

Direzione Strategia e Sostenibilità
Strategie di Polo per Investimenti Sostenibili

Analisi e Modelli di Mobilità

RADDOPPIO VILLAMASSARGIA - DECIMOMANNU
STUDIO DI TRASPORTO

Aprile 2023

Indice

| | |
|---|-----------|
| 1. OGGETTO ED OBIETTIVI DELLO STUDIO | 1 |
| 2. STATO ATTUALE DELLA LINEA VILLAMASSARGIA - DECIMOMANNU | 2 |
| 2.1. <i>PRINCIPALI CARATTERISTICHE DELLA LINEA.....</i> | <i>2</i> |
| 2.2. <i>ANALISI DELLA ATTUALE CIRCOLAZIONE.....</i> | <i>4</i> |
| 2.3. <i>ATTUALE POTENZIALITÀ RESIDUA</i> | <i>5</i> |
| 3. ANALISI DEL CONTESTO TERRITORIALE | 6 |
| 3.1. <i>LA CLASSIFICAZIONE DEI COMUNI</i> | <i>6</i> |
| 3.2. <i>LE DINAMICHE DEMOGRAFICHE.....</i> | <i>8</i> |
| 3.3. <i>L'OCCUPAZIONE</i> | <i>10</i> |
| 3.4. <i>IL TURISMO.....</i> | <i>11</i> |
| 4. LA RICOSTRUZIONE DEL MODELLO DI OFFERTA | 13 |
| 4.1. <i>IL MODELLO DI OFFERTA STRADALE</i> | <i>13</i> |
| 4.2. <i>IL MODELLO DI OFFERTA DI TPL.....</i> | <i>15</i> |
| 5. LA RICOSTRUZIONE DELLE MATRICI O/D ALLO STATO ATTUALE | 17 |
| 5.1. <i>I CONTEGGI DI TRAFFICO UTILIZZATI AI FINI DELLA CORREZIONE DELLE MATRICI O/D.....</i> | <i>17</i> |
| 5.2. <i>IL PROCESSO DI CORREZIONE</i> | <i>19</i> |
| 5.3. <i>I RISULTATI OTTENUTI</i> | <i>19</i> |
| 6. ANALISI DEGLI SCENARI DI SVILUPPO | 21 |
| 6.1. <i>PREVISIONI DI EVOLUZIONE DELLA POPOLAZIONE</i> | <i>21</i> |
| 6.2. <i>CENNO SUGLI INTERVENTI PREVISTI SULLA LINEA.....</i> | <i>21</i> |
| 6.3. <i>POTENZIAMENTO PROGRAMMATO DELL'OFFERTA REGIONALE.....</i> | <i>22</i> |
| 6.4. <i>GLI SCENARI CONSIDERATI</i> | <i>23</i> |
| 7. PROSPETTIVE DI SVILUPPO DEI TRAFFICI PASSEGGERI | 25 |
| 7.1. <i>GENERALITÀ SULL'APPARATO METODOLOGICO</i> | <i>25</i> |
| 7.2. <i>IL SISTEMA DI MODELLI UTILIZZATO</i> | <i>26</i> |
| 7.2.1 <i>Il modello di generazione.....</i> | <i>26</i> |
| 7.2.2 <i>Il modello di scelta modale.....</i> | <i>27</i> |
| 7.3. <i>I RISULTATI DELLE SIMULAZIONI DI TRAFFICO</i> | <i>28</i> |
| 7.4. <i>GLI INDICATORI FINALIZZATI ALL'ANALISI DI REDDITIVITÀ DEGLI INVESTIMENTI</i> | <i>30</i> |

Indice delle figure

| | |
|--|----|
| Figura 2-1 – Linea ferroviaria Villamassargia - Decimomannu..... | 2 |
| Figura 2-2 – Velocità ammesse lungo la linea..... | 3 |
| Figura 2-3 – Ascesa e Grado di Prestazione della linea..... | 3 |
| Figura 2-4 – Schema dei servizi: scenario di base 2021 | 4 |
| Figura 3-1 – Area di studio selezionata | 6 |
| Figura 3-2 – Distribuzione box-plot della popolazione dei Comuni appartenenti alle diverse zone altimetriche Istat..... | 7 |
| Figura 3-3 – Andamento della popolazione della Sardegna nel periodo 2002÷2019 | 8 |
| Figura 3-4 – Andamento della variazione percentuale rispetto al 2002 della popolazione totale nel periodo 2002÷2019..... | 9 |
| Figura 3-5 – Andamento della variazione percentuale rispetto al 2002 della popolazione per diverse classi di età nel periodo 2002÷2019 | 9 |
| Figura 3-6 – Andamento del tasso di occupazione dell'isola nel periodo 2014÷2019..... | 10 |
| Figura 3-7 – Rappresentazione del numero di arrivi turistici per l'intero territorio sardo | 11 |
| Figura 4-1 – Rappresentazione del modello di offerta stradale..... | 14 |
| Figura 4-2 – Verifica della capacità riproduttiva dei tempi O/D su strada..... | 15 |
| Figura 4-3 – Rappresentazione del modello di offerta di TPL..... | 16 |
| Figura 4-4 – Verifica della capacità riproduttiva dei tempi O/D su TPL su gomma..... | 16 |
| Figura 5-1 – Schema del processo utilizzato ai fini della stima delle matrici O/D..... | 17 |
| Figura 5-2 – Ubicazione e valore dei TGM utilizzati ai fini della correzione delle matrici O/D stradali..... | 18 |
| Figura 5-3 – Flussogramma dei flussi differenziali giornalieri (inverno - feste ; verde positivo, rosso negativo)..... | 18 |
| Figura 5-4 – Validazione del processo di correzione della matrice O/D di partenza | 19 |
| Figura 5-5 – Ricostruzione degli spostamenti intercomunali | 20 |
| Figura 5-6 – Spostamenti intercomunali all'interno dei 55 Comuni che compongono l'area di studio | 20 |
| Figura 6-1 – Previsione della popolazione della Sardegna nel periodo 2022÷2035 | 21 |
| Figura 6-2 – Schema dei servizi: scenario di regime..... | 22 |
| Figura 6-3 – Schema dei servizi nello Scenario di Riferimento | 23 |
| Figura 6-4 – Schema dei servizi nello Scenario di Progetto..... | 24 |
| Figura 7-1 – Schema del processo utilizzato per le previsioni di traffico | 25 |
| Figura 7-2 – Schematizzazione della metodologia utilizzata per la previsione dei traffici relativi alla componente regionale..... | 26 |
| Figura 7-3 – Architettura del sistema di modelli implementata in SW CUBE | 26 |
| Figura 7-4 – Flussogrammi sulle diverse tratte della linea oggetto di analisi..... | 29 |
| Figura 7-5 – Distribuzione percentuale della domanda nelle due situazioni di riferimento e progetto..... | 29 |

Indice delle tabelle

| | |
|--|----|
| Tabella 2.1 – Località di servizio presenti sulla linea Villamassargia - Decimomannu..... | 2 |
| Tabella 2.2 – Sezioni di blocco presenti sulla linea Villamassargia - Decimomannu..... | 2 |
| Tabella 2.3 – Grado di occupazione della tratta Villamassargia-Domusnovas - Decimomannu da PIR 2021..... | 5 |
| Tabella 3.1 – Zone Altimetriche ISTAT..... | 7 |
| Tabella 3.2 – Tasso di occupazione provinciale | 10 |
| Tabella 7.1 – Specificazione e parametri dei modelli di generazione..... | 27 |
| Tabella 7.2 – Specificazione e parametri dei modelli di scelta modale | 28 |
| Tabella 7.3 – Specificazione degli indicatori..... | 31 |
| Tabella 7.4 – Valore indicatori differenziali per l'ACB..... | 31 |

1. OGGETTO ED OBIETTIVI DELLO STUDIO

Il presente documento illustra la metodologia e i risultati ottenuti nel corso delle attività finalizzate alla valutazione degli effetti prodotti sulla domanda di trasporto dagli interventi previsti sulla linea commerciale Villamassargia-Decimomannu. Questi interventi consistono principalmente nel raddoppio dell'intera linea, finalizzato all'incremento della potenzialità della linea e a quello delle altre prestazioni (i.e. velocità).

La valutazione ha riguardato l'unico segmento di domanda che interessa la linea in questione, quello passeggeri regionale.

A questo proposito è stato sviluppato uno specifico sistema di modelli, calibrato all'anno base 2019, che consente di replicare il funzionamento del sistema di offerta a servizio della mobilità dell'intera regione Sardegna, nonché simulare le interazioni tra il citato sistema di offerta e la domanda di trasporto.

Il presente documento si compone dei seguenti capitoli compreso il presente:

- 2 *STATO ATTUALE DELLA LINEA VILLAMASSARGIA-DECIMOMANNU*, in cui si illustrano le peculiarità della linea oggetto di *upgrading*, l'analisi dell'attuale circolazione e della potenzialità residua;
- 3 *ANALISI DEL CONTESTO TERRITORIALE*, dove vengono investigate le caratteristiche socio-demografiche dell'intera isola necessarie allo sviluppo delle analisi della domanda di trasporto;
- 4 *LA RICOSTRUZIONE DEL MODELLO DI OFFERTA*, in cui vengono specificate nel dettaglio le caratteristiche del modello di rete multimodale sviluppato per gli scopi dello Studio;
- 5 *LA RICOSTRUZIONE DELLE MATRICI O/D ALLO STATO ATTUALE*, dove viene illustrato il processo messo a punto per questo Studio per elaborare le matrici O/D degli spostamenti all'anno base da prendere a riferimento per la calibrazione delle diverse componenti del sistema di modelli di domanda;
- 6 *ANALISI DEGLI SCENARI DI SVILUPPO*, dove vengono enumerate le principali ipotesi assunte alla base degli scenari futuri di simulazione;
- 7 *PROSPETTIVE DI SVILUPPO DEI TRAFFICI PASSEGGERI*, in cui dopo avere rappresentato la metodologia alla base delle previsioni di traffico, vengono illustrati i principali risultati ottenuti sia in termini di flussi sulla direttrice, sia in termini di macro-indicatori, principalmente finalizzati allo sviluppo dell'Analisi di redditività dell'investimento (non oggetto del presente Studio).

2. STATO ATTUALE DELLA LINEA VILLAMASSARGIA - DECIMOMANNU

2.1. PRINCIPALI CARATTERISTICHE DELLA LINEA

Lo sviluppo della linea ferroviaria oggetto di analisi Villamassargia - Decimomannu è pari a 28,552 km. La linea in argomento non è attualmente elettrificata e risulta essere interamente a semplice binario. La linea è esercita con Blocco elettrico Conta-Assi (BCA) per tutta la sua estensione ed è attrezzata con il sistema di controllo SSC e con il sistema di gestione della circolazione del tipo Controllo Centralizzato del Traffico e la circolazione è gestita dal Dirigente Centrale Operativo (DCO) con sede presso il Posto Centrale di Cagliari. Lungo la linea sono presenti 9 passaggi a livello. Le località di servizio presenti sulla linea sono riportate in Tabella 2.1 mentre la Tabella 2.2 elenca le sezioni di blocco in cui la linea è suddivisa.

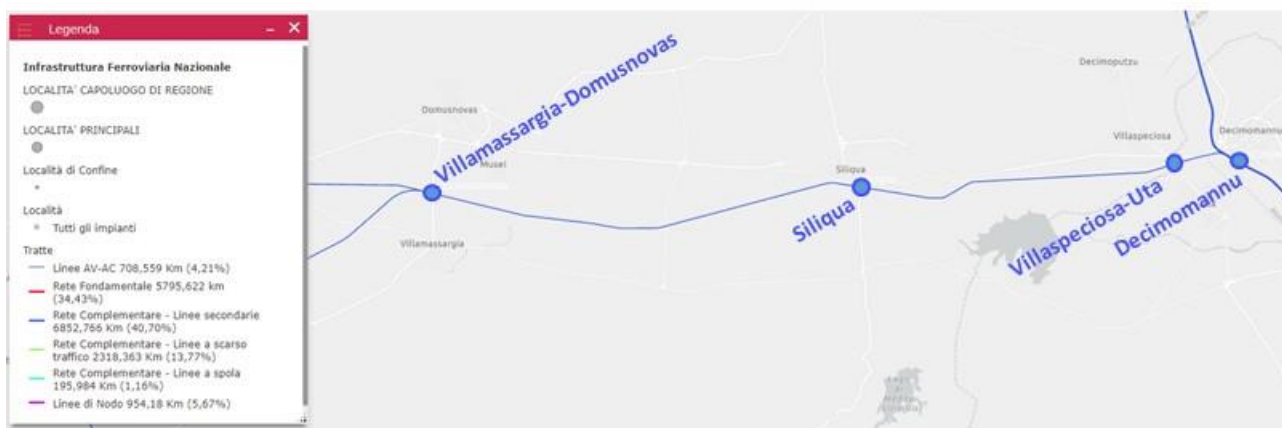


Figura 2-1 – Linea ferroviaria Villamassargia - Decimomannu

Tabella 2.1 – Località di servizio presenti sulla linea Villamassargia - Decimomannu

| Località di servizio | PK | Tipo | Annotazioni |
|---------------------------|--------|----------|--|
| Villamassargia-Domusnovas | 28+552 | Stazione | Stazione di diramazione: - linea per Iglesias; - linea per Carbonia. |
| Siliqua | 13+483 | Stazione | |
| Villaspeciosa-Uta | 2+261 | Fermata | |
| Decimomannu | 0+000 | Stazione | Stazione di diramazione: - linea per Macomer; - linea per Cagliari. |

Tabella 2.2 – Sezioni di blocco presenti sulla linea Villamassargia - Decimomannu

| Tratta | km | n- binari | Regime di circolazione |
|-------------------------------------|--------|-----------|------------------------|
| Villamassargia-Domusnovas ↔ Siliqua | 15,069 | 1 | BCA |
| Siliqua ↔ Villaspeciosa-Uta | 11,222 | 1 | BCA |
| Villaspeciosa-Uta ↔ Decimomannu | 2,261 | 1 | BCA |

Di seguito si riportano i grafici che rappresentano la velocità di ciascun rango per entrambe le direzioni della linea Villamassargia - Decimomannu.

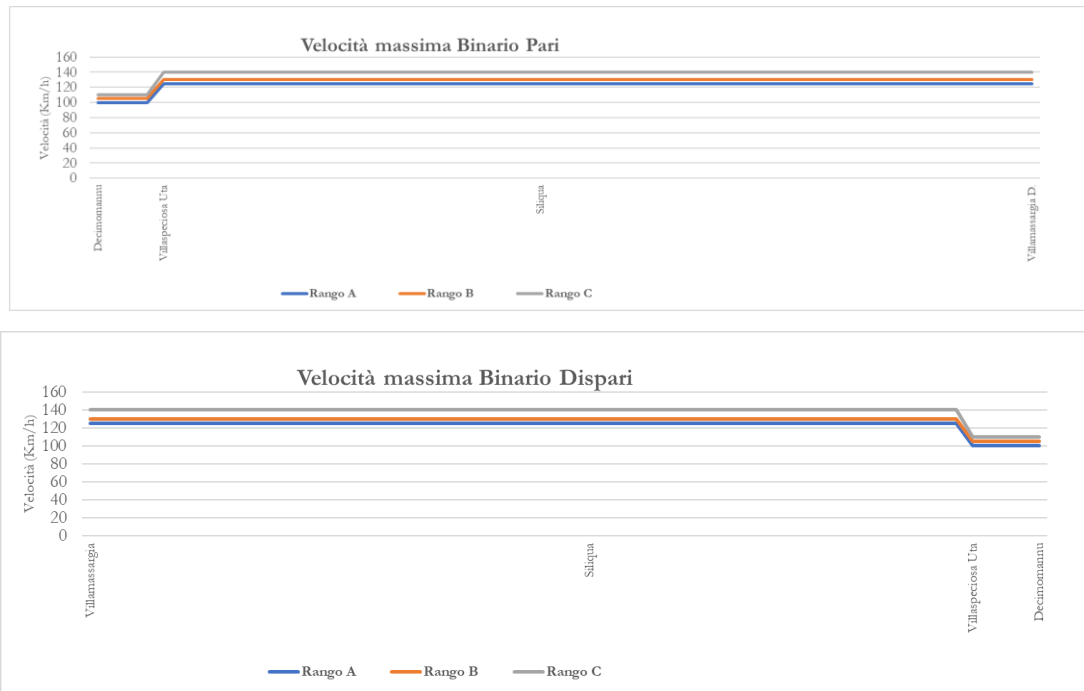


Figura 2-2 – Velocità ammesse lungo la linea

La velocità massima ammessa dalla linea per il rango C è di 140 km/h tra Villamasargia-Domusnovas e Villaspeciosa-Uta e di 110 km/h per i restanti 2,2 km circa fino a Decimomannu.

Nelle seguenti illustrazioni si riportano i grafici relativi al grado di prestazione e l'ascesa massima per entrambe le direzioni della linea Villamasargia - Decimomannu. Data l'assenza del traffico merci non sussistono criticità in merito a tali parametri.

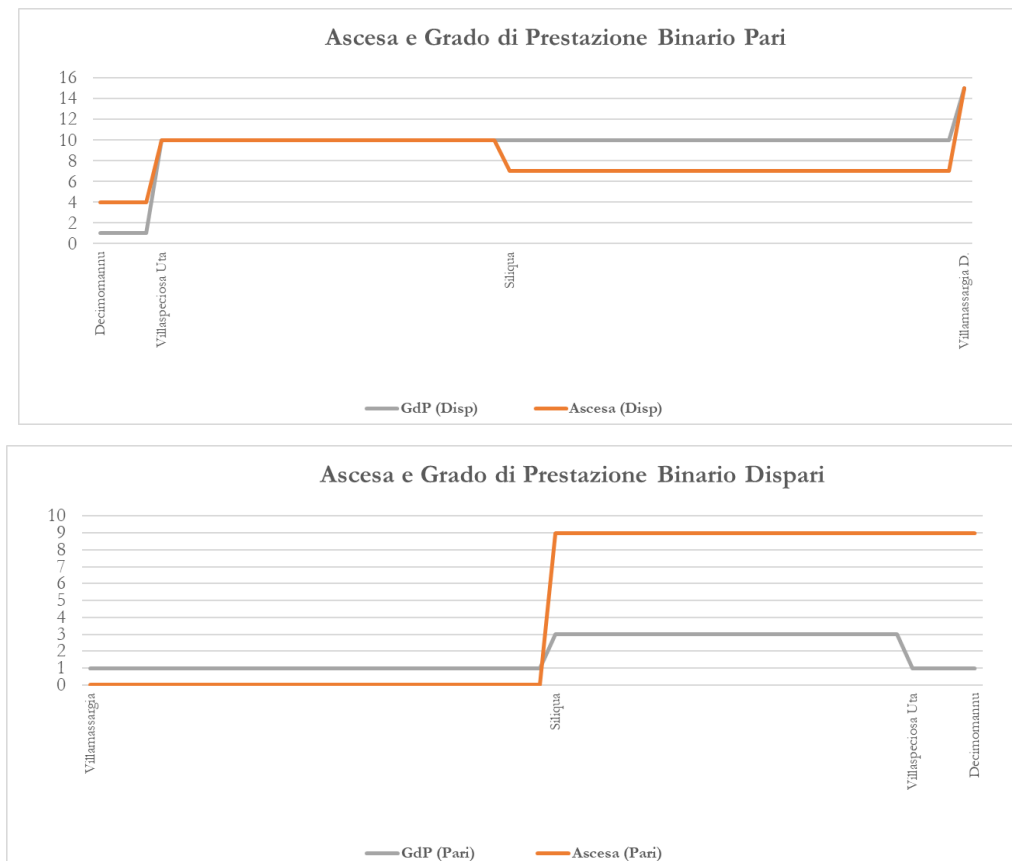


Figura 2-3 – Ascesa e Grado di Prestazione della linea

2.2. ANALISI DELLA ATTUALE CIRCOLAZIONE

Per quanto riguarda l'attuale offerta di trasporto, ci si trova di fronte a una linea dedicata ai treni passeggeri del segmento regionale.

Nel dettaglio, la linea Villamassargia - Decimomannu rientra nello schema dei servizi oggetto del vigente Accordo Quadro per i servizi di Trasporto Pubblico Locale sottoscritto tra Rete Ferroviaria Italiana e Regione Sardegna nel marzo 2020, come si può evincere dal grafo in Figura 2-4.

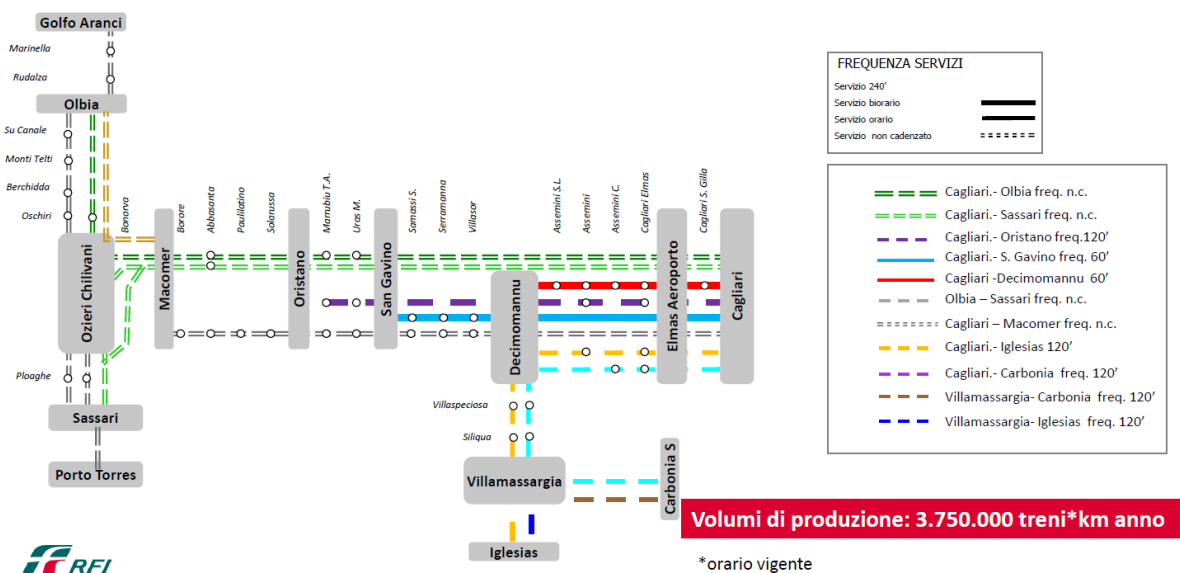


Figura 2-4 – Schema dei servizi: scenario di base 2021

Secondo tale schema lo scenario di base, limitatamente alle relazioni di interesse nel presente Studio, dovrebbe essere costituito da quattro servizi regionali (Cagliari - Iglesias, Cagliari - Carbonia, Villamassargia - Iglesias, Villamassargia - Carbonia) tutti con cadenzamento biorario. Per quanto riguarda la situazione reale, facendo riferimento all'orario 2021, la linea ferroviaria oggetto di analisi è servita dalle seguenti relazioni del servizio regionale di Regione Sardegna:

- Regionale Cagliari - Iglesias, con modello di esercizio pressoché di tipo mnemonico, per un totale di 7 coppie di corse con cadenzamento 120 minuti più 4 coppie di rinforzo al servizio delle fasce orarie più utilizzate dai pendolari; vi è inoltre una corsa aggiuntiva solo in direzione pari;
- Regionale Cagliari - Carbonia, con modello di esercizio pressoché di tipo mnemonico, per un totale di 8 coppie di corse con cadenzamento 120 minuti;
- Regionale Villamassargia - Iglesias, con modello di esercizio pressoché di tipo mnemonico, per un totale di 8 coppie di corse con cadenzamento 120 minuti;
- Regionale Villamassargia - Carbonia, con modello di esercizio pressoché di tipo mnemonico, per un totale di 7 coppie di corse con cadenzamento 120 minuti più 3 coppie di rinforzo al servizio delle fasce orarie più utilizzate dai pendolari; le 3 coppie di rinforzo sono tuttavia espletate con servizio bus sostitutivo.

Gli ultimi due servizi in elenco sono realizzati in maniera tale da garantire ulteriori collegamenti tra Carbonia/Iglesias con Cagliari effettuando un rapido cambio a Villamassargia-Domusnovas.

Sulla linea oggetto di analisi non risultano dunque presenti servizi passeggeri di lunga percorrenza o servizi merci.

2.3. ATTUALE POTENZIALITÀ RESIDUA

La linea ferroviaria Villamassargia-Domusnovas - Decimomannu attualmente non presenta criticità in termini di capacità. Osservando quanto riportato sull'Allegato "Grado di utilizzo infrastruttura e infrastruttura a capacità limitata" al Prospetto Informativo della Rete 2021 di RFI si nota, infatti, un'unica ora di saturazione nella fascia di punta mattutina. Per tale linea, infatti, il valore di saturazione è pari a 4 treni/ora considerando entrambe le direzioni.

Tabella 2.3 – Grado di occupazione della tratta Villamassargia-Domusnovas - Decimomannu da PIR 2021

| MacroTratta | N° binari | Lunghezza [km] | Tipo Linea | 00 | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | Carico orario massimo | Carico giornaliero |
|---------------------------------|-----------|----------------|------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------------------|--------------------|
| VILLAMASSARGIA-D. - DECIMOMANNU | 1 | 29 | SB | | | | | | 1 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | | | 4 | 39 |

3. ANALISI DEL CONTESTO TERRITORIALE

Come vedremo meglio nel seguito, l'apparato modellistico messo a punto nell'ambito di questo Studio ha considerato l'intera Sardegna al fine di non trascurare le possibili dinamiche di domanda esistenti tra tutti i comuni dell'isola. Infatti, deve essere sottolineato come l'intervento oggetto di analisi, ancorché interessi fortemente un'area specifica della regione Sardegna, possa estendere i propri impatti ai naturali ai confini geografici sardi.

L'intervento oggetto di analisi interessa fortemente un'area specifica della regione Sardegna, ovvero le due province di Cagliari e Sud Sardegna attraversate dal tracciato ferroviario interessato. La definizione dell'area è stata effettuata attraverso le isocrone, usando come punto centrale ciascuna stazione ed un tempo di riferimento relativo ad un viaggio con autovettura di 15 minuti. La somma risultante delle aree è stata utilizzata per selezionare, tramite interpolazione per intersezione su software GIS, i territori dei comuni attigui. A questi sono stati aggiunti degli ulteriori comuni per rendere l'area di studio selezionata più omogenea, come ad esempio quei territori posti nell'estremo meridione dell'isola ancorché caratterizzati da un minore accesso alle stazioni ferroviarie.

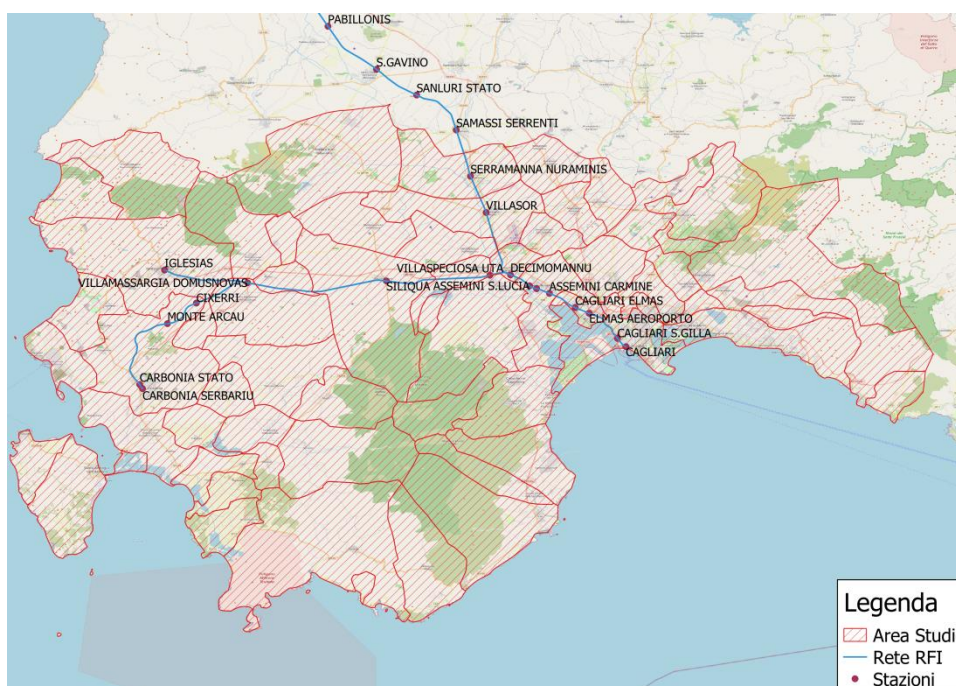


Figura 3-1 – Area di studio selezionata

3.1. LA CLASSIFICAZIONE DEI COMUNI

A supporto di alcune considerazioni espresse in questo capitolo sono state condotte alcune analisi di dettaglio relativamente alle serie storiche della popolazione delle province appartenenti all'area di studio. L'analisi è stata condotta sulla base dei dati seguenti:

- serie storiche 2014-2019 ISTAT della popolazione per Comune;
- classificazioni statistiche ISTAT dei Comuni, considerando la classificazione in base alla zona altimetrica per tener conto dell'influenza sulla mobilità di questo fattore.

Tabella 3.1 – Zone Altimetriche ISTAT

| Codice zona altimetrica ISTAT | Denominazione zona altimetrica ISTAT |
|-------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | Montagna interna |
| 2 | Montagna litoranea |
| 3 | Collina interna |
| 4 | Collina litoranea |
| 5 | Pianura |

Nelle illustrazioni che seguono è mostrato, con l’ausilio di diagrammi di tipo *box-plot*, come si distribuisce la popolazione (dati 2019) per ciascun cluster di Comuni¹.

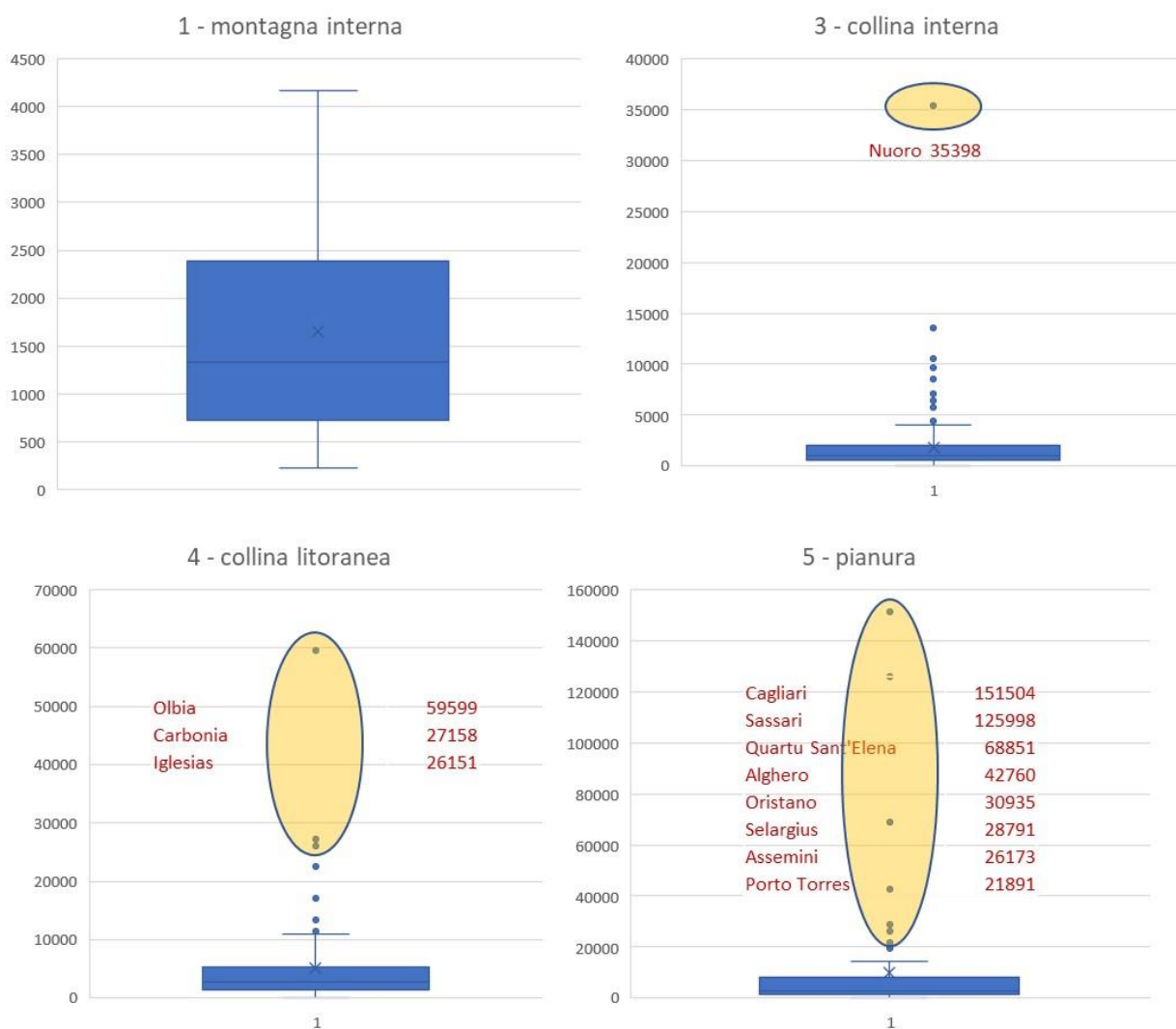


Figura 3-2 – Distribuzione box-plot della popolazione dei Comuni appartenenti alle diverse zone altimetriche Istat

In questi diagrammi si può anzitutto osservare come:

- i 34 Comuni appartenenti alla categoria “Montagna interna” presentano una popolazione di consistenza limitata, variabile nell’intervallo 234 ÷ 4.165 abitanti;

¹ La regione non presenta Comuni classificati come montagna litoranea (2)

- quelli appartenenti alla categoria “Collina interna” (179) presentano un *range* più ampio in considerazione della presenza di alcuni Comuni *outliers* tra i quali spicca quello del capoluogo Nuoro;
- analoghe caratteristiche sono da attribuire alle restanti due categorie:
 - gli 83 Comuni appartenenti alla categoria “Collina litoranea” comprendono i capoluoghi di Olbia, Carbonia ed Iglesias con popolazione nettamente superiore a quella dei restanti Comuni;
 - infine 8 degli 81 Comuni appartenenti alla categoria “Pianura” (Cagliari, Sassari, Quartu Sant'Elena, Alghero, Oristano, Selargius, Assemini e Porto Torres) presentano una popolazione superiore al normale *range*.

Con il fine di tenere conto delle dinamiche di variazione della popolazione di ciascun Comune dell'isola i citati Comuni *outliers* sono stati enucleati dai quattro cluster originari.

3.2. LE DINAMICHE DEMOGRAFICHE

Analizziamo in questo paragrafo come si è evoluta la popolazione dell'isola. Per queste finalità esamineremo sia la popolazione totale, sia la popolazione appartenente alle seguenti classi di età:

- < 15 anni;
- 15 ÷ 25 anni;
- 26 ÷ 65 anni;
- > 65 anni.

La suddivisione per classi di età consente di determinare in modo opportuno, attraverso i modelli di generazione degli spostamenti che saranno utilizzati nella fase previsionale di questo Studio, come ciascuna classe concorra al fenomeno degli spostamenti.

La seguente figura mostra anzitutto come si è evoluta la popolazione dell'intera isola nel periodo 2002÷2019.

Quella totale è debolmente cresciuta fino al 2011, dopo di che si è registrato un progressivo calo dovuto essenzialmente alle prime due fasce di età, inferiori ai 26 anni, per le quali il calo si è manifestato sin da subito.

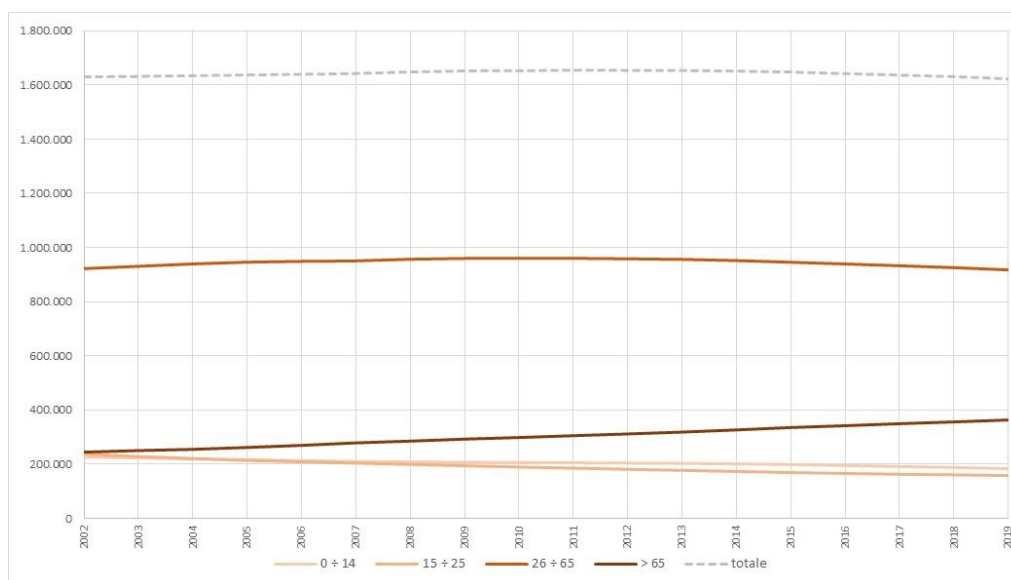


Figura 3-3 – Andamento della popolazione della Sardegna nel periodo 2002–2019

È comunque interessante analizzare il diverso trend che si apprezza attraverso l'andamento della popolazione appartenente a ciascun cluster di Comuni individuato al paragrafo precedente². Nelle figure che seguono si

² Con “*Special*” si indica il cluster composto dai comuni *outliers* enucleati dalla loro categoria di origine.

riporta questo trend attraverso il valore della variazione percentuale del numero di residenti per ciascuna “categoria” di comune considerata; la variazione associata a ciascun anno è calcolata rispetto all’anno 2002.

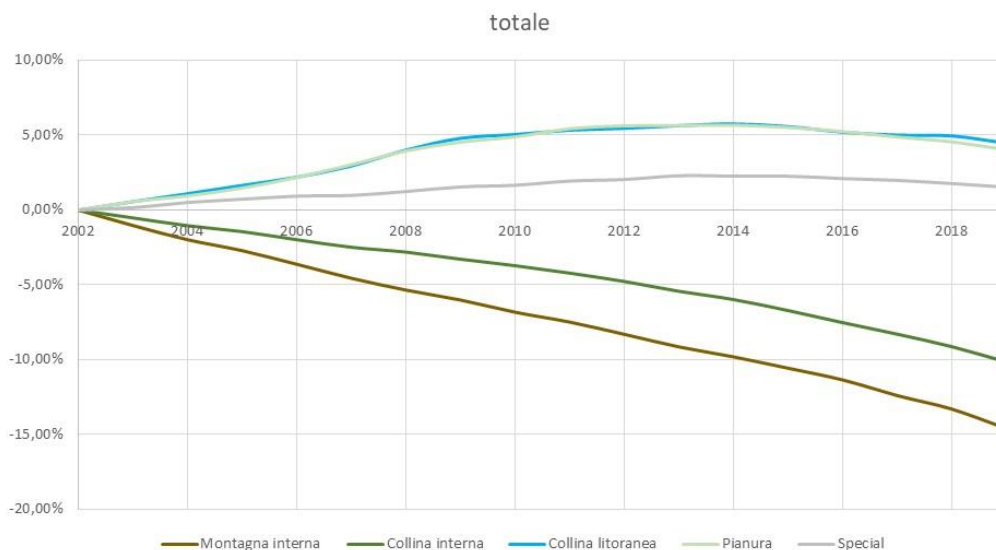


Figura 3-4 – Andamento della variazione percentuale rispetto al 2002 della popolazione totale nel periodo 2002÷2019

Nel merito della popolazione totale (Figura 3-4) si noter  come nei comuni interni (montagna e collina) si sia registrato un autentico crollo del numero di abitanti mentre viceversa il valore della popolazione totale nei comuni di pianura o litoranei sia ancora maggiore di quello dell’anno base (2002). Una sostanziale tenuta si registra per l’insieme dei comuni appartenente al cluster “Special”.

Nelle quattro illustrazioni di Figura 3-5, con riferimento alla variazione percentuale rispetto all’anno base 2002, sono mostrati i diversi trend che si sono registrati per le diverse classi di et  differenziati per cluster di Comuni.

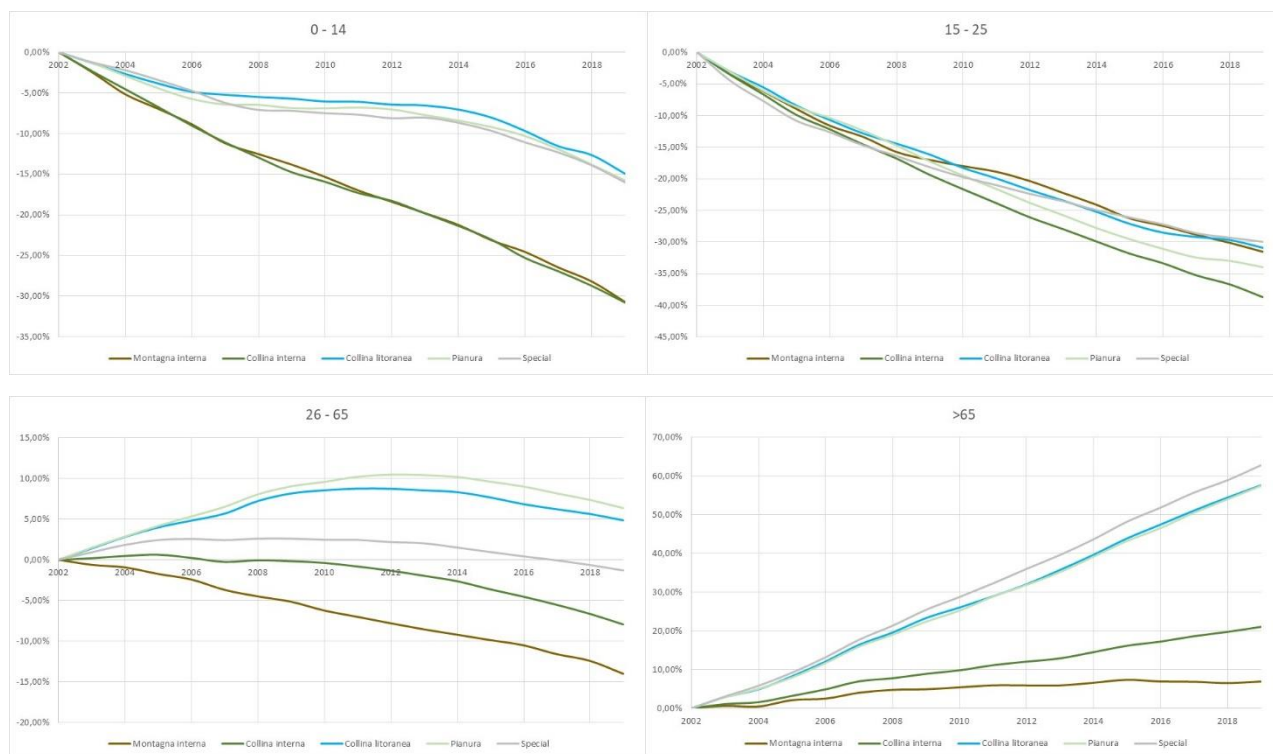


Figura 3-5 – Andamento della variazione percentuale rispetto al 2002 della popolazione per diverse classi di et  nel periodo 2002÷2019

Dai trend sono possibili le seguenti osservazioni:

- una diminuzione progressiva della popolazione con età inferiore ai 14 anni, particolarmente pronunciata per le due categorie di Comuni interni (montagna e pianura);
- una altrettanto progressiva diminuzione di età compresa tra i 15 ed i 25 anni che in questo caso appare però abbastanza omogenea tra i diversi cluster di Comuni considerati;
- come la classe di età compresa tra i 26 ed i 65 anni sia l'unica che, per talune categorie di Comuni (pianura e collina litoranea) presenta valori di popolazione superiore a quella del 2002 ancorché questa comunque si riduca nell'arco dell'ultimo decennio;
- una crescita, elevata per i cluster Pianura, Collina interna e “*Special*”, della popolazione superiore ai 65 anni.

3.3. L'OCCUPAZIONE

Riguardo al numero di occupati su territorio regionale, non essendo disponibili informazioni con livello di dettaglio comunale, è stata condotta un'analisi relativa alle province sarde.

Dal 2016 vi è stato un riaccorpamento di diverse province sarde che ha portato alla eliminazione di alcune centralità amministrative. In particolare, Sud Sardegna ha inglobato i territori di Carbonia-Iglesias e Medio Campidano, mentre Sassari e Nuoro rispettivamente i territori di Olbia-Tempio e Ogliastra.

Tabella 3.2 – Tasso di occupazione provinciale

| Territorio/ Provincia | Tasso di occupazione 19-64 anni (%) | | | | | | Δ % 2019 vs 2014 | CAGR 2019 - 2014 |
|--------------------------|-------------------------------------|------|------|------|------|------|---------------------|---------------------|
| | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | | |
| Sardegna | 48.6 | 50.1 | 50.3 | 50.5 | 52.7 | 53.8 | 10.85 | 2.08 |
| Sassari | 47.5 | 51.4 | 46.8 | 50.4 | 54.0 | 56.0 | 17.82 | 3.33 |
| Nuoro | 50.7 | 49.1 | 52.2 | 48.7 | 49.7 | 51.3 | 1.15 | 0.23 |
| Cagliari | 50.4 | 52.2 | 53.6 | 54.9 | 53.8 | 55.7 | 10.45 | 2.01 |
| Oristano | 49.8 | 50.5 | 52.0 | 48 | 53.2 | 51.1 | 2.54 | 0.50 |
| Olbia-Tempio | 51.4 | 49.8 | 51.9 | - | - | - | 8.87 | 1.71 |
| Ogliastra | 48.4 | 46.5 | 50.0 | - | - | - | 5.93 | 1.16 |
| Medio Campidano | 40.8 | 44.8 | 43.1 | - | - | - | 25.39 | 4.63 |
| Carbonia-Iglesias | 41.6 | 44.8 | 43.8 | - | - | - | 22.83 | 4.20 |
| Sud Sardegna | - | - | - | 46.8 | 51.2 | 51.2 | - | - |

Nota: per via degli accorpamenti provinciali di Medio Campidano e CI, il dato annuale per provincia è stato confrontato con il valore al 2019 della provincia Sud Sardegna. La stessa logica è stata applicata ai territori di Olbia ed Ogliastra che sono comparati con Sassari e Nuoro rispettivamente.

La tabella qui sopra mostra un trend generale di aumento dei livelli di occupazione, con picchi di variazione di oltre il 25%. Il grafico mostra la tendenza del livello di occupazione a livello regionale.

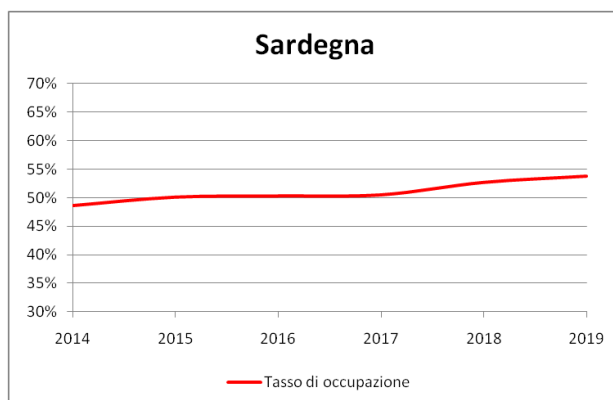


Figura 3-6 – Andamento del tasso di occupazione dell'isola nel periodo 2014÷2019

3.4. IL TURISMO

Sono stati esaminati i dati degli arrivi totali nelle strutture ricettive dell'intera regione Sardegna per l'anno 2019 come mostrato in Figura 3-7.

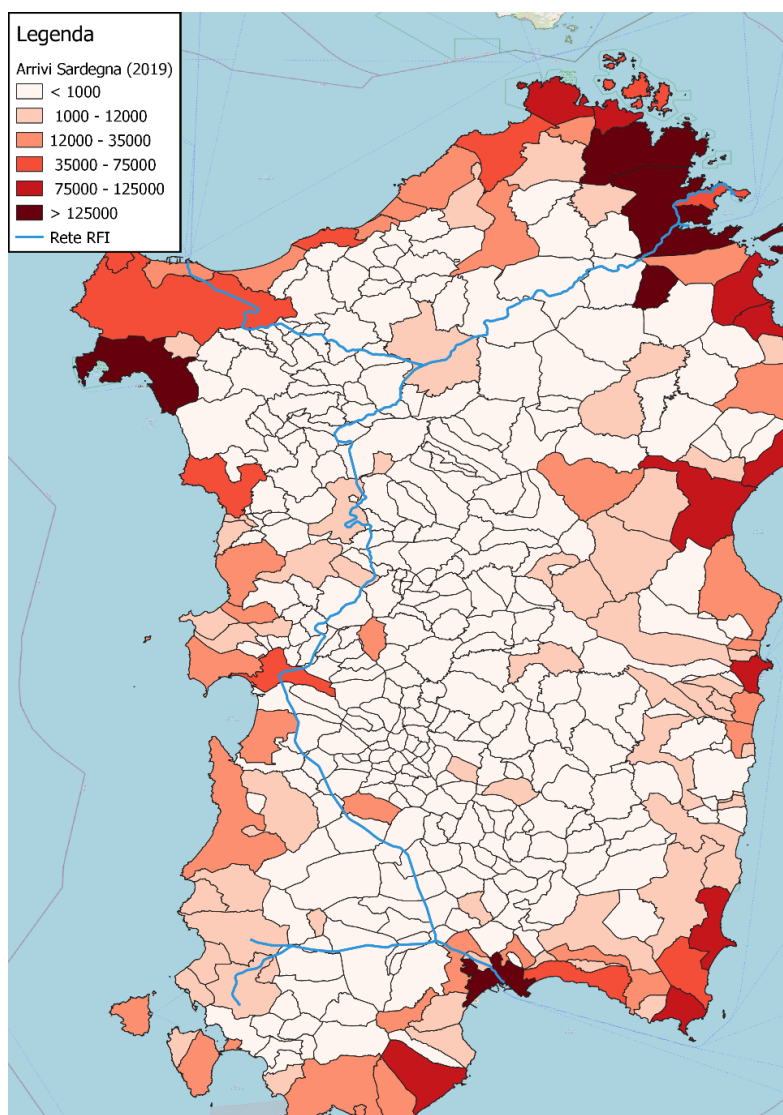


Figura 3-7 – Rappresentazione del numero di arrivi turistici per l'intero territorio sardo

I numeri sono riportati nella tabella riassuntiva di seguito e sono stati ottenuti aggregando gli arrivi in tutti i tipi di strutture di ricezione collettiva.

| Area (Province) | Arrivi totali | % Sul totale |
|--------------------------|------------------|--------------|
| Sassari | 1'685'207 | 48.9 |
| Nuoro | 519'723 | 15.1 |
| Cagliari | 499'833 | 14.5 |
| Oristano | 261'249 | 7.6 |
| Sud Sardegna | 478'046 | 13.9 |
| Sardegna (Totale) | 3'444'058 | - |

I risultati mostrano un solido sbilanciamento in termini di attrattività turistica verso i territori settentrionali dell'isola, con la provincia di Sassari che da sola raccoglie quasi il 50% degli arrivi totali. Al contrario le intere province di Cagliari e Sud Sardegna, pur avendo valori non trascurabili, arrivano ad un numero di arrivi turistici aggregati inferiore al 30% del totale.

Restringendo l'attenzione unicamente alle province di Cagliari e Sud Sardegna, si nota inoltre come quasi il 30 % del totale degli arrivi sia limitato al solo territorio comunale di Cagliari, percentuale che arriva a poco meno del 45% se a questo si aggregano anche gli arrivi presso i comuni di Quartu Sant'Elena e Pula. I comuni appartenenti alla provincia Sud Sardegna tendono invece a non essere grandi poli attrattori di flussi turistici. Come risultato si nota una distribuzione più omogenea dei flussi e generalmente più bassa in termini di valori assoluti degli arrivi.

| Area (Province) | Arrivi totali | % Sul totale |
|--|----------------|--------------|
| Cagliari (comune) | 280'059 | 28.6 |
| Quartu Sant'Elena | 59'941 | 5.8 |
| Pula | 95'452 | 9.76 |
| Domus De Maria | 32'893 | 3.36 |
| Sant'Antioco | 25'646 | 2.62 |
| Carbonia | 11'646 | 1.19 |
| Iglesias | 11'409 | 1.17 |
| Cagliari e Sud Sardegna (Totale Province) | 977'879 | - |

I dati sembrano quindi confermare come l'area di studio presa in esame, pur attirando una quota non marginale di arrivi, non abbia vocazione prevalentemente turistica, o quantomeno non i comuni inclusi nei territori in considerazione dello Studio.

4. LA RICOSTRUZIONE DEL MODELLO DI OFFERTA

Il modello di offerta consente di rappresentare il sistema dei trasporti attuale e futuro regionale, calcolando le prestazioni ed i livelli di servizio offerti, nonché di analizzare il funzionamento del sistema di trasporto, l'impegno delle infrastrutture e dei servizi di trasporto nonché le eventuali criticità correlate.

L'offerta di trasporto viene quindi modellizzata attraverso la costruzione di un modello di rete, costituito da più grafi (tanti quanti sono i modi di trasporto considerati) e dalle funzioni di costo associate ai suoi archi. Ogni grafo si compone di elementi fondamentali quali:

- i centroidi, ovvero i poli generatori/attrattori della domanda di trasporto;
- i nodi, ovvero i punti che non hanno associato alcun potenziale di attrazione o generazione ed hanno invece funzione di consentire una riproduzione il più possibile fedele della rete, attraverso la rappresentazione delle intersezioni stradali e le fermate del trasporto collettivo;
- gli archi, ovvero i collegamenti tra i nodi, che rappresentano le infrastrutture di trasporto della rete stradale e/o le linee del trasporto collettivo.

4.1. IL MODELLO DI OFFERTA STRADALE

Nel caso di studio, il grafo della rete di trasporto stradale attuale è costituito dagli elementi di seguito riportati:

- 377 centroidi (che rappresentano una suddivisione del territorio a livello comunale), di cui circa 55 interni all'area di intervento e 322 nel resto della Sardegna;
- 31'250 archi che rappresentano la rete stradale primaria dell'area di studio atti a garantire gli spostamenti inter-comunali (di cui circa 756 rappresentano archi connettori che servono per la connessione dei centroidi al grafo);
- circa 15'257 nodi che rappresentano punti di notevole interesse per la rete stradale (svincoli, intersezioni, ecc.).

Agli archi stradali sono associate una serie di caratteristiche sia fisiche che funzionali quali:

- la lunghezza;
- la direzione dei flussi;
- il numero delle corsie;
- la classe funzionale della strada;
- la capacità (veicoli/ora);
- la velocità a flusso nullo (km/h);
- i conteggi di traffico eventualmente disponibili;
- i toponimi e una serie di altre informazioni.

Nel caso in esame la rete viaria è stata modellizzata trascurando tutti gli elementi classificabili come "viabilità locale", e considerando dunque i soli elementi appartenenti alla viabilità principale utile alla rappresentazione dei principali collegamenti inter-comunali. La figura seguente riporta una rappresentazione del grafo della rete stradale attuale.

Costruito il grafo stradale, il modello di rete stradale viene messo a punto attraverso l'associazione di una funzione di deflusso per ogni arco della rete. Queste funzioni sono delle relazioni matematiche che consentono di calcolare il tempo di percorrenza degli archi ed il tempo necessario per effettuare le possibili manovre ai nodi in funzione delle caratteristiche infrastrutturali e di traffico degli archi.

Ciascuna infrastruttura stradale è caratterizzata da un funzionamento tipico che è riassunto nella specifica curva di deflusso, che pone in relazione la velocità media di percorrenza, e quindi il tempo medio di percorrenza, con il

livello di utilizzazione dell'infrastruttura stessa (condizioni di deflusso). La forma funzionale delle curve di deflusso utilizzate è del tipo BPR³, la cui espressione generale è:

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

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 (n rappresenta il numero di corsie per senso di marcia, C la capacità per corsia) e da due parametri α e β che sottintendono un insieme di fattori funzionali dell'arco (caratteristiche geometriche, condizioni d'uso, ecc.).

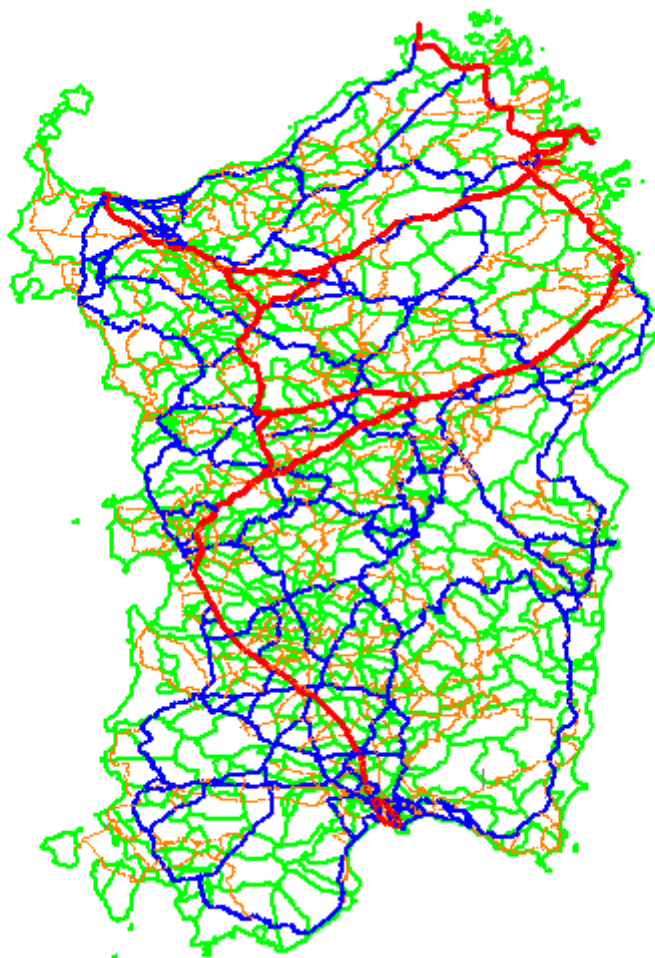


Figura 4-1 – Rappresentazione del modello di offerta stradale

Il modello di offerta di trasporto stradale è stato calibrato in modo aggregato modificando i parametri delle funzioni di costo) associate agli archi di rete in modo da riprodurre il più fedelmente possibile le prestazioni della rete stradale in termini di costo generalizzato per le principali coppie origine-destinazione (O/D) dell'area d'interesse.

In relazione al prevalente contesto extraurbano di rappresentazione del fenomeno di mobilità in esame, dove è possibile ipotizzare l'assenza di congestione sulla rete regionale, per i tempi O/D rilevati si è fatto riferimento

³ Bureau of Public Roads, Traffic Assignment Manual, U.S. Dept. of Commerce, Urban Planning Division, Washington D.C., 1964.

alle principali banche dati disponibili.. In particolare, si è fatto riferimento prestazioni fornite da Google Maps™. Nella seguente figura è riportato il risultato delle verifiche effettuate circa la capacità riproduttiva dei modelli di offerta per la rete stradale.

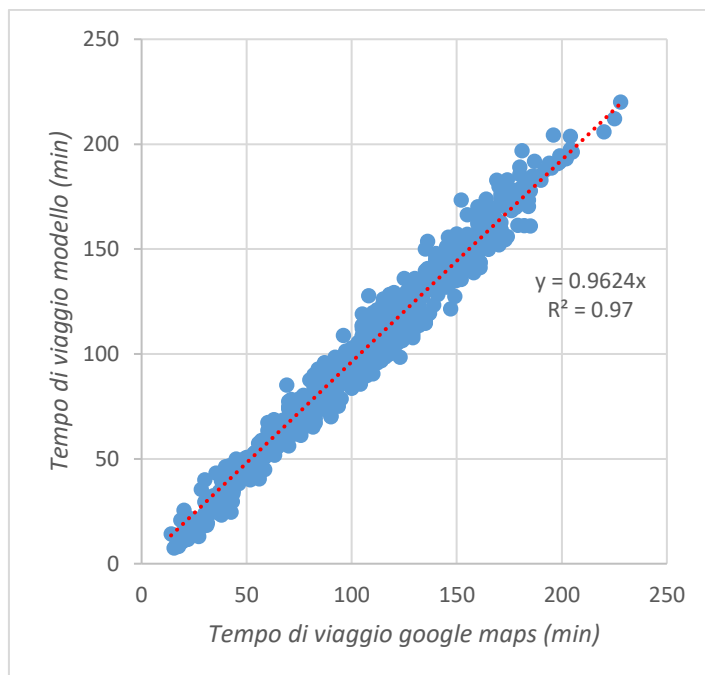


Figura 4-2 – Verifica della capacità riproduttiva dei tempi O/D su strada

4.2. IL MODELLO DI OFFERTA DI TPL

Per quanto riguarda la rete delle linee di trasporto collettivo, è stato considerato:

- un sottosistema di linee di superficie su gomma;
- un sottosistema di linee ferroviarie.

Questi sottosistemi sono costituiti dalla:

- rete dei servizi ferroviari di interesse per l'intera isola;
- rete di servizi su gomma (bus extraurbani) che collegano i principali poli di interesse dell'isola.

Per quanto riguarda l'offerta attuale, il grafo del trasporto pubblico rappresenta un'offerta di 607 linee, di cui 34 individuano il servizio di trasporto pubblico su ferro e 573 rappresentano il servizio di trasporto pubblico su gomma di interesse nell'area di intervento per il collegamento dei comuni interessati con i principali poli attrattori ed i poli attrattori tra loro.

Nel modello di offerta di trasporto pubblico, alle linee sono associate una serie di informazioni quali:

- la lunghezza;
- la velocità commerciale;
- il tipo di servizio;
- la frequenza del servizio;

i toponimi delle fermate ed i relativi codici di corrispondenza ai nodi della rete.

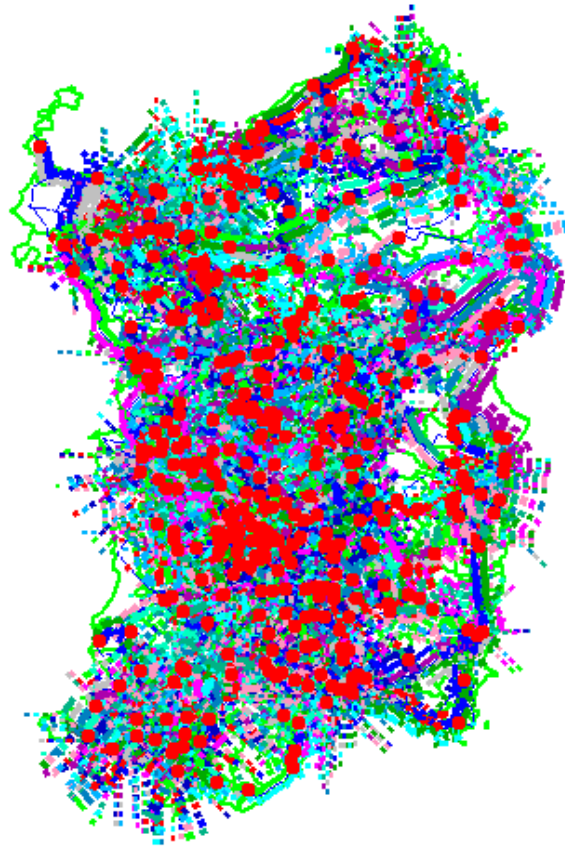


Figura 4-3 – Rappresentazione del modello di offerta di TPL

Come per il modello di offerta di trasporto stradale, anche quello di TPL su gomma è stato calibrato in modo aggregato in modo da riprodurre il più fedelmente possibile le prestazioni della rete dei servizi in termini di costo generalizzato per le principali coppie origine-destinazione (O/D) dell'area d'interesse. Anche in questo caso si è fatto riferimento prestazioni fornite da Google Maps™ per effettuare le verifiche circa la capacità riproduttiva del modello di offerta per la rete di TPL su gomma, il cui risultato è riportato nella figura seguente.

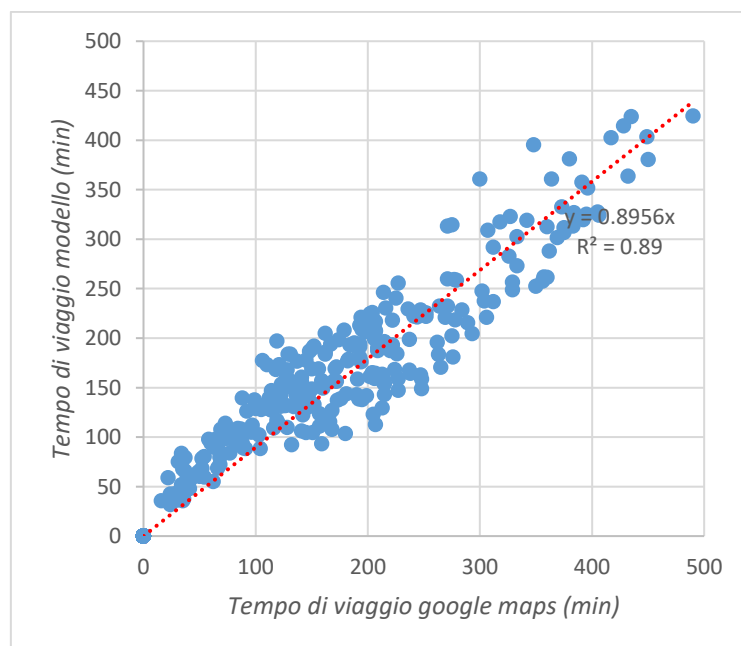


Figura 4-4 – Verifica della capacità riproduttiva dei tempi O/D su TPL su gomma

5. LA RICOSTRUZIONE DELLE MATRICI O/D ALLO STATO ATTUALE

La matrice O/D degli spostamenti allo stato attuale è stata ottenuta attraverso l'elaborazione delle matrici di domanda passeggeri ISTAT 2011 che, come noto, contemplano spostamenti riferiti ai motivi di “studio” e “lavoro”.

A partire dalle matrici modali di ciascuno dei due motivi di spostamento, comprendenti i 377 Comuni della Sardegna, si è proceduto ad una loro “correzione” attraverso i dati di traffico disponibili per le diverse modalità di trasporto, per considerare anche la componente relativa ad “altri motivi”. Quindi, per differenza tra la matrice modale complessiva così ottenuta (tutti i motivi) con quelle ISTAT è stato possibile quindi effettuare una stima delle matrici modali degli spostamenti per motivi diversi dal “lavoro” e “studio”, ovvero “altri motivi”.

Il processo è mostrato nella seguente Figura.

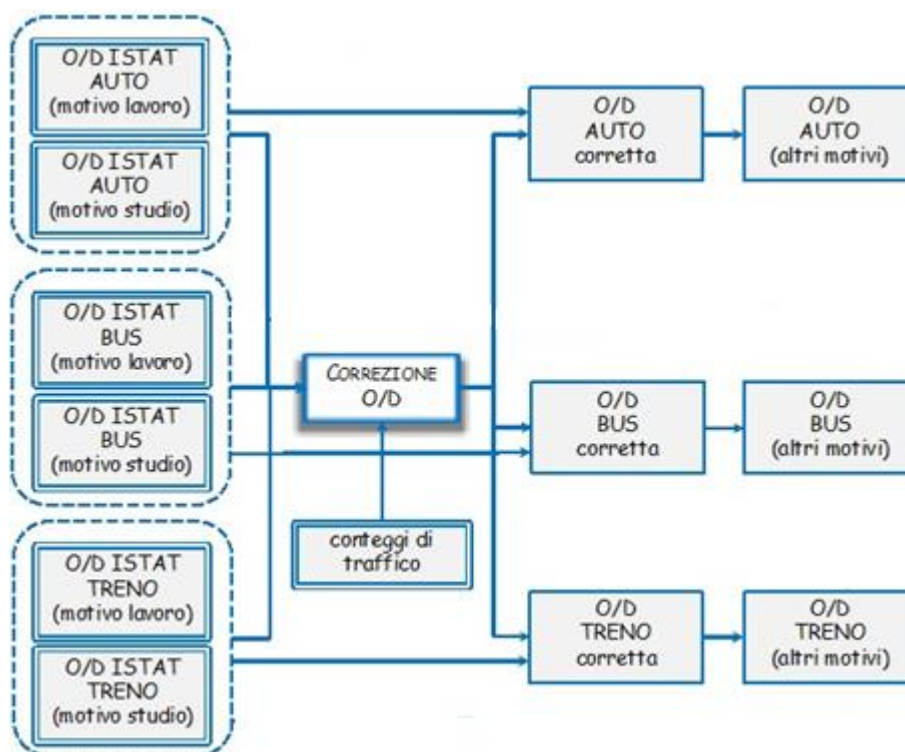


Figura 5-1 – Schema del processo utilizzato ai fini della stima delle matrici O/D

5.1. I CONTEGGI DI TRAFFICO UTILIZZATI AI FINI DELLA CORREZIONE DELLE MATRICI O/D

I conteggi di traffico disponibili, utilizzati ai fini della ricostruzione delle matrici O/D sono quelli resi disponibili da ANAS e Trenitalia.

I primi sono rappresentati dal TGM (anno 2017) che si è registrato su 70 postazioni contatraffico distribuite lungo l'intera isola. I valori dei flussi e l'ubicazione delle postazioni è rappresentata nella seguente Figura 5-2.

Nel merito dei dati Trenitalia, unico vettore che effettua servizio presso la rete RFI compresa nel modello di rete, sono stati utilizzati i dati registrati in un giorno feriale della settimana nel periodo invernale (anno 2019) su tutti i treni che effettuano servizio nell'arco dell'intera giornata.



| ID_POSTAZI | strada | km | TGM_ASC | TGM_DISC |
|------------|-------------|---------|---------|----------|
| 864 | SS125 | 142+619 | 3'439 | 3'258 |
| 865 | SS125 | 217+429 | 386 | 317 |
| 867 | SS125 | 308+978 | 3'561 | 3'499 |
| 868 | SS125 | 322+754 | 9'384 | 8'897 |
| 870 | SS125dir | 3+633 | 2'505 | 2'743 |
| 320008 | SS125var | 27+687 | 2'362 | 2'466 |
| 320006 | SS125var | 40+134 | 2'745 | 2'816 |
| 320007 | SS125var | 5+582 | 4'077 | 4'231 |
| 871 | SS126 | 1+493 | 4'637 | 4'592 |
| 875 | SS126 | 114+370 | 2'571 | 2'525 |
| 873 | SS126 | 42+456 | 721 | 273 |
| 874 | SS126 | 82+784 | 581 | 583 |
| 900004 | SS126 | 98+416 | 1'077 | 1'094 |
| 881 | SS127 | 121+542 | 265 | 362 |
| 877 | SS127 | 20+626 | 402 | 439 |
| 878 | SS127 | 51+330 | 1'376 | 1'446 |
| 882 | SS127bis | 5+053 | 364 | 337 |
| 888 | SS128 | 104+669 | 491 | 485 |
| 889 | SS128 | 147+925 | 469 | 405 |
| 885 | SS128 | 2+723 | 3'032 | 2'996 |
| 887 | SS128 | 69+523 | 77 | 86 |
| 890 | SS128bis | 17+821 | 269 | 254 |
| 891 | SS128bis | 66+284 | 306 | 266 |
| 893 | SS129 | 25+984 | 850 | 793 |
| 895 | SS129 | 60+197 | 2'033 | 2'055 |
| 898 | SS129bis | 27+732 | 1'931 | 1'965 |
| 901 | SS130 | 31+769 | 5'355 | 5'114 |
| 909 | SS131 | 106+822 | 6'893 | 6'816 |
| 910 | SS131 | 132+032 | 4'207 | 4'235 |
| 905 | SS131 | 17+392 | 17'058 | 17'227 |
| 914 | SS131 | 223+312 | 2'882 | 2'822 |
| 10064 | SS131 | 47+152 | 7'169 | 7'436 |
| 907 | SS131 | 78+217 | 8'986 | 9'116 |
| 908 | SS131 | 97+523 | 6'379 | 6'736 |
| 916 | SS131 BIS | 28+058 | 240 | 162 |
| 917 | SS132 | 5+924 | 1'006 | 870 |
| 918 | SS133 | 28+393 | 670 | 616 |
| 919 | SS133 BIS | 9+576 | 1'726 | 1'793 |
| 920 | SS134 | 21+820 | 904 | 1'102 |
| 899 | SS195 RACC | 3+306 | 16'865 | 18'004 |
| 10068 | SS196 | 31+670 | 2'045 | 1'952 |
| 1065 | SS196 DIR | 8+932 | 1'545 | 1'602 |
| 1067 | SS197 | 21+545 | 3'631 | 3'454 |
| 1068 | SS197 | 28+563 | 2'552 | 2'582 |
| 1066 | SS197 | 3+402 | 1'706 | 1'752 |
| 1069 | SS197 | 51+505 | 804 | 796 |
| 1070 | SS198 | 13+485 | 296 | 310 |
| 1071 | SS198 | 85+208 | 368 | 359 |
| 1292 | SS291 VAR | 8+506 | 8'315 | 8'885 |
| 1297 | SS292 | 115+581 | 1'506 | 1'505 |
| 1294 | SS292 | 13+474 | 224 | 223 |
| 1296 | SS292 | 80+555 | 781 | 797 |
| 1298 | SS292 DIR | 6+090 | 805 | 773 |
| 1299 | SS293 | 7+528 | 1'037 | 1'077 |
| 1303 | SS295 | 6+975 | 302 | 314 |
| 1489 | SS387 | 33+326 | 955 | 993 |
| 1488 | SS387 | 9+097 | 5'412 | 5'069 |
| 10067 | SS388 | 28+089 | 175 | 182 |
| 3522 | SS389 | 7+727 | 105 | 118 |
| 1497 | SS389 DIR-B | 3+498 | 258 | 364 |
| 900009 | SS389 VAR | 21+155 | 1'172 | 1'140 |
| 1498 | SS390 | 11+824 | 1'124 | 1'137 |
| 1552 | SS427 | 25+753 | 553 | 98 |
| 1585 | SS442 | 18+693 | 787 | 796 |
| 1686 | SS442 | 40+746 | 821 | 746 |
| 1627 | SS466 | 5+463 | 2'321 | 2'127 |
| 1730 | SS537 | 6+675 | 79 | 81 |
| 1743 | SS5547 | 13+651 | 1'232 | 1'235 |
| 862 | SS554 | 15+701 | 5'667 | 5'927 |
| 3523 | SS554 | 4+829 | 19'551 | 18'448 |

Figura 5-2 – Ubicazione e valore dei TGM utilizzati ai fini della correzione delle matrici O/D stradali

La Figura 5-3 – Flussogramma dei flussi differenziali giornalieri ($f_{inverno} - f_{estate}$; verde positivo, rosso negativo) seguente illustrazione mostra il confronto tra i flussi cumulati sugli archi dell'intera rete RFI di un giorno invernale ed estivo ($f_{inverno} - f_{estate}$) da cui si evince come in corrispondenza di Oristano ci sia una sorta di “spartiacque” per il quale a sud i flussi invernali sono marcatamente superiori a quelli estivi (si noti a proposito le tratte afferenti il capoluogo di Regione) mentre a sud i flussi estivi sono leggermente superiori a quelli invernali. Questo fenomeno è da legare alle dinamiche che si sono evidenziate nel merito dei flussi turistici al precedente § 3.4.

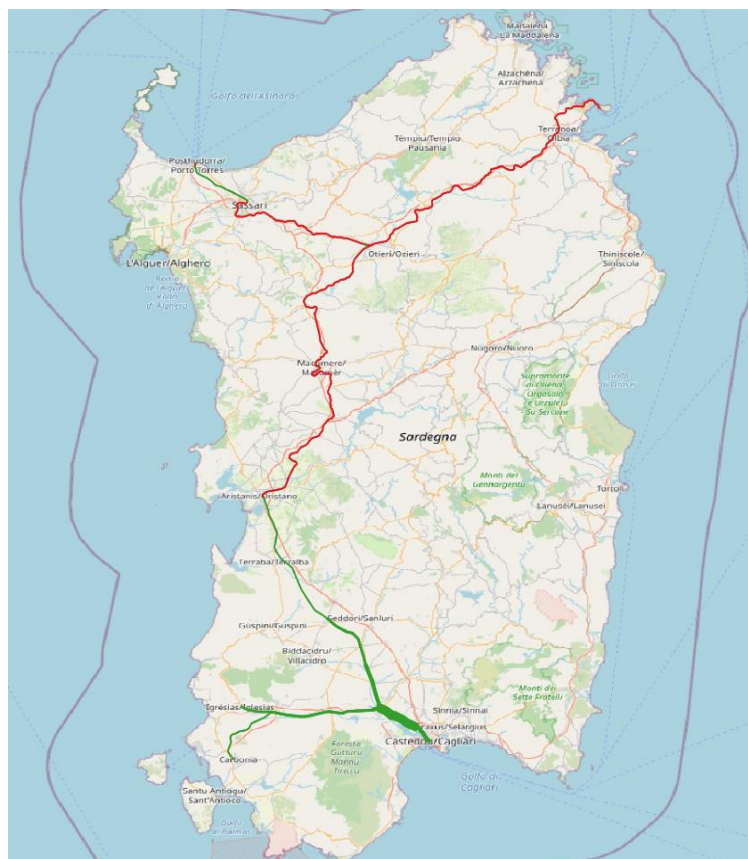


Figura 5-3 – Flussogramma dei flussi differenziali giornalieri ($f_{inverno} - f_{estate}$; verde positivo, rosso negativo)

5.2. IL PROCESSO DI CORREZIONE

Come anticipato i flussi di traffico disponibili sono stati utilizzati per correggere le matrici modali (lavoro+studio) al fine di individuare una matrice complessiva che tenesse conto anche di “altri motivi” di spostamento.

Il metodo di correzione utilizzato è quello dei Minimi Quadrati Generalizzati (GLS) che stima gli elementi incogniti della matrice O/D d_{ij} ricavando i valori che rendono minima la somma degli scarti quadratici rispetto alla stima iniziale di tali elementi \hat{d}_{ij} e che, assegnati contestualmente alla rete, producono dei flussi f_i che minimizzano gli scostamenti rispetto ai flussi misurati \hat{f}_i .

Il processo consente quindi di determinare i valori “corretti” \hat{d}_{ij} della matrice O/D e conduce, “per costruzione”, ad un significativo *fit* tra i flussi osservati e quelli provenienti dal processo di assegnazione della domanda “corretta”, come meglio evidenziato nelle seguenti illustrazioni.

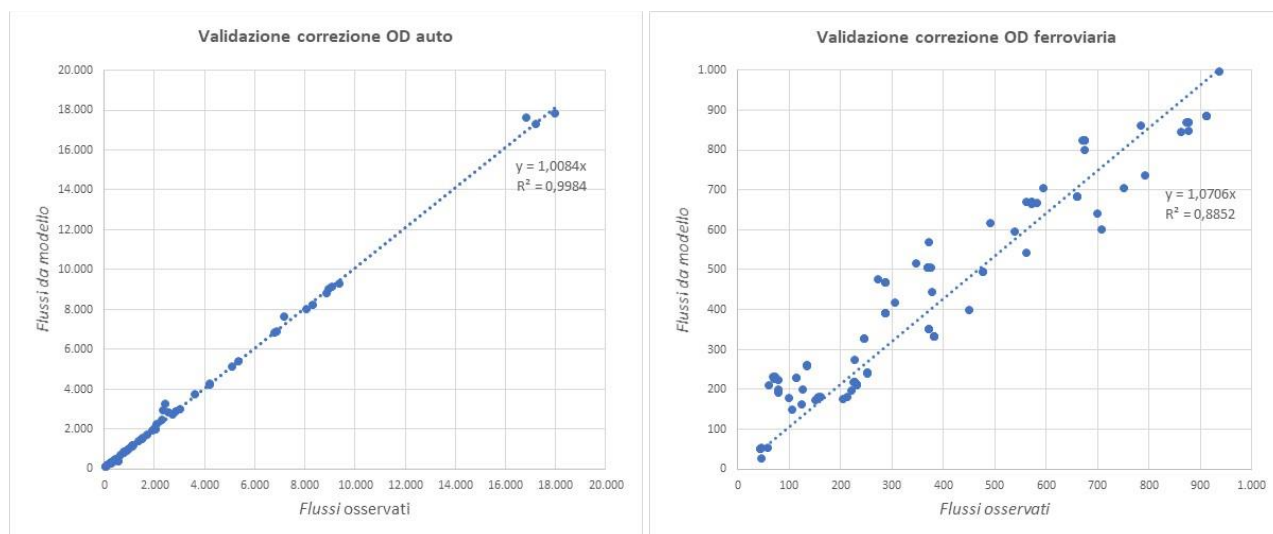


Figura 5-4 – Validazione del processo di correzione della matrice O/D di partenza

5.3. I RISULTATI OTTENUTI

La metodologia adottata ha consentito, come già più volte affermato, di individuare una ulteriore componente di domanda, attribuita a motivi diversi da quelli di “lavoro” e “studio” (questi ultimi definiti secondo la connotazione data da ISTAT) che abbiamo definito “altro”.

Il grafico seguente riporta il valore degli spostamenti totali intercomunali che si registrano per l'intera isola distinta per i diversi modi di trasporto e per le motivazioni di spostamento considerate.

L'incremento della domanda totale ISTAT risulta pari al 25% e come si potrà notare il ruolo del trasporto collettivo è piuttosto marginale per i motivi “lavoro” ed “altro” (rispettivamente 5% e 2%) mentre per quello di “studio” si dimostra prevalente (63%).

Gli spostamenti intercomunali, che avvengono all'interno dell'area di studio formata dai 55 Comuni indicati all'inizio del Capitolo 3 (si veda la Figura 5-6), sono pari ad oltre 264'801, quindi il 42% di quelli totali sull'isola; si osserva come su quest'area, al 2019, insisteva una popolazione pari al 38% di quella totale Sarda. Si registrano analoghe ripartizioni modali per i diversi motivi indagati.

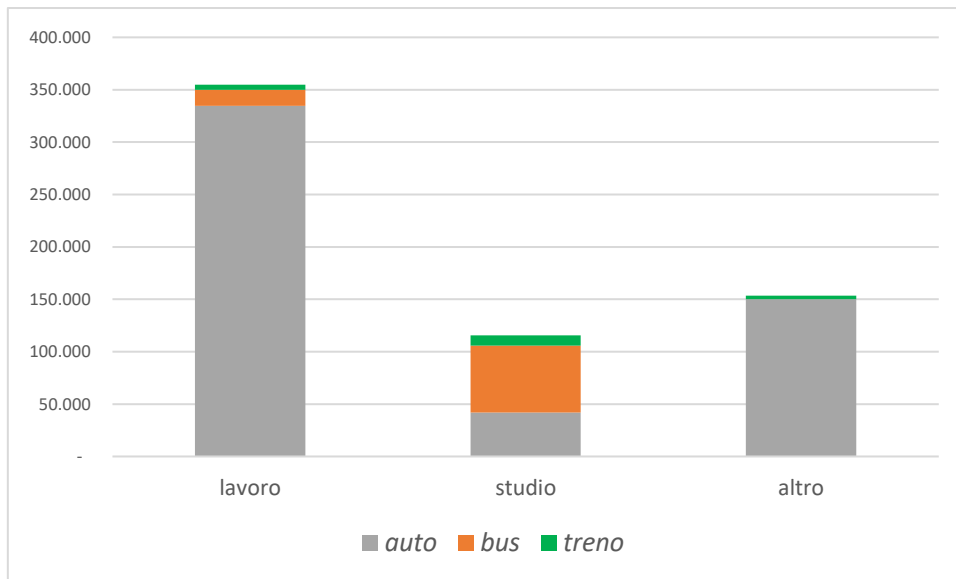


Figura 5-5 – Ricostruzione degli spostamenti intercomunali

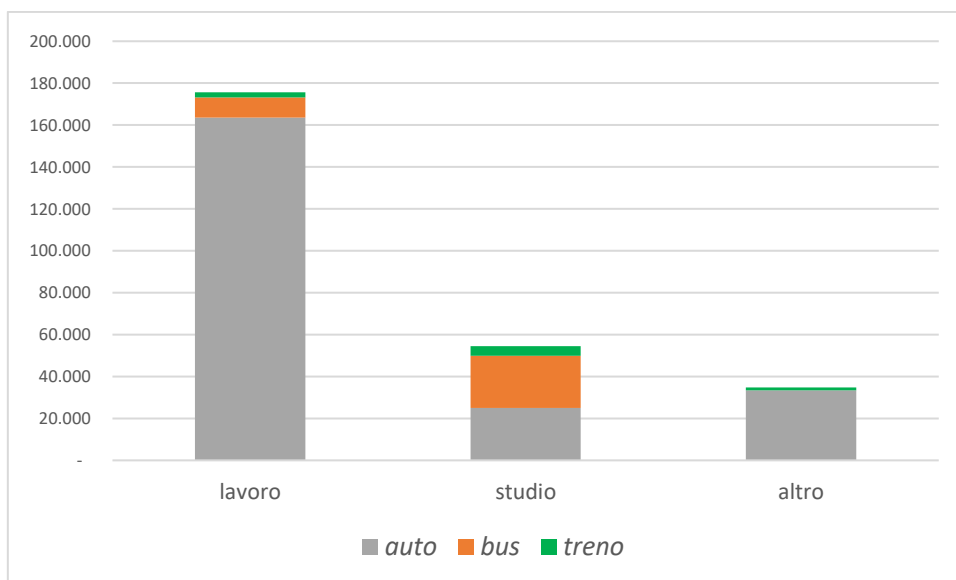


Figura 5-6 – Spostamenti intercomunali all'interno dei 55 Comuni che compongono l'area di studio

6. ANALISI DEGLI SCENARI DI SVILUPPO

6.1. PREVISIONI DI EVOLUZIONE DELLA POPOLAZIONE

Come noto Istat elabora previsioni di evoluzione della popolazione a livello regionale. Il grafico sotto riportato mostra quelle prodotte per la Sardegna; il grafico conserva l'informazione relativa ai dati registrati nel corso del periodo 2002-2019 (già mostrati in Figura 3-3) con il fine di apprezzare il trend complessivo. Infine, nel grafico sono riportati, oltre all'andamento della popolazione totale, quello riferito alle singole fasce di età.

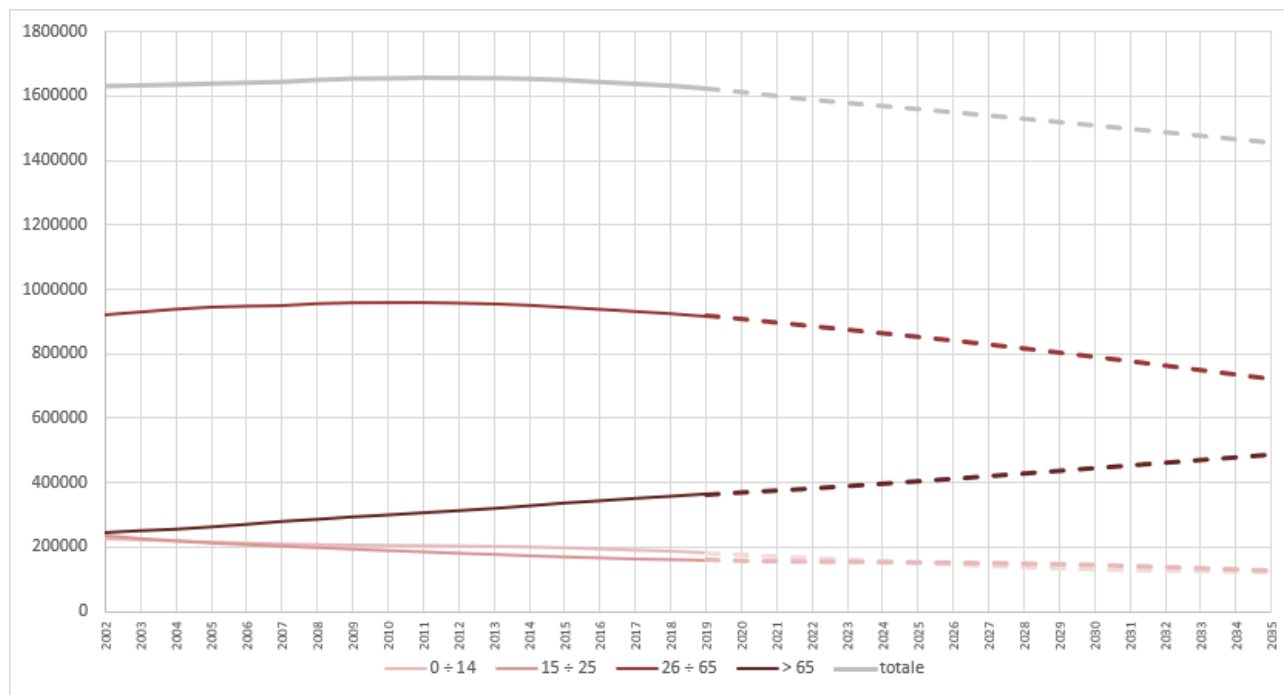


Figura 6-1 – Previsione della popolazione della Sardegna nel periodo 2022=2035

Secondo Istat, ad esempio, la popolazione al 2026 passerà a poco oltre 1,5 milioni di abitanti con una riduzione complessiva pari al 4,5% rispetto a quella del 2019. La classe di età dove si assiste ad una maggiore riduzione della consistenza (-8,2%) è la 19÷65, quella tra l'altro che contribuisce maggiormente agli spostamenti, seguita dalla classe 14÷25 (-5,4%); per la categoria over 65, come già indicato, Istat prevede un incremento che al 2026 è pari al 13% circa.

La valutazione degli scenari di sviluppo della popolazione per ciascun Comune (leggasi “zona di traffico”) e per ciascuna classe di età è stata prodotta a partire dalla variazione percentuale media che si è registrata nell'ultimo quinquennio per il cluster di appartenenza del Comune (si veda a proposito quanto mostrato al §3.2). Questa prima stima è stata corretta riproporzionando il valore della popolazione per raggiungere quello indicato da Istat.

6.2. CENNO SUGLI INTERVENTI PREVISTI SULLA LINEA

Nell'ambito del potenziamento infrastrutturale Villamassargia - Decimomannu oggetto di Studio la progettazione si pone come obiettivo un raddoppio integrale della linea tra Villamassargia-Domusnovas e Decimomannu. Questo intervento permette di incrementare la capacità della linea, superando così l'attuale limite di 4 treni/h (considerando entrambe le direzioni) dettato dalla presenza del semplice binario.

Contestualmente al raddoppio è prevista l'elettrificazione della linea: l'intervento rientra in un quadro di elettrificazione più ampio che porterà all'eliminazione della trazione Diesel per le intere relazioni Cagliari - Carbonia e Carbonia - Iglesias. È inoltre stato pianificato l'attrezzaggio con il nuovo sistema di segnalamento e di protezione della marcia del treno di tipo ERTMS-ETCS L2 Stand Alone, coerentemente con quanto previsto nel Piano Accelerato ERTMS.

Gli interventi tra Decimomannu e Villamassargia-Domusnovas saranno inoltre volti ad eliminare 9 passaggi a livello.

Già nello Scenario di Riferimento, al fine di non raccogliere benefici non strettamente legati all'investimento analizzato, sono stati considerati degli interventi ancillari al raddoppio tra Villamassargia e Decimomannu di cui il più rilevante è rappresentato dalla velocizzazione della linea ferroviaria (a semplice binario) tra Villamassargia-Domusnovas e Carbonia Serbariu. Questo intervento è infatti fondamentale per poter garantire l'inserimento della seconda traccia all'ora sulla relazione Carbonia Serbariu - Cagliari, dal momento che non sono presenti posti di incrocio fra Carbonia Serbariu e Villamassargia-Domusnovas.

6.3. POTENZIAMENTO PROGRAMMATO DELL'OFFERTA REGIONALE

Le prospettive di sviluppo dei traffici passeggeri sono strettamente legate al potenziamento programmato dell'offerta regionale sulla linea oggetto di analisi. Rispetto alla situazione attuale è infatti previsto un importante aumento della frequenza dei servizi e l'adozione di un modello di esercizio basato su servizi cadenzati.

Le informazioni dettagliate sono riportate nello Scenario di regime presente all'interno dell'Allegato D al vigente Accordo Quadro per i servizi di Trasporto Pubblico Locale, sottoscritto tra Rete Ferroviaria Italiana e Regione Sardegna nel marzo 2020.

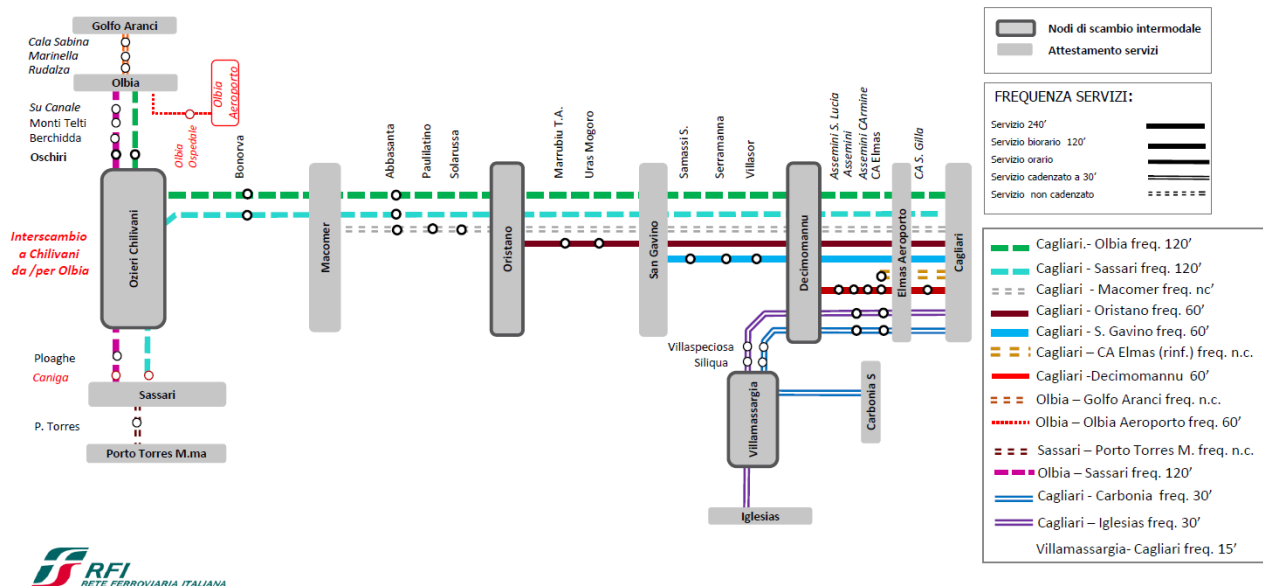


Figura 6-2 – Schema dei servizi: scenario di regime

Secondo tale schema lo scenario di regime, limitatamente alle relazioni di interesse nel presente Studio, sarebbe costituito da due servizi regionali, Cagliari - Iglesias e Cagliari - Carbonia, entrambi con cadenzamento semiorario. L'orario si intende da costruirsi con un distanziamento temporale di 15 minuti tra le griglie di cadenzamento dei due servizi, in modo tale da avere di norma un servizio ogni quarto d'ora nella tratta comune (Villamassargia-Domusnovas - Cagliari). La frequenza da Villamassargia-Domusnovas verso Cagliari sarebbe dunque quadruplicata (15' vs 60') rispetto allo scenario attuale.

La linea ferroviaria Villamassargia-Domusnovas - Decimomannu vedrebbe pertanto 64 coppie di treni regionali al giorno, vale a dire 128 treni considerando entrambe le direzioni: tale valore è di gran lunga superiore a quello di saturazione della tratta nello scenario infrastrutturale attuale, pari a 80 treni/giorno (fonte: PIR 2021).

Per quanto riguarda i servizi al contorno, che potrebbero essere rilevanti ai fini dell'effetto rete, si osservano variazioni per le seguenti relazioni:

- Regionale Cagliari - Oristano, che presenta un raddoppio della frequenza dei servizi, passando da un cadenzamento biorario a uno orario; c'è da sottolineare, tuttavia, che già attualmente parte delle corse Cagliari - San Gavino sono state prolungate su Oristano, arrivando ad avere 15 coppie di corse tra i due capoluoghi, senza presentare però omogeneità nelle fermate intermedie (e quindi nei tempi di percorrenza e nella possibilità di avere una vera griglia oraria di cadenzamento);
- Regionale Cagliari - Sassari, che cessa di essere servizio non cadenzato (attualmente sono espletate solo 5 corse dispari e 3 corse pari) e adotta un cadenzamento 120' (si possono ipotizzare 8 coppie/giorno);
- Regionale Cagliari - Olbia, che cessa di essere servizio non cadenzato (attualmente sono espletate solo 3 corse dispari e 5 corse pari) e adotta un cadenzamento 120' (si possono ipotizzare 8 coppie/giorno).

6.4. GLI SCENARI CONSIDERATI

Nella realizzazione del sistema di modelli sono stati considerati due scenari:

- Scenario di Riferimento;
- Scenario di Progetto.

Nello Scenario di Riferimento, in cui i tempi di percorrenza assegnati ai treni Regionali rispecchiano quelli attuali, è stata considerata la seguente impostazione dei servizi regionali:

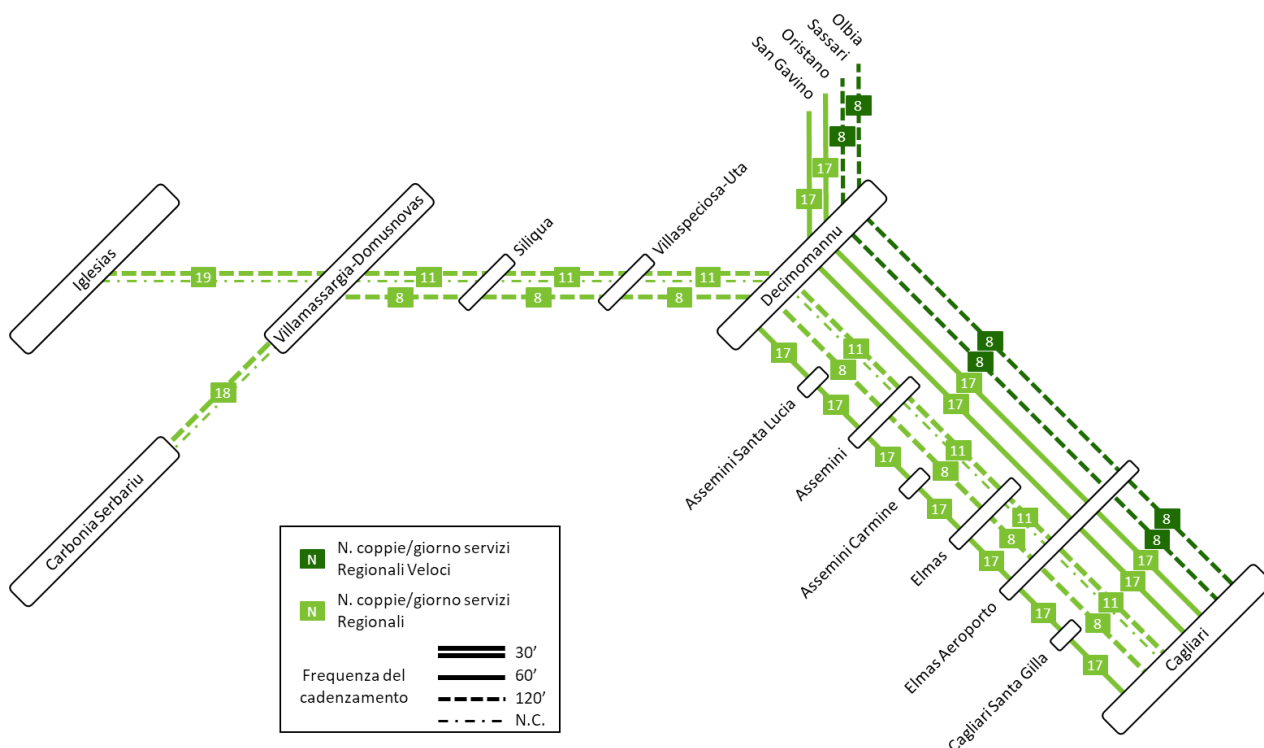


Figura 6-3 – Schema dei servizi nello Scenario di Riferimento

Nello Scenario di Progetto, in cui i tempi di percorrenza sono stati ridotti alla luce della velocizzazione garantita dal nuovo assetto infrastrutturale, è stata considerata l'impostazione dei servizi regionali rappresentata nella seguente illustrazione. Si precisa che rispetto alle ipotesi illustrate nel precedente paragrafo e riferite a quanto previsto nell'AQ vigente, ciascuno dei due servizi tra il capoluogo di Regione e Carbonia ed Iglesias è stato specializzato in due categorie:

- servizi Regionali, con impostazione coincidente con quella contemplata in AQ, aventi ciascuno frequenza oraria;

- servizi Regionali Veloci, anche questi caratterizzati da una frequenza oraria che, limitando le soste commerciali ad Elmas Aeroporto, Decimomannu e Villamassargia-Domusnovas, sono più veloci dei servizi Regionali e consentono di sfruttare al meglio l'intervento di raddoppio per le componenti di domanda più consistenti, quali appunto gli spostamenti tra Cagliari e Carbonia/Iglesias.

Si sottolinea che questa variazione alla impostazione dei servizi prevista in AQ non produce modifiche al numero di treni-km.

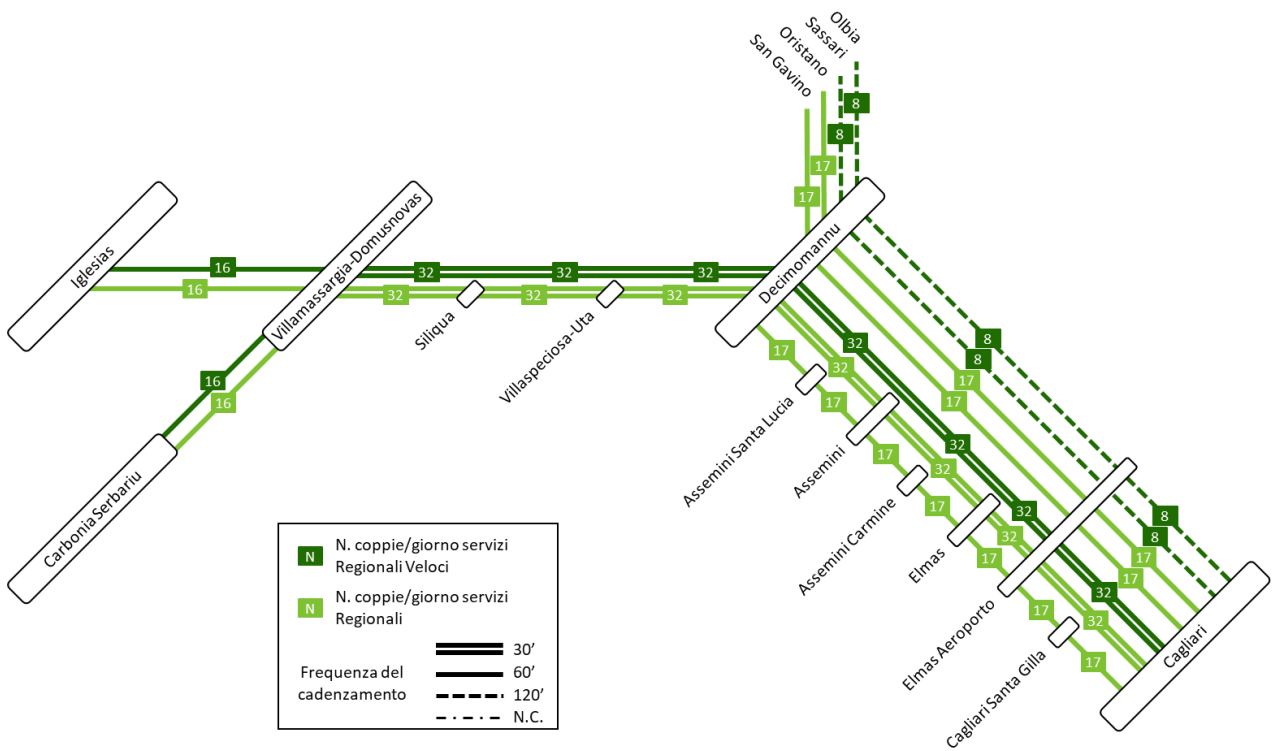


Figura 6-4 – Schema dei servizi nello Scenario di Progetto

7. PROSPETTIVE DI SVILUPPO DEI TRAFFICI PASSEGGERI

Al fine di valutare le prospettive di sviluppo dei traffici passeggeri sono state prese in considerazione le ipotesi di riorganizzazione dei servizi ferroviari unitamente alla valutazione di alcune variabili socio-economiche evidenziate al precedente Capitolo che, in considerazione dell'orizzonte temporale considerato (2030) possono variare producendo significativi condizionamenti alla mobilità.

Le variazioni alla domanda e ai flussi di traffico sono state quindi determinate attraverso uno specifico sistema di modelli matematici, calibrato e tarato sulla specifica realtà territoriale in esame che può essere rappresentato nella seguente illustrazione.

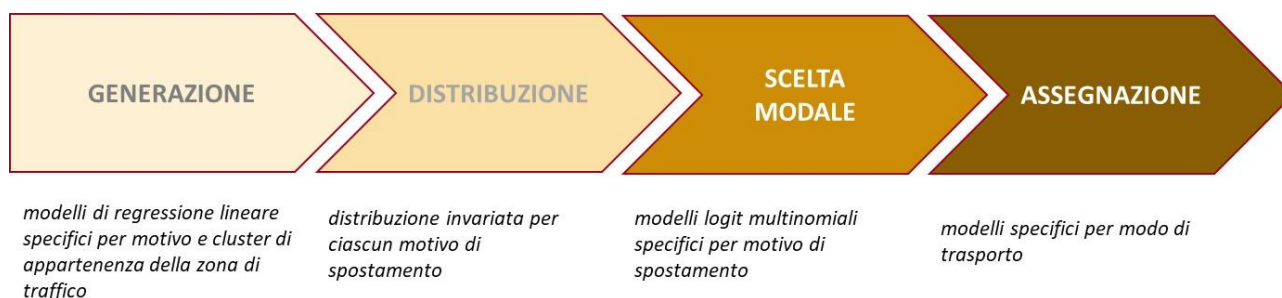


Figura 7-1 – Schema del processo utilizzato per le previsioni di traffico

Nei seguenti paragrafi, dopo una breve rappresentazione dell'apparato metodologico utilizzato, vengono esposti nel dettaglio i modelli utilizzati e le conseguenti stime della domanda e dei flussi di traffico che si realizzano in corrispondenza delle diverse componenti del sistema di trasporto dell'area di studio.

7.1. GENERALITÀ SULL'APPARATO METODOLOGICO

Le previsioni di traffico dei servizi ferroviari regionali si basano su un apparato modellistico, messo specificatamente a punto per questo Studio, che trae origine:

- dal modello del sistema di offerta delle infrastrutture e dei servizi che schematizza la rete delle infrastrutture stradali e quella dei servizi ferroviari e bus del territorio isolano, sistema rappresentato secondo un livello di definizione coerente con il livello di dettaglio dello *zoning* adottato per l'area di studio che è di tipo comunale (si veda quanto meglio indicato al precedente Capitolo 0);
- dalla matrice O/D degli spostamenti ricostruita secondo quanto precisato al precedente Capitolo 5.

I suddetti elementi hanno, più in particolare, permesso di calibrare il sistema di modelli di emissione e scelta modale utilizzati ai fini previsionali.

La valutazione dei carichi sulla rete di trasporto ha utilizzato la “canonica” metodologia basata sulla individuazione delle componenti tecniche e socio-economiche atte a connotare il sistema di mobilità a servizio di un determinato contesto territoriale e sulla simulazione delle interazioni tra le citate componenti (Figura 7-2).

Sono stati quindi sviluppati sistemi di modelli di domanda (generazione, distribuzione e scelta modale), specifici per i tre motivi di spostamento: lavoro, studio e altri motivi.

La metodologia di previsione della domanda di trasporto utilizza quindi il sistema di modelli di domanda di emissione, distribuzione e scelta modale specifico dei quattro diversi motivi di viaggio considerati (lavoro, studio, altri motivi) che permette di ottenere le future matrici O/D giornaliere distinte per le tre modalità di trasporto (auto, bus extraurbano, treno) considerate.

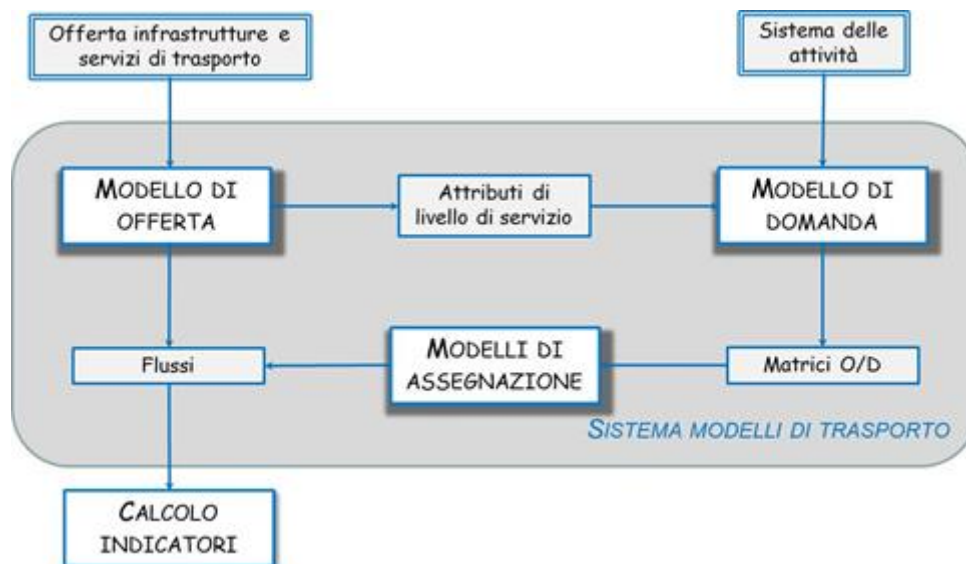


Figura 7-2 – Schematizzazione della metodologia utilizzata per la previsione dei traffici relativi alla componente regionale

Il sistema di modelli è stato implementato nel SW di modellizzazione CUBE.



Figura 7-3 – Architettura del sistema di modelli implementata in SW CUBE

7.2. IL SISTEMA DI MODELLI UTILIZZATO

7.2.1 IL MODELLO DI GENERAZIONE

La calibrazione dei parametri del modello di generazione per i diversi motivi di trasporto si basa sulle matrici O/D stimata nell'ambito di questo Studio e che si ipotizza che siano associate all'anno 2019⁴.

⁴ Questa ipotesi è legata al fatto che al 2019 possono ricondursi i dati di traffico utilizzati ai fini della correzione delle matrici O/D modali complessive per modo e dalla ipotesi di considerare invariata la matrice degli spostamenti sull'isola del 2011.

In particolare, sono stati selezionati gli spostamenti emessi per tutti i modi di trasporto (al netto ovviamente degli spostamenti interni alla stessa zona) che sono stati comunque distinti per i tre motivi di spostamento considerati (lavoro, studio, altri motivi). Questi sono stati quindi ulteriormente suddivisi per i 5 cluster di zone evidenziati al § 3.1 in funzione della classificazione Istat.

La forma funzionale del modello è stata quindi individuata a partire dalle correlazioni tra gli attributi delle zone ed il valore di spostamenti generati nel dato fonte al 2019 secondo un modello avente la seguente forma funzionale:

$$d_o(s,c) = \sum_i X_o^i m^i(s,c)$$

in cui:

- $d_o(s)$ rappresenta il numero di spostamenti emessi dall'origine o per il motivo s e cluster di appartenenza della singola zona di traffico c ;
- X_o^i rappresenta l' i -esima variabile che è "rientrata" tra quelle che spiegano il fenomeno e che dipende ovviamente dalle caratteristiche della zona di origine o ;
- $m^i(s,c)$ rappresenta il parametro associato alla variabile i -esima, dipendente dalle molteplicità s e c già evidenziate.

Il seguente prospetto rappresenta nel dettaglio i modelli di generazione utilizzati. Si precisa che per il motivo "altri motivi di spostamento" le informazioni utilizzate non hanno permesso di raggiungere un modello di generazione statisticamente affidabile. Quindi, ai fini delle valutazioni prodotte in questo Studio è stata utilizzata la matrice O/D, riferita ad "altri motivi" stimata come indicato al Capitolo 5.

Tabella 7.1 – Specificazione e parametri dei modelli di generazione

| motivo | cluster zona | POP 19 - 65 | POP 14 - 25 | DENSITA' | OCCUPATI | m | R ² |
|--------|-------------------|-------------|-------------|----------|----------|--------|----------------|
| LAVORO | Montagna interna | 0,197 | | | | 0,9487 | 0,8283 |
| LAVORO | Collina interna | 0,316 | | | | 0,9544 | 0,9244 |
| LAVORO | Collina litoranea | | | 1,286 | 0,486 | 0,805 | 0,6117 |
| LAVORO | Pianura | | | 0,657 | 0,821 | 0,9102 | 0,8379 |
| LAVORO | special | 0,047 | | 8,424 | 0,117 | 0,9945 | 0,9608 |
| STUDIO | Montagna interna | | 0,406 | | | 0,9066 | 0,7117 |
| STUDIO | Collina interna | | 0,561 | 0,657 | | 0,8929 | 0,8037 |
| STUDIO | Collina litoranea | | 0,54 | 0,116 | | 0,861 | 0,7329 |
| STUDIO | Pianura | | 0,521 | 1,455 | | 0,9678 | 0,9544 |
| STUDIO | special | | 0,46 | 2,488 | | 0,9163 | 0,6376 |

7.2.2 IL MODELLO DI SCELTA MODALE

Il modello di scelta modale utilizzato, di tipo *logit*, è caratterizzato dalla seguente forma funzionale:

$$p(m/ods) = \frac{e^{V_m(o,d,s)}}{\sum_n e^{V_n(o,d,s)}}$$

in cui $V_m(o, d, s)$ costituisce l'utilità associata alla generica alternativa m per ciascuna coppia O/D e dipendente dal motivo di spostamento s . La funzione di utilità è stata determinata come combinazione lineare di determinati attributi $X_{o,d}$ che caratterizzano il modo m e valutati per ciascuna coppia O/D:

$$V_m(o, d, s) = \sum_k \beta_{k,s} X_{o,d}$$

La dipendenza dell'utilità al motivo s è derivata dal set di coefficienti $\beta_{k,s}$ che pesano ciascun attributo, set che dipende appunto dal motivo di spostamento. La calibrazione dei modelli di scelta modale è quindi partita dalla stima delle matrici O/D modali, distinte per motivo, di cui al Capitolo 5.

Il seguente prospetto rappresenta nel dettaglio i modelli calibrati⁵. I valori della *t-student* risultano tutti accettabili mentre il modello riferito ad "altri motivi" non è caratterizzato da un buon R^2 , cosa da attribuire in buona parte alla impossibilità di aver corretto la matrice riferita agli spostamenti bus, data la mancanza dei dati necessari.

Tabella 7.2 – Specificazione e parametri dei modelli di scelta modale

| | LAVORO | | STUDIO | | ALTRI MOTIVI | | variabile | u.m. |
|-----------------------------|---------|---------|---------|--------|--------------|--------|--|--------------|
| | β | t-test | β | t-test | β | t-test | | |
| ASC_{BUS} | -3,3056 | -148,84 | | | | | 1/0 - variabile specifica alternativa BUS | - |
| ASC_{TRENO} | -3,5030 | -130,07 | -2,0922 | -79,14 | | | 1/0 - variabile specifica alternativa TRENO | - |
| C | -0,1015 | -67,48 | | | | | costo del trasporto | € |
| FREQ | 0,0072 | 9,59 | 0,0071 | 12,18 | 0,0047 | 3,01 | frequenza dei servizi | treni/giorno |
| T_{via} | -0,0043 | -7,97 | | | | | tempo di viaggio | min |
| T_{trasb} | -0,0074 | -10,31 | -0,0253 | -44,05 | | | tempo di trasbordo | min |
| T_{viaAUTO} | | | -0,0628 | -91,24 | -0,0211 | -12,97 | tempo di viaggio | min |
| T_{viaBUS} | | | -0,0097 | -25,92 | | | tempo di viaggio | min |
| T_{viaTRENO} | | | -0,0072 | -14,21 | -0,0208 | -17,31 | tempo di viaggio | min |
| CAPO | | | 0,4734 | 30,74 | 1,7023 | 46,99 | 1/0 - 1 se la destinazione è un Comune capoluogo | |
| R² | 0,65 | | 0,26 | | 0,46 | | | |
| % prima alternativa | 94% | | 55% | | 98% | | | |
| R ² minimo | 0,67 | | 0,03 | | 0,71 | | | |

7.3. I RISULTATI DELLE SIMULAZIONI DI TRAFFICO

Le simulazioni di traffico sono state svolte prendendo in considerazione i seguenti scenari:

- uno scenario di riferimento (R) nel quale sono state mantenute le caratteristiche di rete e cadenzamento ferroviario dello scenario attuale all'orizzonte temporale del raddoppio in questione (2030);
- uno scenario di progetto (P) nel quale sono presi in considerazione gli interventi oggetto dello studio, ovvero il raddoppio della linea fra le stazioni di Decimomannu e Villamassargia, con il conseguente aumento della frequenza dei servizi secondo quanto meglio rappresentato al precedente § 6.4.

Nel prosieguo verranno analizzati i risultati delle simulazioni in termini di flussi giornalieri differenziali fra lo scenario di progetto e quello di riferimento.

⁵ Come valore di riferimento del R^2 minimo è stato indicato quello suggerito in *Ortuzar-Willumsen – Modelling transport*, dipendente dalla proporzione di utenti che sceglie la prima alternativa nel contesto dei dati disponibili, riportato nel seguente Prospetto:

| % prima alternativa | 50% | 60% | 70% | 80% | 90% | 95% |
|-------------------------|-----|------|------|------|------|------|
| rho ² minimo | 0 | 0,03 | 0,12 | 0,28 | 0,53 | 0,71 |

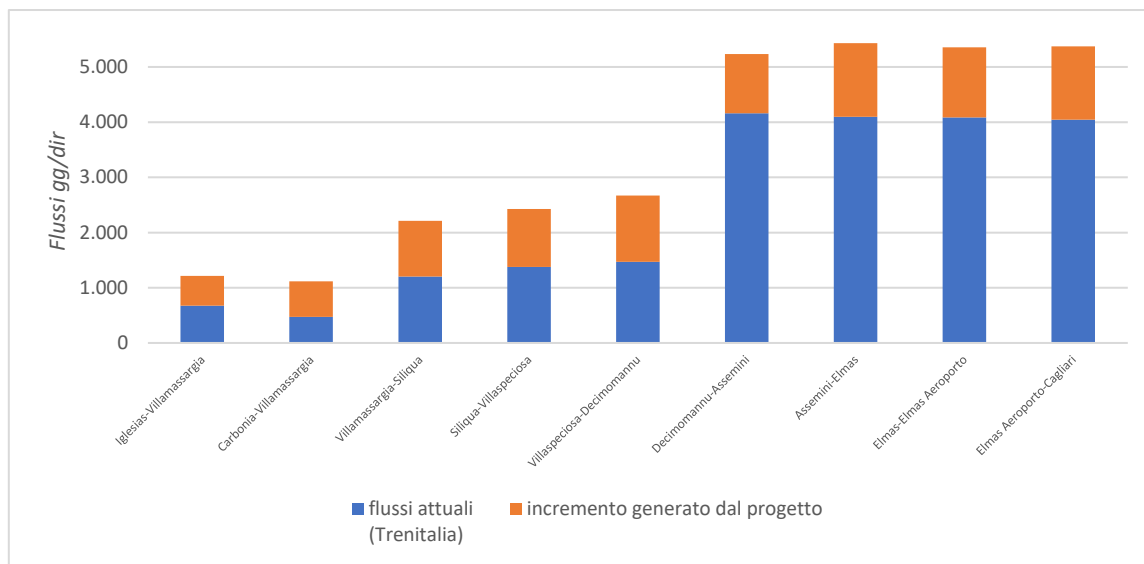


Figura 7-4 – Flussogrammi sulle diverse tratte della linea oggetto di analisi

La tratta interessata dall'intervento mostra un generalizzato incremento dei flussi distribuito su tutte le fermate della linea.

Esaminando più in dettaglio il tracciato della linea interessata dall'investimento, comprese le tratte antenna verso Iglesias e Carbonia sulle quali gli incrementi sono generati unicamente dall'effetto frequenza, si nota come mediamente l'incremento percentuale dei flussi sia pari a circa il 90% con punta massima nella tratta fra Carbonia e Villamassargia dove l'incremento è pari a più del doppio.

Al tempo stesso sulla tratta ferroviaria compresa fra Cagliari e Decimomannu si osservano incrementi dei flussi che, in conseguenza del fatto che è la tratta più utilizzata della regione (si confronti ancora Figura 5-3), risultano meno consistenti in termini generali ma che comunque sono mediamente pari al 30% circa.

Le analisi riportate in Figura 7-5 entrano nel merito di come cambia la ripartizione modale nell'area di intervento per i motivi di spostamento per effetto della realizzazione del progetto.



Figura 7-5 – Distribuzione percentuale della domanda nelle due situazioni di riferimento e progetto

Nello specifico le analisi conducono ai seguenti risultati:

- per il motivo “lavoro” si registra un aumento percentuale delle modalità treno di circa l’86%, passando dal 1,76% dello scenario di riferimento al 3,27% dello scenario di progetto;
- per il motivo “studio” si registra una percentuale di incremento della modalità ferroviaria pari al 73%, passando dal 5,40% dello scenario di riferimento al 9,45% dello scenario di progetto;
- per “altri motivi” si registra un aumento più contenuto della modalità di spostamento ferroviaria dell’ordine del 75%, passando da 3,03% al 5,32%.

Complessivamente l’aumento della modalità ferroviaria si attesta su un valore del 79% con uno *share* modale del ferro sul totale che raggiunge un valore di circa il 4,7%.

Gli incrementi percentuali della modalità ferroviaria sono stati “catturati” principalmente alla modalità Auto che perde complessivamente una quota pari al 1,6% (il Bus lo 0,47%).

7.4. GLI INDICATORI FINALIZZATI ALL’ANALISI DI REDDITIVITÀ DEGLI INVESTIMENTI

L’apparato modellistico messo a punto per la valutazione degli effetti prodotti dall’investimento in analisi sul traffico regionale ha altresì consentito di valutare una serie di indicatori utilizzati, nello specifico, nella analisi di redditività dell’investimento in esame, analisi non oggetto del presente documento.

Più in particolare, sono stati utilizzati i seguenti elementi provenienti dalla applicazione dell’intera catena modellistica in ciascuno scenario analizzato (Non Progetto - NP e Progetto - P):

$\bar{a}_{od, strada}^{P,a}$, $\bar{a}_{od, strada}^{NP,a}$ valore della domanda sulla coppia di zone *od* su modo stradale, espressa in numero di veicoli giornalieri, negli scenari NP e P e all’anno *a*

$D_{od, strada}$ valore della distanza su rete stradale per la coppia di zone *od*

$NT_r^{s,a}$ numero di treni giornalieri circolanti sulla singola relazione *r* nello scenario *s* (P, NP) nell’anno *a*

$D_r^{s,a}$ distanza su rete ferroviaria della relazione *r* nello scenario *s* (P, NP) nell’anno *a*

$f_l^{s,a}$ flusso passeggeri su ciascun arco *l* della rete ferroviaria nello scenario *s* (P, NP) nell’anno *a*

$t_l^{s,a}$ tempo di percorrenza dei servizi ferroviari su ciascun arco *l* della rete ferroviaria nello scenario *s* (P, NP) nell’anno *a*

Il seguente schema espone, per ciascun indicatore considerato, il criterio con cui lo stesso è stato valutato attraverso i risultati del sistema dei modelli. Gli indicatori sono originariamente determinati con riferimento ad un giorno medio annuo e riportati all’intero anno considerando un numero di giorni annuo pari a 300.

Tabella 7.3 – Specificazione degli indicatori

| Indicatori riferiti alla modalità stradale | | |
|---|---|---|
| Veicoli·km | sommatoria, per ciascuna coppia O/D, dei prodotti tra la differenza (progetto - non progetto) dei flussi di domanda (espressi in numero di veicoli) sulla coppia O/D per la relativa distanza su rete stradale | $\sum_{\forall od} (\bar{d}_{od, strada}^{P,a} - \bar{d}_{od, strada}^{NP,a}) D_{od, strada}$ |
| Indicatori riferiti alla modalità ferroviaria | | |
| Treni·km | differenza del numero dei treni-km associati agli scenari di progetto e non progetto. Per ciascuno scenario il numero di treni-km è valutato sulla base delle ipotesi di esercizio considerate, attraverso la somma dei prodotti del numero di treni su ciascuna relazione e la distanza della relazione stessa | $\sum_{\forall r} NT_r^{P,a} D_r^{P,a} - \sum_{\forall r} NT_r^{NP,a} D_r^{NP,a}$ |
| Passeggeri·h (conservati) | sommatoria dei prodotti tra i flussi sugli archi della rete ferroviaria nella situazione di non progetto per la differenza dei tempi di percorrenza (non progetto - progetto) | $\sum_{\forall l} (t_l^{NP,a} - t_l^{P,a}) f_l^{NP,a}$ |
| Passeggeri·h (incrementali) | sommatoria dei prodotti tra la differenza dei flussi sugli archi della rete ferroviaria (progetto - non progetto) per la differenza dei tempi di percorrenza (non progetto - progetto) | $\sum_{\forall l} (f_l^{P,a} - f_l^{NP,a}) (t_l^{NP,a} - t_l^{P,a})$ |

La seguente tabella espone infine il valore degli indicatori riferiti all'anno 2030.

Tabella 7.4 – Valore indicatori differenziali per l'ACB

| modalità | indicatore | valore |
|-------------|---------------------------|-------------|
| stradale | <i>veic·km</i> | -35'237'790 |
| | <i>treni·km</i> | 1'479'156 |
| ferroviaria | <i>pax·h</i> conservati | -527'359 |
| | <i>pax·h</i> incrementali | -579'402 |