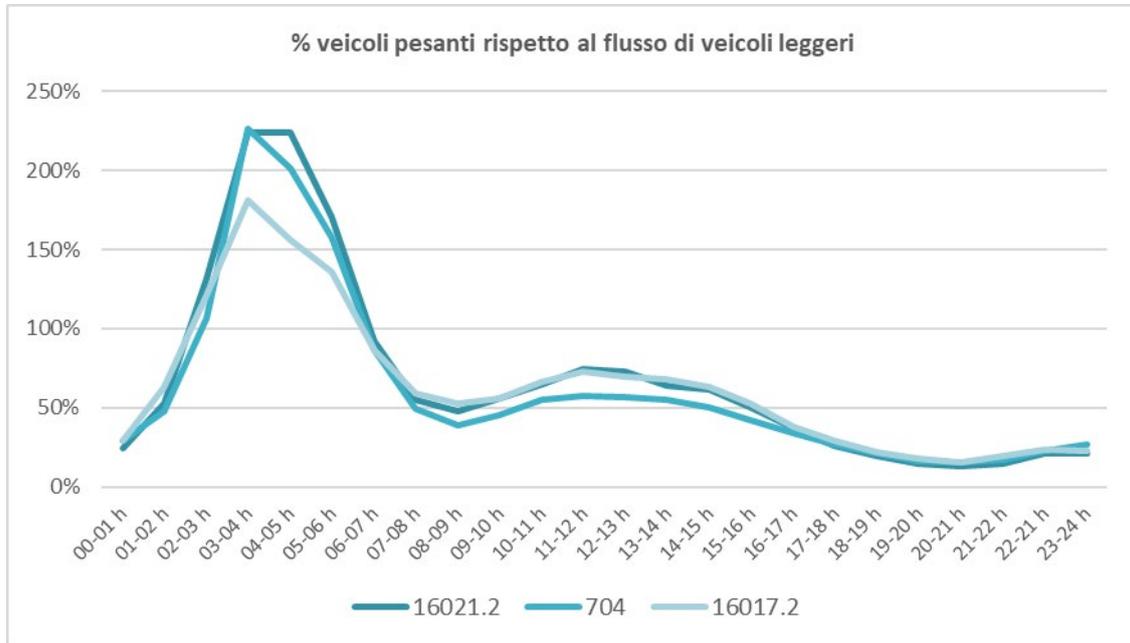


Figura 3.11 Percentuale di veicoli pesanti rispetto ai veicoli leggeri

Per la stesura del grafico sovrastante, i veicoli leggeri sono stati considerati come somma delle auto e delle moto. Tuttavia, le moto rappresentano una percentuale irrisoria rispetto alla totalità delle auto (0,4% nella sezione 16021.2; 4,9% nella 704; 0,7% nella sezione 16017.2).

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:

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

- 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 SS100 i valori del TGM sono riassunti in Tabella 4.1.

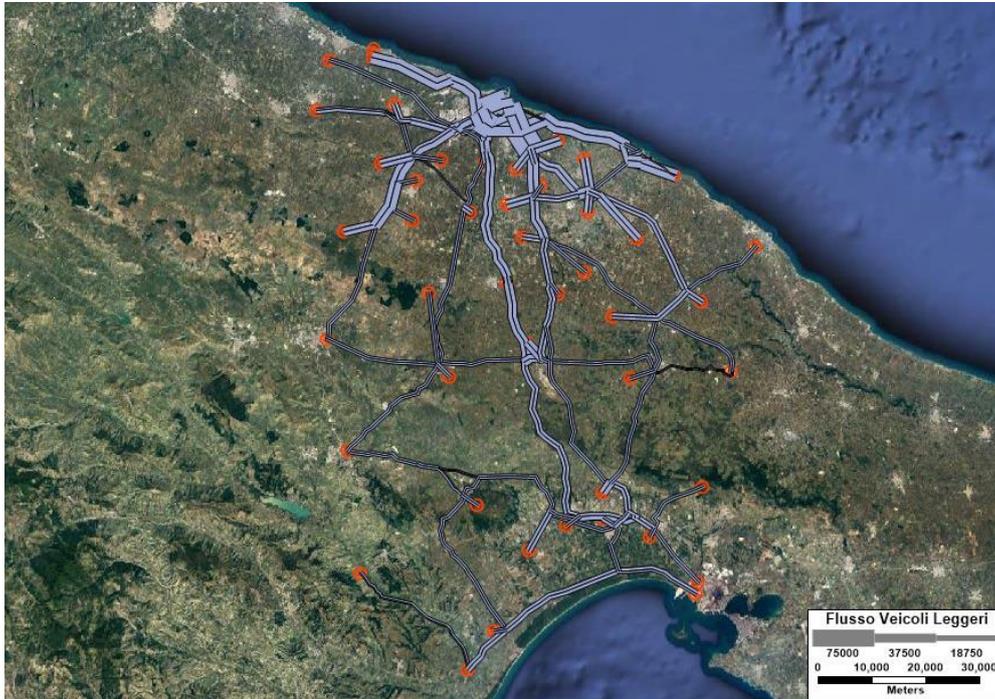


Figura 4.1: Mappa di assegnazione della rete di trasporto stradale nella simulazione dello Scenario Attuale - Veicoli Leggeri



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 SS100 nello scenario attuale

| | SS100 |
|----------------------------|--------------|
| TGM Veicoli leggeri | 12.227 |
| TGM Mezzi Pesanti | 2.383 |
| Veicoli Equivalenti Totali | 18.185 |

Nella Tabella 4.2 sono riportati gli indicatori di scenario calcolati che scaturiscono dal modello elaborato.

Tabella 4.2: Indicatori di rete – Scenario Attuale (2018)

| | | |
|-------------------------------|---------|------------|
| Percorrenza (veic*km) | leggeri | 11.877.182 |
| | pesanti | 1.054.630 |
| | totale | 12.931.812 |
| Tempi su rete (veicoli*h) | leggeri | 163.448 |
| | pesanti | 177.678 |
| | totale | 80.736 |
| Velocità medie di rete (km/h) | leggeri | 76,0 |
| | pesanti | 65,1 |

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 SS100 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 | 13.564.632 | 15.468.423 |
| | pesanti | 1.217.698 | 1.358.899 |
| | totale | 14.782.330 | 16.827.323 |
| Tempi su rete (veicoli*h) | leggeri | 188.604 | 219.475 |
| | pesanti | 16.547 | 18.724 |

| | Categoria Veicolare | 2026 | 2036 |
|-------------------------------|---------------------|---------|---------|
| | totale | 205.151 | 238.199 |
| Velocità medie di rete (km/h) | leggeri | 75,2 | 71,4 |
| | pesanti | 64,6 | 61,1 |

Il TGM simulato sulla tratta della SS100 oggetto dell'adeguamento è riportato nella tabella seguente

Tabella 4.4: Valori del flusso simulato sulla tratta di progetto nello scenario di non progetto0

| | 2026 | 2036 |
|----------------------------|--------|--------|
| TGM Veicoli leggeri | 13.924 | 15.726 |
| TGM Mezzi Pesanti | 2.740 | 3.043 |
| Veicoli Equivalenti Totali | 20.774 | 23.334 |

4.3.2 Scenario di Progetto

Nello scenario di progetto si prevede l'adeguamento alla sezione B di cui al D.M. 5/11/2001 della SS100 il tratto compreso da Gioia del Colle a San Basilio.

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 e di capacità.

Le variazioni delle caratteristiche della SS100 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.

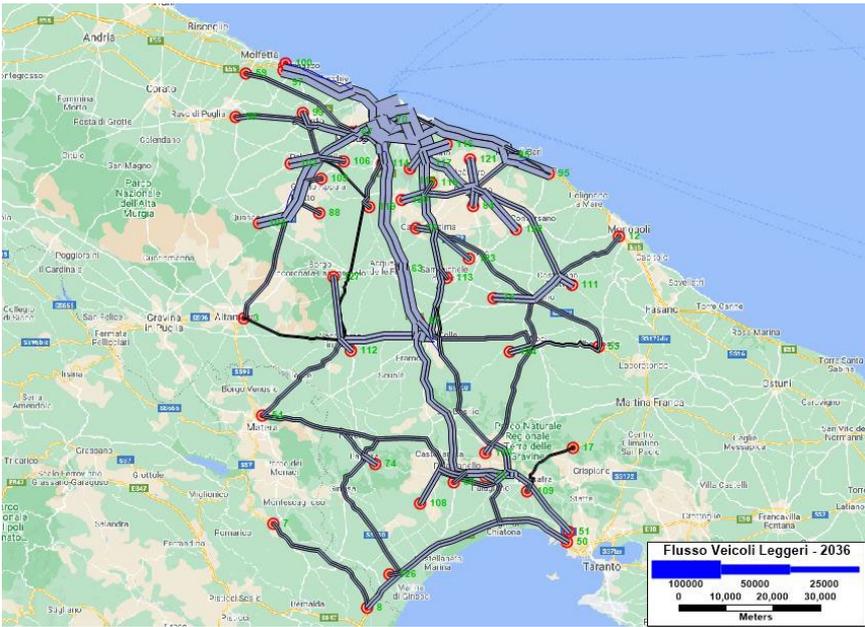


Figura 4.3: Mappa di assegnazione della rete di trasporto stradale nella simulazione dello Scenario di Progetto 2036 – Veicoli Leggeri

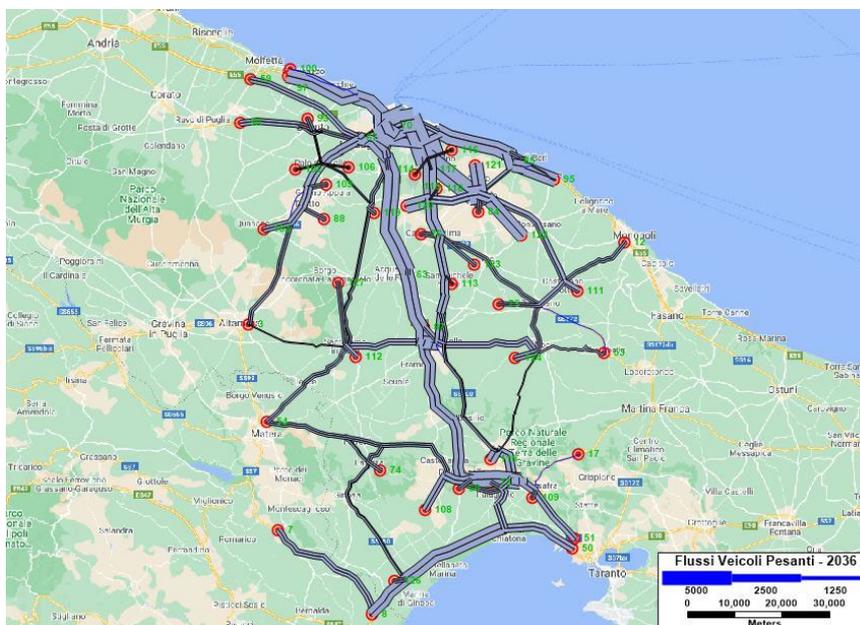


Figura 4.4: Mappa di assegnazione della rete di trasporto stradale nella simulazione dello Scenario di Progetto 2036 – Mezzi Pesanti

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 | 13.593.699 | 15.454.095 |
| | pesanti | 1.217.666 | 1.358.033 |
| | totale | 14.813.359 | 16.812.128 |
| Tempi su rete (veicoli*h) | leggeri | 188.708 | 218.832 |
| | pesanti | 16.454 | 18.591 |
| | totale | 205.162 | 237.423 |
| Velocità medie di rete (km/h) | leggeri | 75,36 | 71,53 |
| | pesanti | 64,71 | 61,25 |

Tabella 4.6: Indicatori di rete – variazione tra Scenario di Riferimento e Scenario di Progetto (2026 e 2036)

| | Categoria Veicolare | 2026 | 2036 |
|-------------------------------|---------------------|--------|---------|
| Percorrenza (veic*km) | leggeri | -5.555 | -14.329 |
| | pesanti | -32 | -866 |
| | totale | -5.587 | -15.195 |
| Tempi su rete (veicoli*h) | leggeri | -626 | -643 |
| | pesanti | -131 | -133 |
| | totale | -757 | -777 |
| Velocità medie di rete (km/h) | leggeri | 0.13 | 0.16 |

| | Categoria Veicolare | 2026 | 2036 |
|--|---------------------|------|------|
| | pesanti | 0.15 | 0.11 |

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 SS100 oggetto dell'intervento di adeguamento funzionale hanno un incremento rispetto allo scenario attuale.

Il TGM complessivo è pari a 18.148 veicoli/giorno nel 2026 ovvero con un incremento del 15% rispetto allo scenario attuale e 20.338 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) | 15.380 | 17.333 |
| TGM Mezzi Pesanti (veicoli/giorno) | 2.768 | 3.055 |
| TGM Totale (veicoli/giorno) | 18.148 | 20.388 |
| Veicoli Equivalenti Totali | 22.301 | 24.971 |

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 SS100 progetto 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).

La procedura proposta dal manuale HCM è basata sull'analisi di segmenti base autostradali, ma può essere facilmente utilizzata anche estesi segmenti, non necessariamente autostradali. Le curve di deflusso velocità media-volume e volume-densità per un segmento base dipendono dalle condizioni prevalenti di strada e traffico. Nella figura seguente si riportano le curve velocità media-volume.

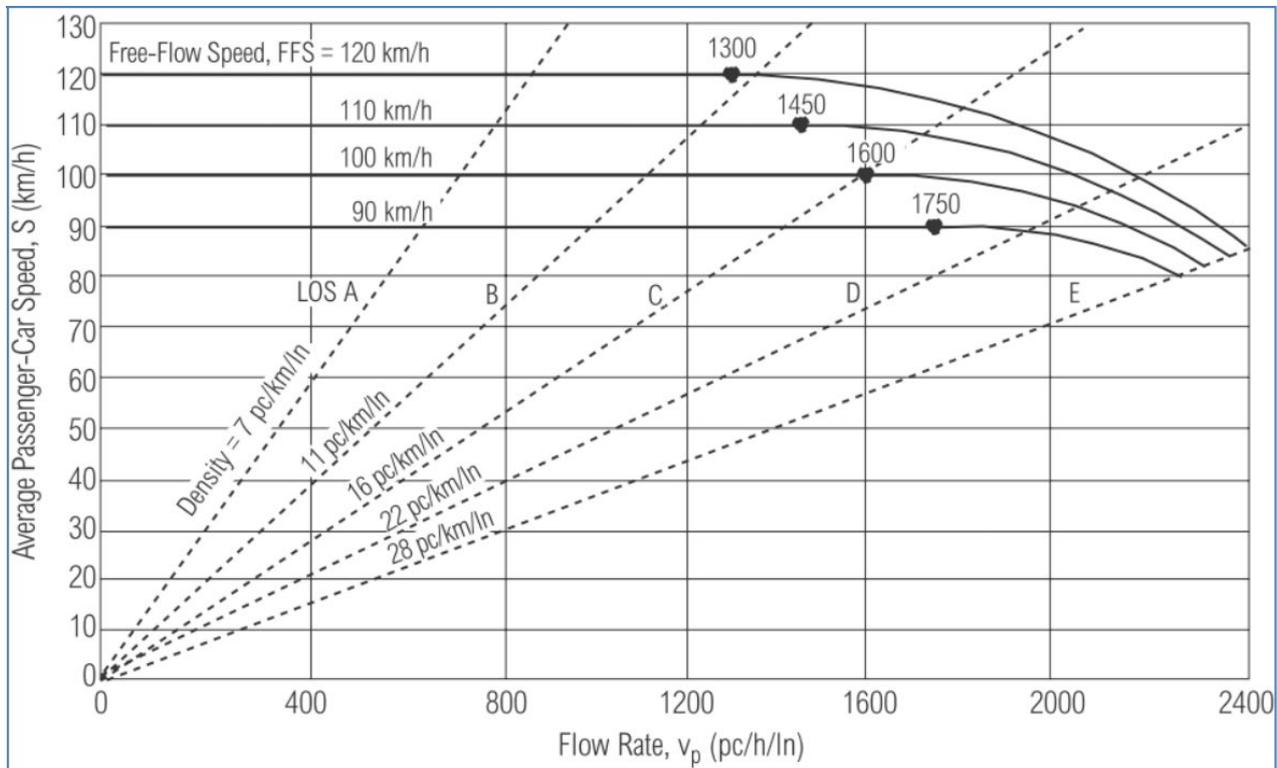


Figura 5.1: Curve Velocità-Volume e LdS

Nel grafico sono riportate le curve di quattro velocità a flusso libero (FFS), caratteristiche nel range 120-90 km/h. Tutte le curve presentano un lungo tratto orizzontale, che arriva a valori di flusso abbastanza elevati (1300-1750 av/h per corsia), che mostrano come la velocità media non vari in modo evidente all'aumentare dei valori di flusso sino ai livelli indicati.

I fattori che influenzano la FFS sono parecchi: numero e larghezza delle corsie, franchi laterali (in destra e in sinistra), distanza tra gli svincoli etc; in aggiunta ci sono altri elementi difficilmente quantificabili, come la planimetria, i limiti di velocità, la visibilità, le condizioni meteo etc.

Per calcolare il livello di servizio della SS100 (strada a 4 corsie 2 per senso di marcia), viene utilizzata la densità come parametro primario di valutazione, secondo la relazione

$$K = v_p / VMV$$

Dove K= densità veicolare,

V_p = Intensità di traffico,

ATS = Velocità media di viaggio delle autovetture,

La procedura va attuata separatamente per ciascuno dei due sensi di marcia del segmento preso in esame.

Per il calcolo della ATS in questo progetto viene usata la formula:

$$ATS = FFS$$

5.1 CALCOLO DEL LOS

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
- Interscambi a distanza maggiore di 3,3 km

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:

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

- 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

Una volta ricavati i valori dell'intensità di traffico e della velocità media di viaggio, si calcola la densità veicolare

A questo punto il LdS si individua comparando la densità trovata con i range di densità indicati in Figura 5.1 o Tabella 5.1

Tabella 5.1: - Livello di Servizio in funzione della densità

| LDS | A | B | C | D | E | F |
|-----|-----|-------|--------|--------|--------|-----|
| K | 0-7 | >7-11 | >11-16 | >16-22 | >22-28 | >28 |

I dati di ingresso per la stima del LOS della SS100 sono di seguito riassunti:

- larghezza corsie ml 3,75
- larghezza banchine 1,75

- 2 corsie per ogni senso di marcia
- percentuale di non sorpasso 0%

Con tali dati si ottengono i seguenti valori:

| | |
|---------------------|------------|
| Flusso ora di punta | 1040 |
| V_p | 490 |
| FFS | 87,9 |
| K | 5,6 |

Il valore della densità confrontato con i valori di riferimento riportati nella Tabella 7.1 determina che il livello di servizio nello scenario futuro è di tipo **A**.

6 VERIFICA DELLA CAPACITÀ DELLA ROTATORIA SS100 SP23

È stata effettuata la verifica della capacità della rotatoria progettata sulla tra la SS100 e la SP23 in località San Basilio.

Per il calcolo della capacità della rotatoria SS100 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): $C=f(Q_u, Q_c, L_c, L_d, L_i)$.

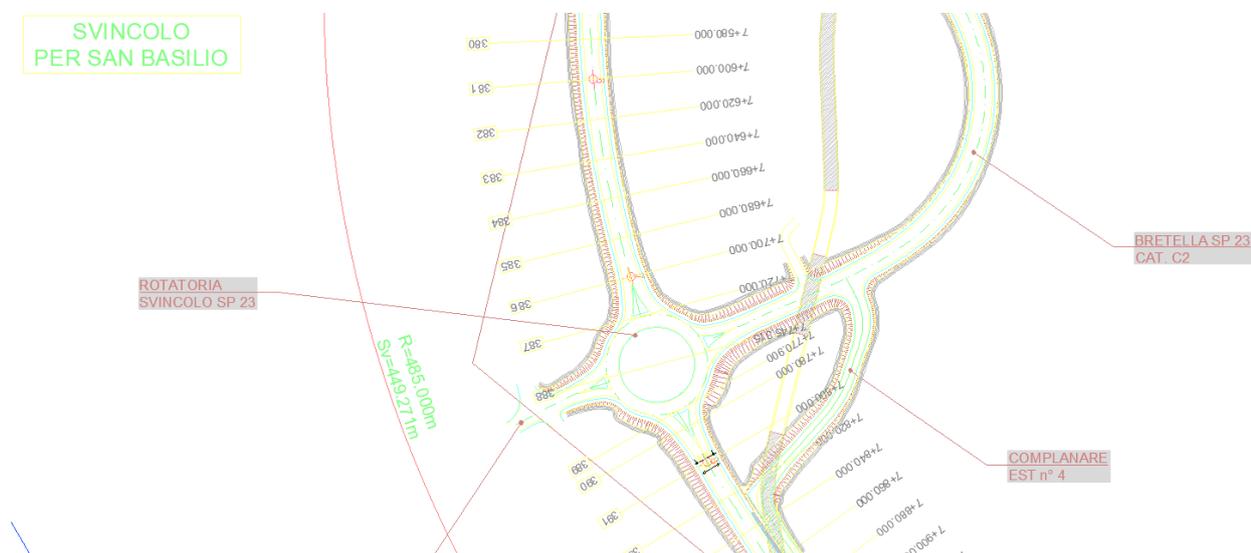


Figura 6.1. Progetto della rotatoria

I rami della rotatoria suddetta sono stati schematizzati come segue:

- Ramo A: SS100 Nord-Sud
- Ramo B: complanare
- Ramo C: SS100 Sud-Nord
- Ramo D: SP23

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 | 148 | 3374 | 2232 |
| Ramo B | 300 | 0 | 99 | 190 |
| Ramo C | 3135 | 110 | 0 | 105 |
| Ramo D | 1404 | 266 | 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 SS100.

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 | 16 | 371 | 246 | 633 |
| Ramo B | 33 | 0 | 11 | 21 | 65 |
| Ramo C | 345 | 12 | 0 | 12 | 369 |
| Ramo D | 154 | 29 | 11 | 0 | 195 |
| Uscite | 532 | 58 | 393 | 278 | 0 |

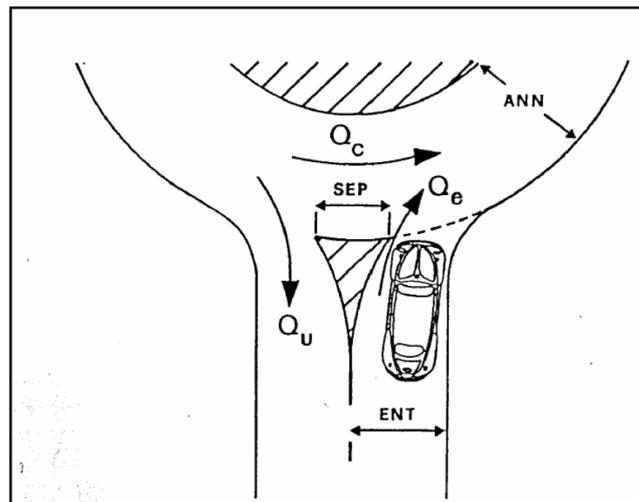


Figura 6.2. Grandezze geometriche della rotatoria

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

Tabella 6.3. Caratteristiche geometriche della rotatoria

| CARATTERISTICHE DELLA ROTATORIA | | GEOMETRICHE | 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 | 3,5 | 3,75 | 3,5 | m |
| Lc | Larghezza dell'anello | | 6 | 6 | 6 | 6 | m |
| Ld | Larghezza dell'isola spartitraffico | | 12,00 | 9.64 | 11.85 | 9.19 | 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:

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

Equazione 5 Traffico uscente equivalente Q'_u

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

Equazione 6 Traffico complessivo di disturbo Q_d

La capacità di ogni braccio si ottiene mediante la formula:

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

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 | 64,79 | 368,50 | 194,70 | veic/h |
| Qu | Flusso di traffico uscente | 532,29 | 57,64 | 393,03 | 277,97 | 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 | 133,75 | 597,68 | 233,98 | 466,02 | 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.

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

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 | 634,35 | 846,83 | 826,87 | 809,08 | veic/h |
| RC (%) | Riserva di capacità percentuale | 50% | 93% | 69% | 81% | % |
| Condizione di esercizio | | Fluida | Fluida | Fluida | Fluida | - |

7 ANALISI INCIDENTALITÀ

Per l'analisi dell'incidentalità della tratta della SS100 oggetto del presente studio sono stati utilizzati i valori dell'incidentalità dell'ACI relativi al periodo 2015-2019 nella tratta dal Km 42 al Km 52 che sono riportati nella Tabella 7.1 e graficizzati in Figura 7.1.

Tabella 7.1: Dati incidentalità SS100 – 2015-2019

| Anno | Incidenti | Feriti | Morti |
|--------------------|------------|------------|------------|
| 2015 | 5 | 12 | 1 |
| 2016 | 2 | 3 | 0 |
| 2017 | 4 | 12 | 0 |
| 2018 | 5 | 16 | 5 |
| 2019 | 3 | 5 | 0 |
| Media Annua | 3.8 | 9.6 | 1.2 |

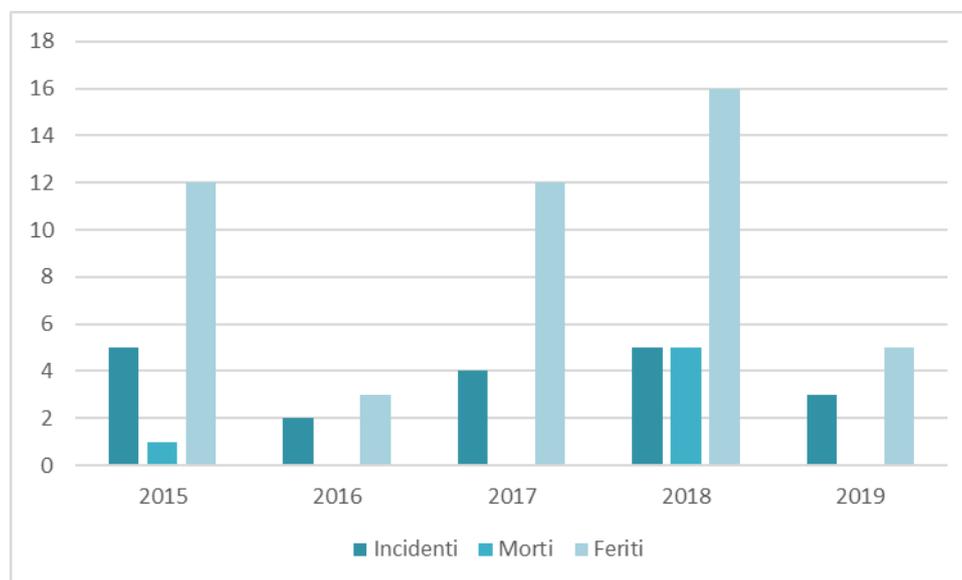


Figura 7.1: Incidentalità SS100 – 2015-2019

La realizzazione del progetto determinerà una riduzione dell'incidentalità stradale. Secondo studi ANAS l'adeguamento di una strada esistente a sezione tipo B ha come effetto la riduzione del 25% del numero di incidenti, del 40% del numero di feriti e del 60% del numero di morti.

Applicando queste percentuali i valori medi dell'incidentalità sulla tratta in esame si ridurranno così come indicato nella Tabella 7.2.

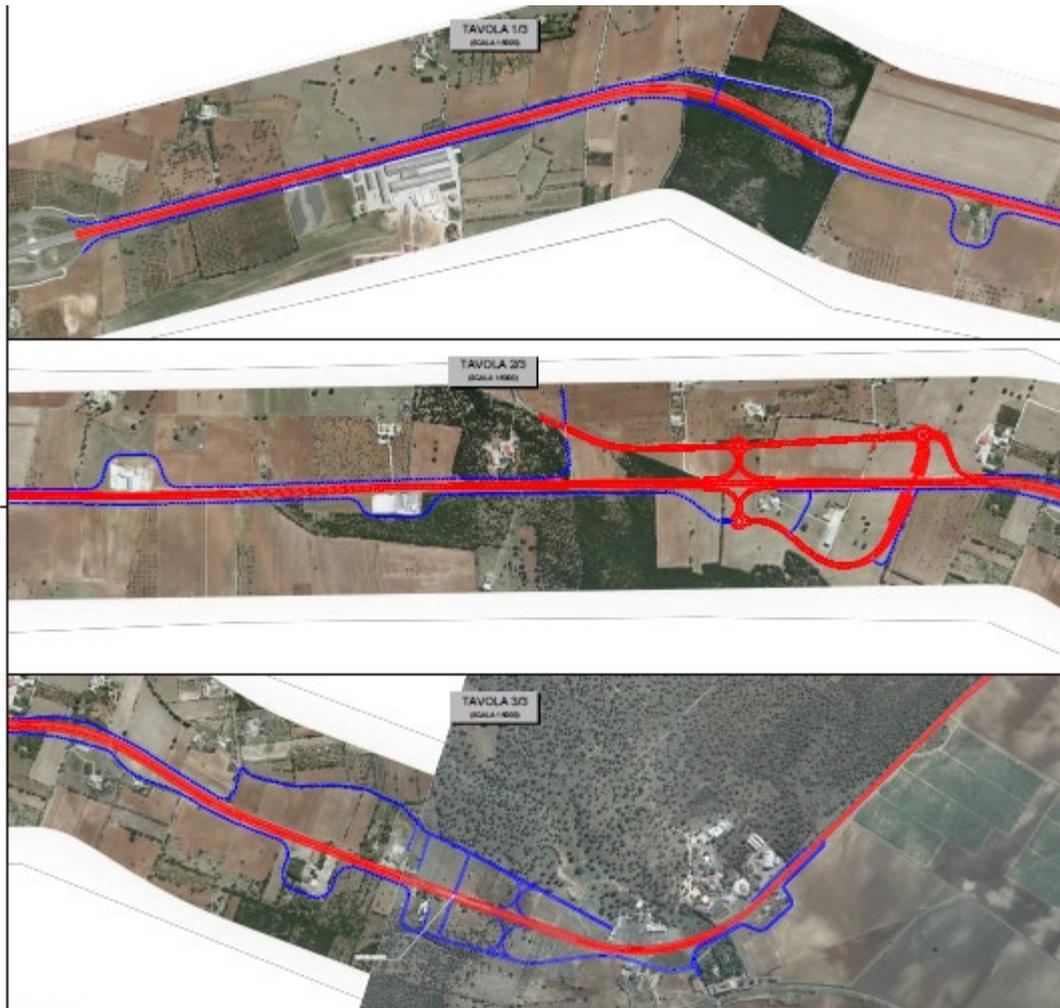
Tabella 7.2: Confronto Indicatori Incidentalità

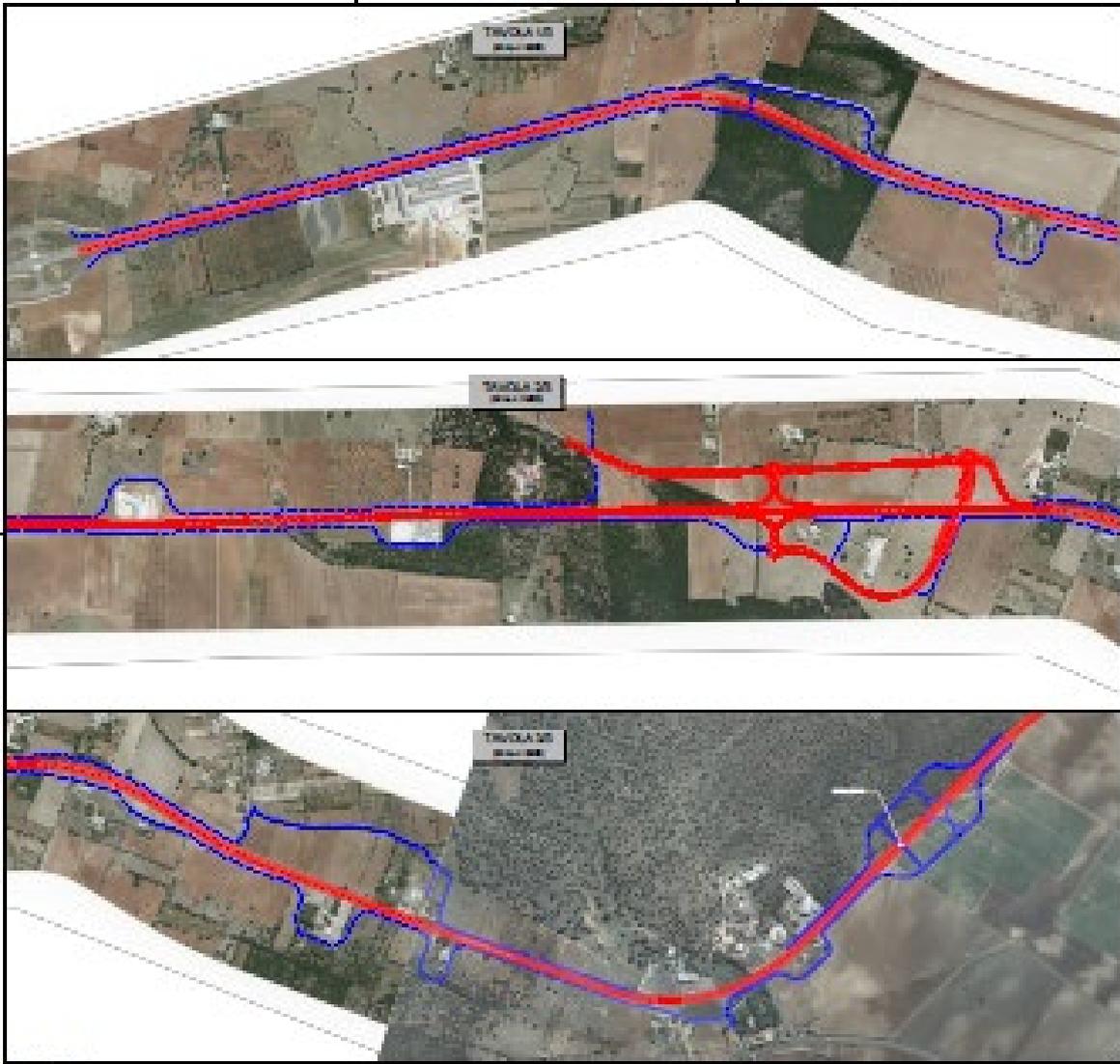
| | Incidenti | Feriti | Morti |
|---|------------------|---------------|--------------|
| Scenario attuale (media annua 2015-2019) | 3.8 | 9.6 | 1.2 |
| Scenario di progetto | 2.85 | 5.76 | 0.48 |
| Variazione rispetto allo scenario attuale | -0.95 | -3.84 | -0.72 |

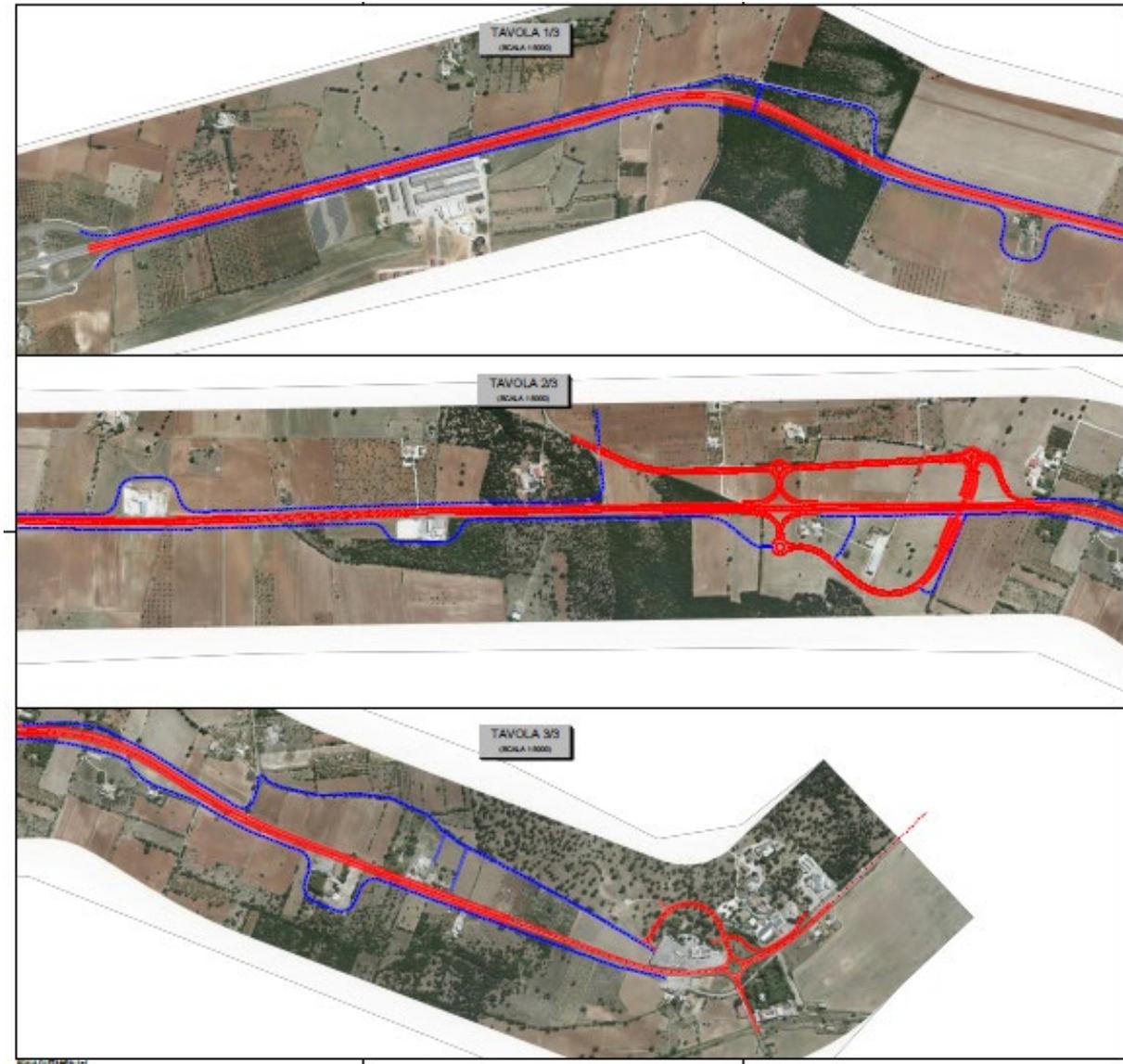
8 VALUTAZIONI ALTERNATIVE DI TRACCIATO

Le alternative di tracciato studiate per l'adeguamento in sede della SS100 da Gioia del Colle a San Basilio sono molto simili tra loro e sono riportate nelle figure seguenti.

Le tre alternative si differenziano sostanzialmente per la scelta di dove posizionare l'intersezione di San Basilio e la tipologia di intersezione (rotatoria o svincolo sfalsato).







8.1 ANALISI MULTICRITERIA

Il metodo scelto per effettuare l'analisi è il metodo elementare della somma ponderata in cui la performance totale di ciascuna alternativa è data dalla sommatoria dei valori espressi in termini di utilità associati a ciascun criterio e moltiplicati per il rispettivo peso. In tal modo l'ordinamento finale che ne scaturisce è sempre completo (tutte le alternative saranno ordinate dalla migliore alla peggiore) e cardinale (le differenze di punteggi tra le alternative hanno significato).

8.1.1 Criteri di valutazione

Per l'analisi multicriterio sono stati utilizzati 4 gruppi di criteri:

- Caratteristiche del contesto;
- Caratteristiche trasportistiche
- Caratteristiche del tracciato
- Caratteristiche economiche.

Nella Tabella seguente sono riportati i criteri utilizzati e la loro descrizione

Tabella 8.1: Criteri Analisi Multicriterio

| Gruppo Criteri | Criteri | Descrizione criteri |
|---------------------------------|----------------------------|--|
| Caratteristiche del contesto | Uso del suolo | L'uso del suolo indica la perdita di una risorsa ambientale dovuta all'occupazione di superficie originariamente agricola, naturale o seminaturale |
| | Aree naturali attraversate | La presenza delle aree naturali attraversate |
| | Percezione visiva | La percezione visiva indica le informazioni che riceviamo, attraverso gli occhi, dal territorio attraversato dalla strada |
| Caratteristiche trasportistiche | Tempo di viaggio | indica il tempo risparmiato grazie alla percorrenza della nuova infrastruttura |
| | Distanza di percorrenza | Indica i chilometri risparmiati grazie alla nuova infrastruttura |
| Caratteristiche del tracciato | Sicurezza | indica il grado di sicurezza della strada |
| | Comfort alla guida | è la percezione che l'utente ha nel percorrere la strada |
| Caratteristiche economiche | Costi di realizzazione | è il costo per realizzare l'infrastruttura |

I criteri utilizzati per analizzare le differenti alternative studiate sono riportati nella Figura 8.1, in cui sono stati indicati, qualitativamente, anche i valori di ciascun criterio per le differenti alternative.

| = | C/B | Unit | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 |
|--|-----|-------|---------------|---------------|---------------|
| - Caratteristiche del contesto | | | | | |
| Uso del suolo | | 0/+++ | ++ | ++ | ++ |
| Aree naturali attraversate | | 0/+++ | +++ | ++ | +++ |
| Percezione visiva | | 0/+++ | ++ | ++ | +++ |
| - Caratteristiche trasportistiche | | | | | |
| Variazione di percorrenza | | 0/+++ | ++ | ++ | +++ |
| Variazione di tempo | | 0/+++ | ++ | ++ | +++ |
| - Caratteristiche del tracciato | | | | | |
| Confort di guida | | 0/+++ | ++ | ++ | +++ |
| Sicurezza di guida | | 0/+++ | +++ | +++ | ++ |
| - Caratteristiche economiche | | | | | |
| Costi di realizzazione | | ---/0 | --- | --- | -- |

Figura 8.1: Matrice Criteri - Alternative

In Figura 8.2 sono riportati i criteri adottati per l'analisi e come sono stati considerati (massimizzazione o minimizzazione).

| = | | C/B | Unit | Standardization method | Minimum Range | Maximum Range |
|---|--|-----|-------|------------------------|---------------|---------------|
| - | Caratteristiche del contesto | | | | | |
| | Uso del suolo | | 0/+++ | ↗ maximum | 0 | +++ |
| | Aree naturali attraversate | | 0/+++ | ↗ maximum | 0 | +++ |
| | Percezione visiva | | 0/+++ | ↗ maximum | 0 | +++ |
| - | Caratteristiche trasportistiche | | | | | |
| | Variazione di percorrenza | | 0/+++ | ↗ maximum | 0 | +++ |
| | Variazione di tempo | | 0/+++ | ↗ maximum | 0 | +++ |
| - | Caratteristiche del tracciato | | | | | |
| | Confort di guida | | 0/+++ | ↗ maximum | 0 | +++ |
| | Sicurezza di guida | | 0/+++ | ↗ maximum | 0 | +++ |
| - | Caratteristiche economiche | | | | | |
| | Costi di realizzazione | | ---/0 | ↘ maximum | --- | 0 |

Figura 8.2: Criteri Adottati

8.1.2 Pesì da attribuire ai criteri

Come precedentemente specificato, il metodo consiste nel valutare il punteggio finale attribuito ad ogni configurazione in base ai risultati ottenuti per ogni criterio moltiplicati per il rispettivo peso.

La definizione dei pesi è stata affrontata per mezzo di un processo di tipo AHP (Analytic Hierarchy Process). Questo processo è basato sul confronto a coppie dei criteri. In ciascun confronto viene individuato quale dei criteri viene considerato prevalente (o se i due criteri debbano essere considerati egualmente rilevanti). Attraverso l'analisi di tali confronti è possibile derivare i pesi da attribuire a ciascun criterio sotto il vincolo che la somma dei pesi sia pari ad 1. Per l'applicazione attuale, il confronto a coppie è stato strutturato in due fasi. Nella prima parte fase il confronto ha riguardato i quattro gruppi di criteri. Nella seconda fase il confronto ha riguardato i criteri in ciascun gruppo.

I risultati sono sintetizzati nella figura seguente (Figura 8.3).

| = | | C/B | Unit | Standardization method | Minimum Range | Maximum Range | Weight level 1 | Weight level 2 | Weight |
|---|--|-----|-------|------------------------|---------------|---------------|----------------|----------------|--------------|
| - | Caratteristiche del contesto | | | | | | 0,178 | | |
| | Uso del suolo | | 0/+++ | ↗ maximum | 0 | +++ | | 0,143 | 0,025 |
| | Aree naturali attraversate | | 0/+++ | ↗ maximum | 0 | +++ | | 0,714 | 0,127 |
| | Percezione visiva | | 0/+++ | ↗ maximum | 0 | +++ | | 0,143 | 0,025 |
| - | Caratteristiche trasportistiche | | | | | | 0,170 | | |
| | Variazione di percorrenza | | 0/+++ | ↗ maximum | 0 | +++ | | 0,500 | 0,085 |
| | Variazione di tempo | | 0/+++ | ↗ maximum | 0 | +++ | | 0,500 | 0,085 |
| - | Caratteristiche del tracciato | | | | | | 0,470 | | |
| | Confort di guida | | 0/+++ | ↗ maximum | 0 | +++ | | 0,167 | 0,078 |
| | Sicurezza di guida | | 0/+++ | ↗ maximum | 0 | +++ | | 0,833 | 0,392 |
| - | Caratteristiche economiche | | | | | | 0,182 | | |
| | Costi di realizzazione | | ---/0 | ↗ maximum | --- | 0 | | 1,000 | 0,182 |

Figura 8.3: Attribuzione dei pesi

8.1.3 Risultati delle analisi

Con riferimento ai criteri e ai pesi precedentemente definiti, attraverso il software Definite 2.0 (Decision on a FINITE set of alternatives) (Janssen et al., 2001) ed utilizzando il metodo della somma pesata sono stati ottenuti i risultati riportati in Figura 8.3, che evidenziano che la migliore alternativa progettuale sia la n. 3.

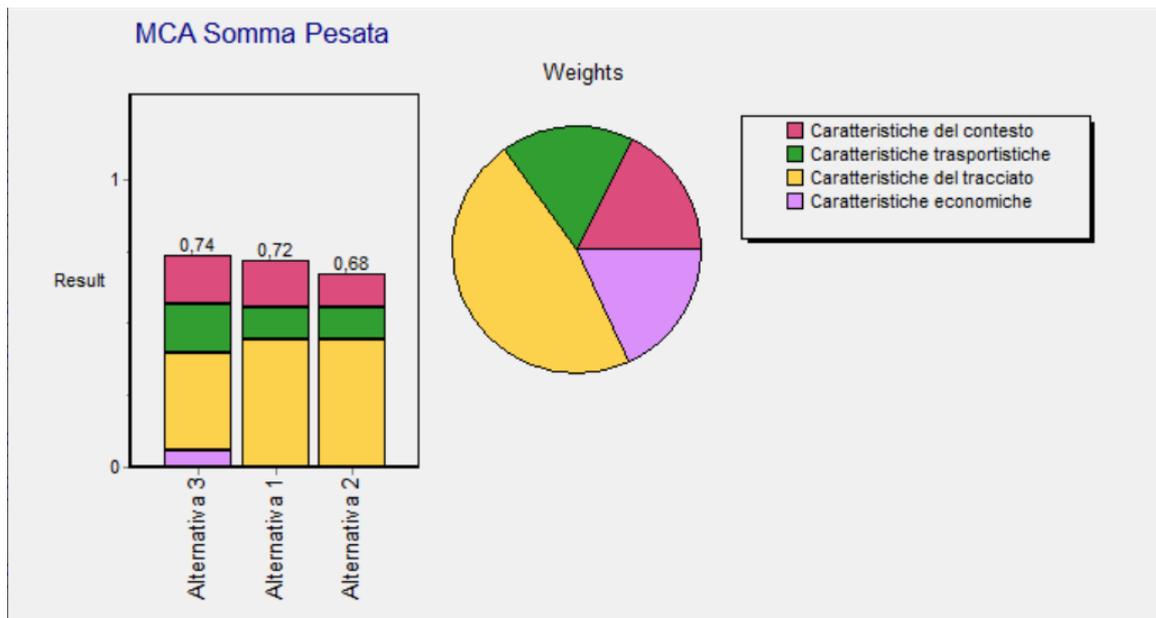


Figura 8.4: Risultati analisi multicriterio -Metodo Somma Pesata

8.1.4 Analisi Multicriterio con il metodo Regime

La valutazione multicriteriale è stata anche realizzata applicando il metodo REGIME ed utilizzando sempre il software Definite 2.0.

Il metodo Regime si basa su due requisiti essenziali: la strutturazione di una matrice di valutazione e l'attribuzione di un insieme di pesi ai criteri di valutazione. Si richiede una matrice di valutazione ordinale $I \times J$, costituita da I righe e J colonne. Se si indica con A tale matrice, le componenti sono gli elementi a_{ij} . Nella matrice A sono poste per righe le I alternative che s'intendono valutare e per colonne gli J criteri di valutazione. Ogni elemento a_{ij} esprime il comportamento della alternativa "i" rispetto al criterio "j", ovvero per righe la matrice esplicita la performance di ciascuna delle alternative considerate in relazione ad ognuno dei criteri selezionati.

A ciascun criterio è possibile attribuire un peso e l'insieme dei pesi stabilisce l'importanza relativa dei criteri in esame; anche i pesi sono espressi in termini ordinali. A questo scopo si costruisce un vettore peso ordinale w , le cui componenti w_j rappresentano le importanze assegnate a ciascuno degli J criteri di valutazione.

Nel metodo Regime tutte le alternative vengono confrontate a coppie, cioè ciascuna alternativa si paragona a tutte le altre con riferimento ad ogni criterio di valutazione. In particolare, si assume che il risultato del confronto a coppie possa dar luogo soltanto a tre possibilità, espresse rispettivamente dai numeri +1, 0, -1, dove il valore +1 indica che l'alternativa considerata si comporta meglio di quella con cui è confrontata, il valore 0 in caso di ex aequo, ed il valore -1 indica che l'alternativa considerata si comporta peggio di quella con cui è confrontata.

Pertanto, per ciascuna alternativa è possibile calcolare un punteggio fornito dalla sommatoria di tutti i valori (+1, 0, -1) ottenuti dal confronto a coppie. È evidente che ciascun punteggio può essere positivo, nullo o negativo. Pertanto, dal calcolo di tutti i punteggi relativi a ciascuna alternativa potrebbe essere facilmente dedotta una graduatoria di preferibilità. In questo modo, però, non si considererebbero i pesi attribuiti ai criteri di valutazione selezionati.

Per combinare pesi e punteggi è necessario associare al vettore peso ordinale w un valore peso cardinale w ad esso coerente, cioè tale che l'ordine di importanza tra le componenti w_j rispetti esattamente quello fissato tra le componenti w_j . Il problema è che esistono infinite combinazioni tra le componenti w_j che rispettano la condizione di cui sopra e, talvolta, la combinazione tra pesi e punteggi può dar luogo a risultati ambigui o contraddittori.

Tenuto conto di tale difficoltà, il metodo Regime opera in termini statistici, nel senso che cerca di individuare la probabilità per cui i diversi punteggi siano positivi o meno, considerando tutte le possibili combinazioni di pesi. Si calcola cioè la probabilità per cui l'alternativa i sia preferibile all'alternativa i' ed, alla fine, si costruisce per ogni alternativa i un indice di sintesi che esprime il suo comportamento complessivo, aggregando le diverse probabilità di preferibilità dell'alternativa i rispetto a tutte le altre.

Quindi, attraverso il metodo Regime si ottiene un ordine completo di preferibilità tra le alternative espresso attraverso numeri razionali. In questo modo si è in grado, seppure partendo da informazioni ordinali, di ottenere risultati di tipo cardinale, cioè in grado di esprimere le intensità di preferenza tra le alternative.

Nel caso in esame, la matrice di valutazione è stata costruita per semplicità grafica ponendo per righe i criteri di valutazione e per colonne le alternative. Pertanto, rispetto alla descrizione generale del metodo Regime di cui sopra sono state invertite le righe con le colonne, che comunque nulla comporta sulle condizioni di applicabilità del metodo.

La valutazione è stata effettuata utilizzando lo stesso peso per tutti i criteri.

La valutazione eseguita con il metodo REGIME ha come risultato (Figura 8.5) che la soluzione migliore è sempre l'Alternativa 3.

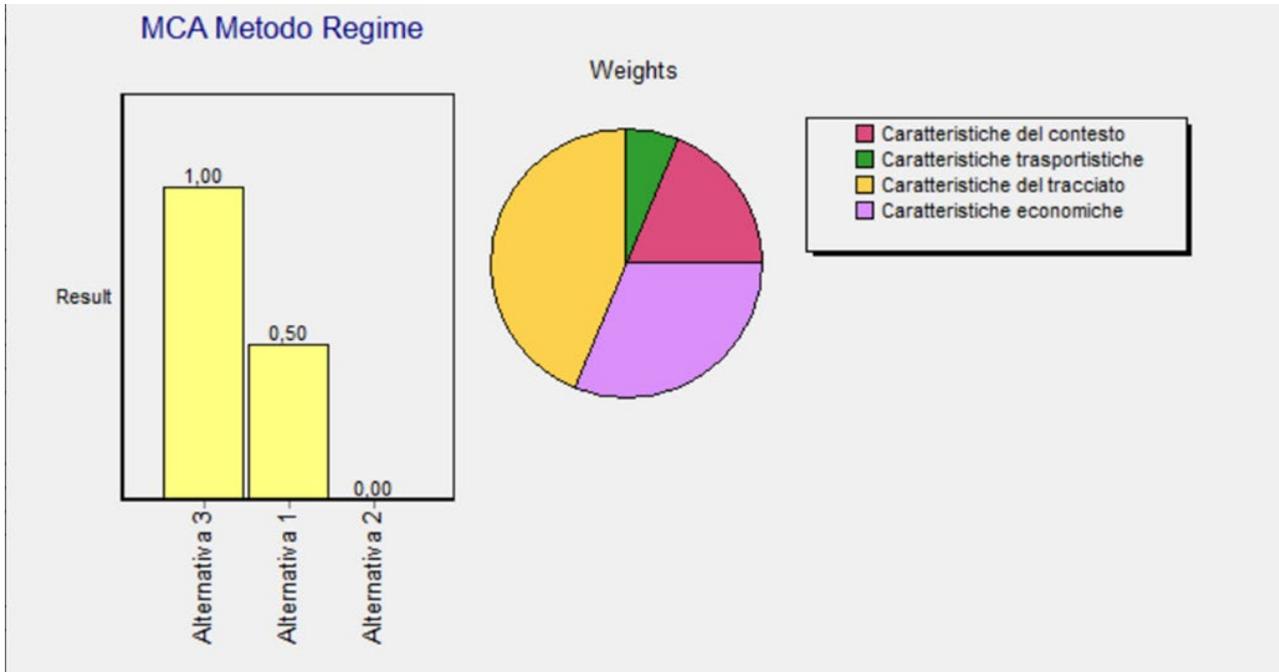


Figura 8.5: Risultati analisi multicriterio -Metodo Regime

9 ANALISI BENEFICI COSTI

L'analisi costi-benefici (ACB) è una tecnica di valutazione utilizzata per prevedere gli effetti di un investimento, verificando se, con la realizzazione dell'intervento, la collettività ne ottenga un vantaggio. È uno strumento di supporto alla decisione pubblica poiché, attraverso il calcolo dei benefici e dei costi associati alla sua realizzazione, esso evidenzia la proposta migliore fra più alternative.

Un'analisi costi-benefici consiste appunto in un procedimento che trasforma in termini quantitativi monetari tutti gli effetti di un'opzione di intervento, allo scopo di renderli omogenei e, quindi, confrontabili. Pertanto, vengono trasformati impatti multidimensionali nell'unica dimensione monetaria.

In pratica l'ACB si basa sull'individuazione dei costi e benefici in termini monetari apportati alla collettività da un intervento; questi costi e benefici monetizzati vengono quindi attualizzati (ovvero riportati ad un anno di base), in quanto essi possono essere imputabili a periodi differenti. L'aggregazione delle quantità avviene come differenza tra i benefici e i costi in modo da ricavare il beneficio netto complessivo: se è positivo, il progetto può venire approvato in quanto i benefici superano i costi.

Per ciascun anno di vita del progetto, si calcola un beneficio "sociale" totale a cui andrà sottratto il corrispondente costo "sociale" totale, ottenendo un "Beneficio Sociale Netto". Le serie di tutti i Benefici Sociali Netti di ciascun anno di vita del progetto andranno quindi aggregati in un valore finale che mi permette di valutare il progetto.

È necessario attualizzare questi valori al tempo t_0 , applicando un "peso" che varia a seconda dell'anno di vita del progetto. Questo peso si chiama "tasso di sconto":

Una volta attualizzati e aggregati i valori, si opera il vero e proprio confronto tra benefici e costi. In particolare, i principali metodi di confronto si basano sui seguenti indici:

- 1) Il Valore Attuale Netto (VAN);
- 2) Il saggio di rendimento interno (TIRI)

Nel caso dell'analisi costi-benefici il valore attuale netto (VAN) (economico) di un progetto di intervento è fornito in questo caso dalla seguente formula:

$$VAN = \left(\sum_{i=0}^n \frac{B_i'}{q^i} - \sum_{i=0}^n \frac{C_i'}{q^i} \right) - \left(\sum_{i=0}^n \frac{B_i''}{q^i} - \sum_{i=0}^n \frac{C_i''}{q^i} \right)$$

dove:

B_i' = benefici con il progetto all'anno i ;

C_i' = costi con il progetto all'anno i ;

B_i'' = benefici senza il progetto all'anno i ;

C_i'' = costi senza il progetto all'anno i ;

$q = i + r$ (binomio di interesse);

r = saggio di attualizzazione.

Inoltre, si verifica il criterio che fa riferimento al tasso interno di rendimento (TIR) (economico) di ciascuna opzione, costituito da quel saggio di attualizzazione per cui il VAN è pari a zero.

In particolare, la presente analisi della convenienza economica di ammodernare il tratto di strada della SS100 seguirà gli indirizzi metodologici indicati nella Guida per la certificazione degli studi di fattibilità delle opere pubbliche, elaborata dai Nuclei regionali di valutazione e verifica degli investimenti pubblici (NUVV) istituiti con legge 144/1999, e adottata dalla Conferenza dei presidenti delle Regioni e delle Province autonome l'8 marzo 2001 e dalla Guida all'analisi costi-benefici dei progetti di investimento", preparata per conto di Unità di Valutazione, DG Politica Regionale e Coesione, Commissione Europea.

Secondo la metodologia suggerita dai citati documenti-guida, quindi, l'analisi economica parte dal calcolo dei costi e dei benefici economici diretti e viene completata da stime sui costi e benefici indiretti ed esterni.

In termini generali si può osservare che i costi ed i benefici economici interni "diretti" sono quelli relativi al soggetto cui compete la realizzazione e gestione dell'opera. Per costi e benefici "indiretti" si intendono quelli generati indirettamente dalla realizzazione e dalla gestione dell'intervento, ai quali è possibile attribuire un prezzo di mercato.

Nel caso in esame il beneficio prevalente determinato dall'ammodernamento del tratto stradale della SS100 è dovuto alla riduzione delle esternalità, ovvero quegli impatti del trasporto che vengono indirettamente "pagati" dalla collettività, come per esempio l'incidentalità.

9.1 I COSTI

9.1.1 I Costi di Investimento

I costi necessari per l'ampliamento ed ammodernamento dell'attuale sede stradale della SS100 sono pari a circa 52 milioni. I lavori verranno svolti in 42 mesi

9.1.2 I Costi di Manutenzione

I costi di manutenzione considerati sono solo quelli relativi alla manutenzione ordinaria e straordinaria e si ipotizza che la manutenzione straordinaria possa essere necessaria dal decimo anno dalla realizzazione dell'opera.

I costi di manutenzione ordinaria che sono previsti per il normale esercizio della strada sono stati valutati pari a 10.000 euro/km. La lunghezza della strada considerata tiene conto sia dell'asse principale, sia delle complanari ed anche degli svincoli per un totale di circa 28 km.

Quindi per il tratto di strada oggetto dell'adeguamento si possono stimare circa 280.000 euro annui di costo di manutenzione ordinaria.

Inoltre, sono stati considerati 6.000.000 di euro per la manutenzione straordinaria a partire dal decimo anno di esercizio della strada fino al trentesimo.

9.2 BENEFICI DIRETTI

La valorizzazione economica dei benefici trasportistici diretti e della riduzione dell'incidentalità opportunamente monetizzati consente una stima dei benefici economici generati per la collettività dall'entrata in esercizio del progetto.

Gli indicatori trasportistici diretti sono stati moltiplicati per 365 per passare dal valore giornaliero a quello annuo.

Il valore monetario del tempo considerato è:

- 15.00€/ora per i veicoli leggeri determinato come prodotto tra il valore monetario del tempo della persona (12.00€/ora e il coefficiente di riempimento dei veicoli leggeri pari a 1.25 persone/veicolo.
- 30.00€/ora per i veicoli pesante.

Il costo monetario di esercizio (percorrenza) è:

- 0.19 €/km per i veicoli leggeri
- 0.79 €/km per i veicoli pesanti

La valutazione economica annua della riduzione di incidenti è stata calcolata ipotizzando un costo sociale pari a:

- € 1.503.990 per ogni persona deceduta;
- € 42.219 per ogni persona ferita.

Questi sono i parametri medi utilizzati per il calcolo sono quelli utilizzati da Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti nell'ambito dei Piani di Sicurezza Nazionali PNSS.

9.3 IL TASSO DI SCONTO SOCIALE

Il tasso di sconto nell'analisi economica dei progetti di investimento (tasso di sconto sociale) tenta di mostrare come i costi e i benefici futuri dovrebbero essere valutati in rapporto a quelli presenti.

La letteratura e la pratica internazionale mostrano una vasta gamma di approcci nell'interpretazione e scelta del tasso sociale di sconto da utilizzare. L'esperienza internazionale è abbondante e coinvolge differenti nazioni così come diverse organizzazioni internazionali.

La Banca Mondiale ha adottato un tasso di rendimento economico richiesto del 10%. Questo è di solito considerato un tasso standard abbastanza elevato e, secondo alcune opinioni critiche, può riflettere una specie di scrematura dei progetti migliori da parte dei prestatori di maggiore importanza.

In genere i governi nazionali fissano un tasso di sconto sociale per i progetti pubblici ad un livello inferiore rispetto a quello delle istituzioni finanziarie internazionali. In particolare, in Italia, secondo le linee guida per gli studi di fattibilità, il tasso di sconto è fissato al 3%.

9.4 CALCOLO INDICATORI ECONOMICI

Nella figura che segue vengono riassunti i costi e i benefici distribuiti negli anni considerati dall'analisi.

| Analisi economica | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | anno | anno | anno | anno | anno | anno | anno | anno | anno | anno |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Voci di costo | | | | | | | | | | |
| Costo realizzazione | 14.857.143 | 14.857.143 | 14.857.143 | 7.428.571 | | | | | | |
| Costo di manutenzione ordinaria | | | | | 280.000 | 280.000 | 280.000 | 280.000 | 280.000 | 280.000 |
| Costo di manutenzione starordianria | | | | | | | | | | |
| Somma voci di costo | 14.857.143 | 14.857.143 | 14.857.143 | 7.428.571 | 280.000 | 280.000 | 280.000 | 280.000 | 280.000 | 280.000 |
| Voci di beneficio | | | | | | | | | | |
| Incidentalità | | | | | 2.210.090 | 2.210.090 | 2.210.090 | 2.210.090 | 2.210.090 | 2.210.090 |
| percorrenza | | | | | 2.039.120 | 2.389.828 | 2.740.537 | 3.091.245 | 3.441.954 | 3.792.662 |
| Tempo | | | | | 4.862.657 | 4.874.491 | 4.886.325 | 4.898.158 | 4.909.992 | 4.921.826 |
| Somma voci di beneficio | | | | | 9.111.867 | 9.474.410 | 9.836.952 | 10.199.494 | 10.562.036 | 10.924.579 |

| | anno |
|-------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | 2032 | 2033 | 2034 | 2035 | 2036 | | | | | |
| | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| Voci di costo | | | | | | | | | | |
| Costo realizzazione | | | | | | | | | | |
| Costo di manutenzione ordinaria | 280.000 | 280.000 | 280.000 | 280.000 | 280.000 | 280.000 | 280.000 | 280.000 | 280.000 | 280.000 |
| Costo di manutenzione starordianria | | | | 1.000.000 | | | | | 1.000.000 | |
| Somma voci di costo | 280.000 | 280.000 | 280.000 | 1.280.000 | 280.000 | 280.000 | 280.000 | 280.000 | 1.280.000 | 280.000 |
| Voci di beneficio | | | | | | | | | | |
| Incidentalità | 2.210.090 | 2.210.090 | 2.210.090 | 2.210.090 | 2.210.090 | 2.210.090 | 2.210.090 | 2.210.090 | 2.210.090 | 2.210.090 |
| percorrenza | 4.143.371 | 4.494.080 | 4.844.788 | 5.195.497 | 5.546.205 | 5.546.205 | 5.546.205 | 5.546.205 | 5.546.205 | 5.546.205 |
| Tempo | 4.933.659 | 4.945.493 | 4.957.327 | 4.969.160 | 4.980.994 | 4.980.994 | 4.980.994 | 4.980.994 | 4.980.994 | 4.980.994 |
| Somma voci di beneficio | 11.287.121 | 11.649.663 | 12.012.205 | 12.374.747 | 12.737.290 | 12.737.290 | 12.737.290 | 12.737.290 | 12.737.290 | 12.737.290 |

| | anno |
|-------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| Voci di costo | | | | | | | | | | |
| Costo realizzazione | | | | | | | | | | |
| Costo di manutenzione ordinaria | 280.000 | 280.000 | 280.000 | 280.000 | 280.000 | 280.000 | 280.000 | 280.000 | 280.000 | 280.000 |
| Costo di manutenzione starordianria | | | | 2.000.000 | | | | | 2.000.000 | |
| Somma voci di costo | 280.000 | 280.000 | 280.000 | 2.280.000 | 280.000 | 280.000 | 280.000 | 280.000 | 2.280.000 | 280.000 |
| Voci di beneficio | | | | | | | | | | |
| Incidentalità | 2.210.090 | 2.210.090 | 2.210.090 | 2.210.090 | 2.210.090 | 2.210.090 | 2.210.090 | 2.210.090 | 2.210.090 | 2.210.090 |
| percorrenza | 5.546.205 | 5.546.205 | 5.546.205 | 5.546.205 | 5.546.205 | 5.546.205 | 5.546.205 | 5.546.205 | 5.546.205 | 5.546.205 |
| Tempo | 4.980.994 | 4.980.994 | 4.980.994 | 4.980.994 | 4.980.994 | 4.980.994 | 4.980.994 | 4.980.994 | 4.980.994 | 4.980.994 |
| Somma voci di beneficio | 12.737.290 |

Figura 9.1: Calcolo Indicatori Economici

| cash flow | valore | anno | anno | anno | anno | anno | anno | anno | anno | anno |
|---------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|
| | attuale | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| an. econ.: costi netti | 56.136.573 | 14.857.143 | 14.857.143 | 14.857.143 | 7.428.571 | 280.000 | 280.000 | 280.000 | 280.000 | 280.000 |
| an. econ.: benefici netti | 186.529.328 | | | | | 9.111.867 | 9.474.410 | 9.836.952 | 10.199.494 | 10.562.036 |
| an. econ.: B-C | 130.392.755 | -14.857.143 | -14.857.143 | -14.857.143 | -7.428.571 | 8.831.867 | 9.194.410 | 9.556.952 | 9.919.494 | 10.282.036 |

| | anno |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| an. econ.: costi netti | 280.000 | 280.000 | 280.000 | 280.000 | 1.280.000 | 280.000 | 280.000 | 280.000 | 280.000 | 1.280.000 |
| an. econ.: benefici netti | 10.924.579 | 11.287.121 | 11.649.663 | 12.012.205 | 12.374.747 | 12.737.290 | 12.737.290 | 12.737.290 | 12.737.290 | 12.737.290 |
| an. econ.: B-C | 10.644.579 | 11.007.121 | 11.369.663 | 11.732.205 | 11.094.747 | 12.457.290 | 12.457.290 | 12.457.290 | 12.457.290 | 11.457.290 |

| | anno |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 |
| an. econ.: costi netti | 280.000 | 280.000 | 280.000 | 280.000 | 2.280.000 | 280.000 | 280.000 | 280.000 | 280.000 | 2.280.000 |
| an. econ.: benefici netti | 12.737.290 | 12.737.290 | 12.737.290 | 12.737.290 | 12.737.290 | 12.737.290 | 12.737.290 | 12.737.290 | 12.737.290 | 12.737.290 |
| an. econ.: B-C | 12.457.290 | 12.457.290 | 12.457.290 | 12.457.290 | 10.457.290 | 12.457.290 | 12.457.290 | 12.457.290 | 12.457.290 | 10.457.290 |

Figura 9.2: Cash flow

Dai calcoli effettuati si evince che il VAN è positivo ed è pari a 130.392.755 Euro con un rapporto B/C > 1 e precisamente pari a 3,32 ed un TIR positivo pari a 15,27%.

10 RIFERIMENTI

- Beinat E., Nijkamp P. (eds) (1998). *Multicriteria Evaluation in Land-use Management: Methodologies and Case Studies*. Kluwer. Dordrecht.
- Brans J.P., Vincke P. (1985). "A Preference Ranking Organization Method. (The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision-Making)". *Management Science*. vol. 6. pp 647-656.
- Churchman C.W., Ackoff R.L., Arnoff E.L. (1957). *Introduction to Operations Research*. John Wiley. New York.
- Hinloopen E. (1985). *De Regime Methode*. MA Thesis. Interfaculty Actuarial and Econometrics. Free University Amsterdam (mimeographed)
- Hinloopen E., Nijkamp P. (1990). "Qualitative Multiple Criteria Choice Analysis". *Quality and Quantity*. vol. 24. pp. 37-56.
- Hinloopen E., Nijkamp P., Rietveld P. (1983). "Qualitative Discrete Multiple Criteria Choice Models in Regional Planning". *Regional Science and Urban Economics*. vol. 13. pp. 73-102.
- Keeney R.L., Raiffa H. (1976). *Decision with Multiple Objectives: Performance and Value Trade-Offs*. Wiley. New York.
- Keeney R.L., Raiffa H. (1976). *Decisions with Multiple Objectives*. John Wiley and Sons. New York.
- Lichfield N. (1996). *Community Impact Evaluation*. Ucl Press. London.
- Lichfield N. (1996). *Community Impact Evaluation*. Ucl Press. London.
- Munda G. (1995). *Multicriteria Evaluation in a Fuzzy Environment: Theory and Applications in Ecological Economics*. Physica-Verlag. Heidelberg.
- Munda G., Nijkamp P., Rietveld P. (1994). "Qualitative Multicriteria Evaluation for Environmental Management". *Ecological Economics*. vol. 10. pp. 97-112.
- Paelinck J.H. (1976). "Qualitative Multiple Criteria Analysis". *Papers of the Regional Science Association*. vol.36.
- Roy B. (1996). *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*. Kluwer. Dordrecht.
- Saaty T.L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process for Decision in a Complex World*. Rws Publications. Pittsburgh.
- Saaty T.L. (1988). *Decision Making for Leaders*. Rws Publications. Pittsburgh.
- Saaty T.L. (1992). *Multicriteria Decision Making. The Analytic Hierarchy Process*. Rws Publications. Pittsburgh.
- Vincke Ph. (1985). "Multiattribute Utility Theory as a Basic Approach". in Fandel G., Spronk J. (eds). *Multiple Criteria-Decision Methods and Applications. Selected Readings of the First International Summer School Acireale, Sicily, September 1983*. Springer. Berlin. pp. 27-40.
- Zadeh L.A. (1965). "Fuzzy Sets". *Information and Control*. vol. 8. pp. 338-353.
- Zimmermann H.J., Gutsche L. (1991). *Multi-Criteria Analysis*. Springer. Berlin.

VERIFICA DELLA CAPACITÀ DELLA ROTATORIA SS100 SP23

È stata effettuata la verifica della capacità della rotatoria progettata sulla tra la SS100 e la SP23 in località San Basilio.

Per il calcolo della capacità della rotatoria S S100 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): $C=f(Q_u, Q_c, L_c, L_d, L_i)$.

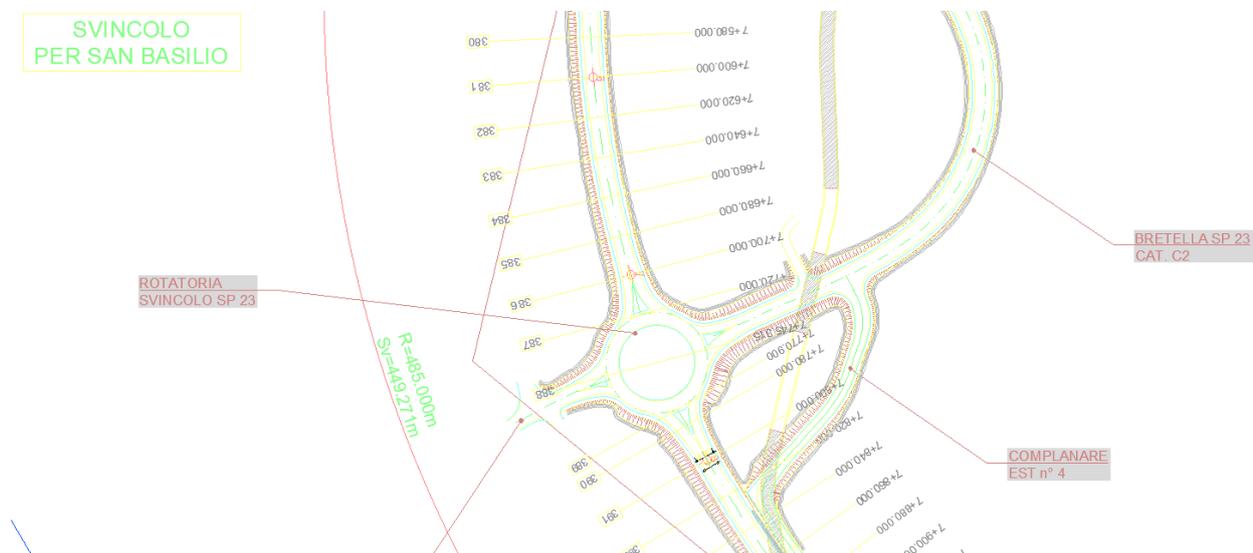


Figura 0-1. Progetto della rotatoria

I rami della rotatoria suddetta sono stati schematizzati come segue:

- Ramo A: SS100 Nord-Sud
- Ramo B: complanare
- Ramo C: SS100 Sud-Nord
- Ramo D: SP23

Data la seguente matrice di nodo, relativa al TGM:

Tabella 0-1. Matrice O/D (TGM)

| MATRICE O/D (TGM) | Ramo A | Ramo B | Ramo C | Ramo D |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|
| Ramo A | 0 | 148 | 3374 | 2232 |
| Ramo B | 300 | 0 | 99 | 190 |
| Ramo C | 3135 | 110 | 0 | 105 |
| Ramo D | 1404 | 266 | 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 SS100.

Tabella 0-2. Matrice O/D (veic/h)

| MATRICE O/ D (VEIC/H) | Ramo A | Ramo B | Ramo C | Ramo D | Ingressi |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|----------|
| Ramo A | 0 | 16 | 371 | 246 | 633 |
| Ramo B | 33 | 0 | 11 | 21 | 65 |
| Ramo C | 345 | 12 | 0 | 12 | 369 |
| Ramo D | 154 | 29 | 11 | 0 | 195 |
| Uscite | 532 | 58 | 393 | 278 | 0 |

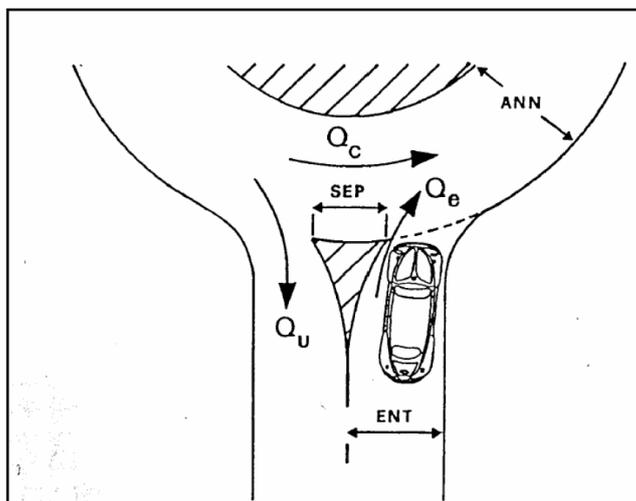


Figura 0-2. Grandezze geometriche della rotatoria

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

Tabella 0-3. 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 | 3,5 | 3,75 | 3,5 | m |
| Lc | Larghezza dell'anello | 6 | 6 | 6 | 6 | m |
| Ld | Larghezza dell'isola spartitraffico | 12,00 | 9.64 | 11.85 | 9.19 | 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:

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

Equazione 1 Traffico uscente equivalente Q'_u

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

Equazione 2 Traffico complessivo di disturbo Q_d

La capacità di ogni braccio si ottiene mediante la formula:

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

Equazione 3 Capacità del braccio della rotatoria C

Tabella 0-4. 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 | 64,79 | 368,50 | 194,70 | veic/h |
| Qu | Flusso di traffico uscente | 532,29 | 57,64 | 393,03 | 277,97 | 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 | 133,75 | 597,68 | 233,98 | 466,02 | 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.

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

Equazione 4 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 0-5. Livello di funzionalità della rotatoria

| LIVELLO DI FUNZIONALITA' | | Ramo A | Ramo B | Ramo C | Ramo D | u.m. |
|--------------------------------|--|---------------|---------------|---------------|---------------|--------|
| RC | Riserva di capacità | 634,35 | 846,83 | 826,87 | 809,08 | veic/h |
| RC (%) | Riserva di capacità percentuale | 50% | 93% | 69% | 81% | % |
| Condizione di esercizio | | Fluida | Fluida | Fluida | Fluida | - |