



Fabio Lamanna

via Cavalleggeri Treviso 13, 31100, Treviso
P. IVA: 02534880303 | C.F. LMNFBA77D21L483F

(+39) 320 6070544
fabio@fabiolamanna.it
www.fabiolamanna.it

ALLEGATO 3

Risparmio di Emissioni di CO₂ in Atmosfera
Revisione 1 – Data 14 giugno 2023

INDICE

1	BENEFICI AMBIENTALI	3
1.1	IPOTESI DI CALCOLO E BASE DATI DI LAVORO	3
1.2	ANALISI DEI FLUSSI DEL TRAFFICO PRIVATO	3
1.2.1	<i>Scenari di Analisi</i>	<i>4</i>
1.2.2	<i>Grado di Saturazione.....</i>	<i>4</i>
2	STUDIO CFP – LCA	9
2.1	PREMESSA.....	9
2.2	DEFINIZIONE DELL’OBIETTIVO E SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE	9
2.2.1	<i>Scopo e Campo di Applicazione.....</i>	<i>10</i>
2.2.1.1	Sistema e funzioni	10
2.2.1.2	Unità dichiarata e flusso di riferimento.....	10
2.2.1.3	Confine del sistema.....	11
2.2.1.4	Criteri di esclusione.....	11
2.2.1.5	Dati e qualità dei dati	13
2.2.1.6	Confine temporale dei dati	22
2.2.1.7	Assunzioni per la fase di uso e di fine vita	24
2.3	ANALISI DELL’INVENTARIO DEL CICLO DI VITA PER LA CFP (LCI).....	24
2.3.1	<i>Procedure di allocazione.....</i>	<i>24</i>
2.3.2	<i>Valutazione dell’effetto della tempistica delle emissioni e delle rimozioni di GHG ...</i>	<i>29</i>
2.3.3	<i>Trattamento delle emissioni e rimozioni di GHG.....</i>	<i>29</i>
2.4	VALUTAZIONE DELL’IMPATTO PER LA CFP (LCIA)	30
2.5	CFP TOTALE	35
2.6	RAPPORTO DELLO STUDIO CFP.....	36
2.7	CONFRONTO TRA EMISSIONI.....	36
2.8	MONITORAGGIO	37
3	CONCLUSIONI.....	39

1 BENEFICI AMBIENTALI

Tra gli elementi positivi insiti in una soluzione progettuale come quella della cabinovia va messo in risalto il fatto che mediante la realizzazione di un impianto a fune si riduce l'impatto ambientale derivante dal traffico stradale garantendo comunque la mobilità in sicurezza di lavoratori e residenti. Limitando il consumo di suolo e circoscrivendolo principalmente all'area in corrispondenza delle stazioni, un impianto di questo tipo consente di inserirsi nel contesto territoriale della città senza contrapporsi alla realizzazione di aree verdi e parchi ed anzi valorizzando zone di assoluto pregio ambientale ed urbanistico come la futura area del Porto Vecchio oggetto di riqualificazione.

1.1 Ipotesi di Calcolo e Base Dati di Lavoro

Tutte le analisi tecniche presentate nel seguito fanno riferimento, per coerenza metodologica ed analitica, a dati ed ipotesi riferiti al Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (PUMS) approvato nel 2021. I dati riferiti alla saturazione degli archi differiscono da quelli proposti nell'Ambito del Rapporto Preliminare Ambientale in quanto, nel caso della presente relazione, sono stati considerati anche gli archi sotto la soglia limite di saturazione considerata nel RAP per i fini relativi a valutazione della velocità, della sicurezza e delle emissioni ambientali. Anche il dato relativo all'emissione media di CO₂ dei veicoli fa riferimento a quello utilizzato nel PUMS (indagini anno 2019) che per coerenza e comparazione dei risultati è stato mantenuto inalterato anche nelle indagini seguenti.

È importante sottolineare che le analisi sono riferite all'intero tracciato della Cabinovia Opicina – Park Bovedo – Porto Vecchio – Trieste e non solo al tratto oggetto di Variante al PRGC (tratto inclinato); a livello trasportistico la Cabinovia è un'unica linea di collegamento tra l'Altipiano, il Porto Vecchio e Trieste, e pertanto non avrebbe senso scorporarne soltanto una parte in quanto i benefici, a tutti i livelli, derivano dall'utilizzo completo dell'infrastruttura.

1.2 Analisi dei Flussi del Traffico Privato

Al fine di valutare i benefici trasportistici della Cabinovia di progetto si fa riferimento allo stato di congestione degli archi viari del trasporto privato nell'area di influenza del progetto, oltre che ai numeri puri di *split* modale da trasporto privato a quello pubblico.

1.2.1 Scenari di Analisi

Sulla base dei dati forniti ed elaborati, il modello di trasporto è in grado di restituire, per ogni arco interessato, il flusso viario relativo alla singola matrice OD assegnata in termini di flusso totale e di rapporto tra volume di traffico e capacità dell'arco stradale (V/C); quest'ultimo è definito dal rapporto tra il valore orario di flusso transitante in una direzione su arco nell'unità di tempo (veq/h) ed il corrispondente valore della capacità.

Gli scenari comparati nel modello multimodale sono:

- Scenario SF – Stato di Fatto;
- Scenario SR – Stato di Riferimento;
- Scenario SP – Stato di Progetto.

Si ricorda che lo Scenario SR fa riferimento ad uno stato di progettazione pianificato, coerente con il PUMS, avente già gli incrementi di domanda derivanti dalle stime di espansione del PRGC e degli altri strumenti urbanistici; lo Scenario SP di Progetto si differenzia dall'SR soltanto per l'aggiunta nel modello dell'infrastruttura di progetto, che va quindi ad integrare e completare il quadro pianificato (coerente con il PUMS). In questo modo è possibile valutare l'effetto trasportistico del progetto sulla mobilità.

La mobilità che va ad insistere sull'intervento di progetto si basa sulle assunzioni alla base del modello di domanda e di offerta multimodale, dove emerge già lo *split* modale da mezzo privato a mezzo pubblico grazie alle ipotesi del modello (che derivano a loro volta dalle scelte degli scenari del PUMS). Lo Scenario di Progetto va quindi a contribuire allo *split* modale da mezzo privato a pubblico, grazie alla sua configurazione ed al posizionamento delle stazioni e delle fermate presso le "cerniere di mobilità" previste e presso luoghi ad alta attrattività potenziale (Porto Vecchio, Trieste Molo IV).

1.2.2 Grado di Saturazione

Il grado di saturazione di un arco stradale fa riferimento al rapporto tra flusso veicolare (solitamente veh/h) e la capacità dell'arco stesso; quest'ultimo valore dipende da molti fattori quali, per esempio, la presenza di intersezioni a valle del tratto stradale considerato, la larghezza ed il numero di corsie per senso di marcia, la presenza di mezzi pesanti etc. Il grado di saturazione è quindi l'indicatore ideale per valutare situazioni di congestione in quanto il puro valore di flusso veicolare non è indice di situazioni di criticità, in quanto va rapportato all'effettiva capacità dell'arco che attraversa.

Il modello di traffico utilizzato ha valutato, per ogni arco stradale, il relativo valore di capacità (in veh/h), così da visualizzare il rapporto flusso/capacità e valutare le situazioni di congestione puntuale sulla rete stradale.

I fenomeni di saturazione attuali e nello Scenario di Riferimento (nel quale è stata modellizzato l'incremento di domanda dovuto a tutti gli interventi previsti dagli strumenti urbanistici finanziati, tra cui lo sviluppo dell'area del Porto Vecchio), sono riportati nella Figura 1 a) e b), rispettivamente; si evidenziano le attuali criticità presso la discesa da via Nazionale e l'area di Piazza Libertà, con ulteriore aumento della saturazione nello Scenario di Riferimento; quest'ultimo è lo Scenario su cui si inserisce la Cabinovia di progetto.

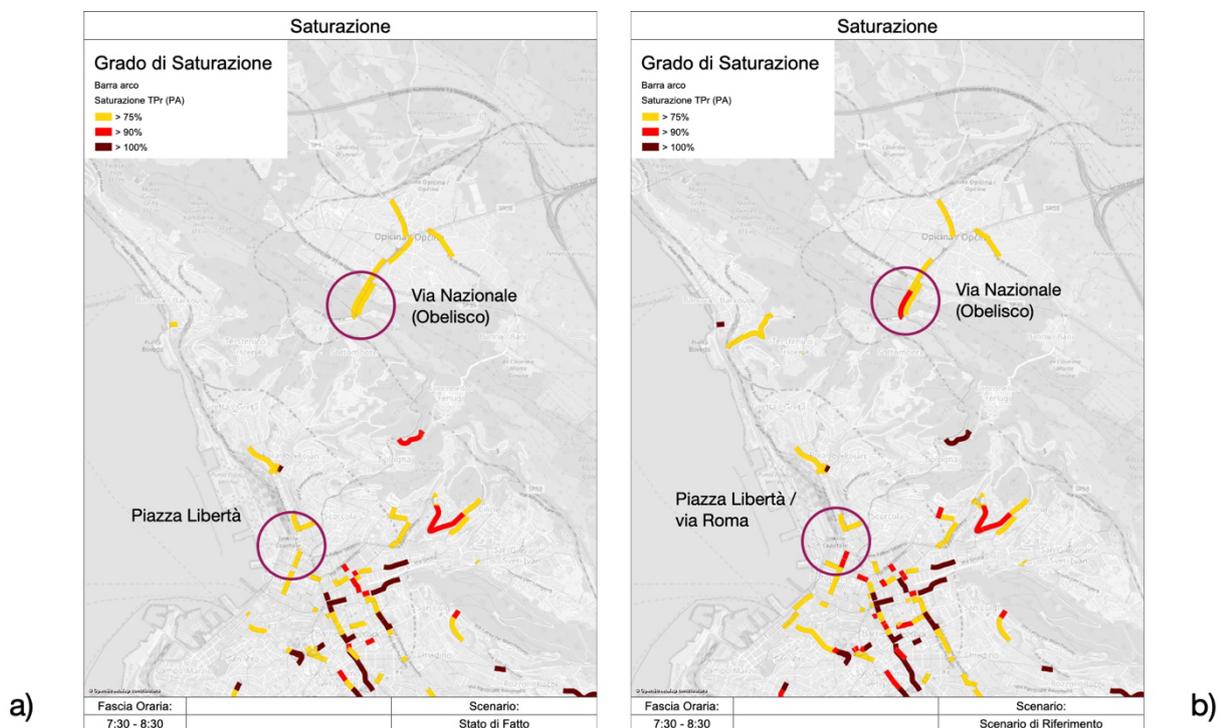


Figura 1 – Grado di Saturazione negli Scenari SF e SR

La ripercussione delle riduzioni veicolari indotte dalla Cabinovia sulla rete stradale è riportata nella seguente Figura 2 a) e b); si nota come gli archi di via Nazionale in discesa e l'area di Piazza Libertà tornino ad un livello di saturazione tollerabile nonostante gli aumenti di mobilità dovuti agli interventi pianificati, in particolare sullo sviluppo dell'area del Porto Vecchio. In questo senso non viene distinta la fascia oraria di punta e di morbida in quanto non si prevedono differenze significative tra i due scenari.

Analizzando più in dettaglio alcuni tra gli archi impattati positivamente dal progetto, emerge come la diminuzione del grado di saturazione sia dell'ordine del 4% con punte fino al 10% (per l'arco di via Nazionale) e via Roma (12%). Tali valori sono emersi da una analisi statistica sui valori del grado di

saturazione della rete, dove è stato valutato il “delta” percentuale relativo all’aumento della saturazione sugli archi oltre la soglia del 80% di saturazione. In questo caso, considerando la quota relativa di saturazione che la cabinovia di progetto riesce a “scorporare” dalla rete dello Scenario di Riferimento, risulta che la quota di diversione modale auto – cabinovia contribuisce in maniera significativa alla saturazione sugli archi sovra-saturati.

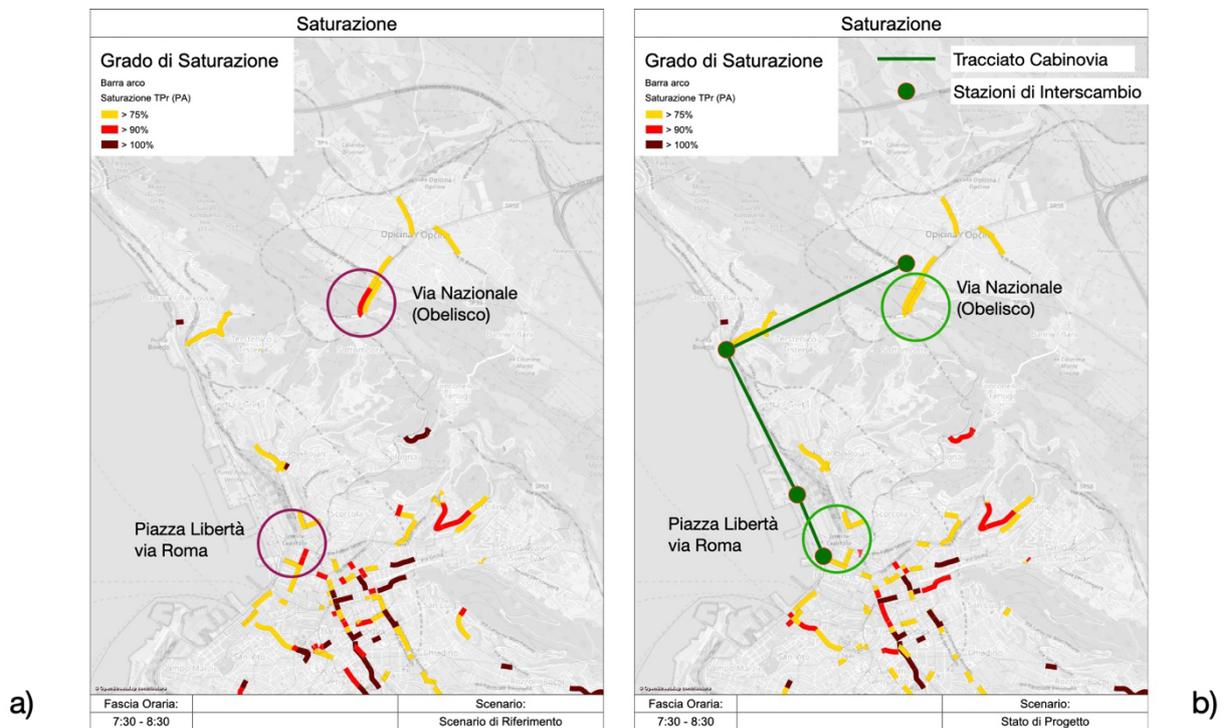


Figura 2 - Comparazione della saturazione sugli archi più critici in accesso Nord nello Scenario di Riferimento ed in quello di progetto

Anche nelle condizioni di sotto-saturazione (Tabella 1), si assiste comunque a benefici importanti dal punto di vista della diminuzione del traffico che, come visto nell’Allegato 2, può portare benefici sia dal punto di vista della sicurezza stradale, correlando il dato di traffico alla probabilità di incidenti sull’asse viario in esame, sia da quello delle minori emissioni inquinanti, come si vedrà nel seguito della relazione. I valori di saturazione indicati fanno riferimento sia alla minore quantità di veicoli nella rete (grazie allo *split* modale) che alla redistribuzione dei restanti flussi sulla rete che, grazie alla minore congestione su alcuni archi, trovano più appetibile cambiare itinerario per la rispettiva coppia O/D rispetto allo Scenario di Riferimento.

Tabella 1 – Diminuzione del Grado di Saturazione per alcuni archi critici – in rosso gli archi alla soglia della saturazione (v/c maggiore di 0,8).

VIA	Saturazione Scenario Riferimento	Saturazione Progetto	Diff. %
VIALE MIRAMARE (ROIANO)	0,65	0,55	-16%
MILANO	0,57	0,48	-16%
VIA PAULIANA	0,78	0,72	-8%
ROMA	0,90	0,79	-12%
DALMAZIA	0,47	0,42	-11%
NAZIONALE (OBELISCO)	0,99	0,89	-10%
COMMERCIALE	0,84	0,77	-8%
COSTIERA	0,27	0,25	-7%
DUCA DEGLI ABRUZZI	0,50	0,47	-6%
VALERIO	0,96	0,91	-5%
FRIULI	0,84	0,80	-5%
TRE NOVEMBRE	0,69	0,66	-4%
CAVOUR	0,52	0,50	-4%
UDINE	0,79	0,78	-1%

Per comprendere l'impatto che anche piccole variazioni del grado di saturazione (in condizioni di saturazione) abbiano sulla fluidità della circolazione, si fa riferimento al Diagramma Fondamentale del Traffico riportato nella Figura 3. Nel diagramma si illustra l'andamento della velocità (u) al variare del flusso (q), fino al livello di saturazione (q_c). A flusso vicino allo 0 la velocità è a flusso libero (u_f , senza interferenze tra veicoli); all'aumentare del flusso, la funzione $U_e(q)$ della velocità rispetto al flusso segue la parte superiore del diagramma, dove il flusso è stabile fino al punto in cui il flusso raggiunge la capacità (grado di saturazione pari a 1), e la velocità raggiunge il punto critico (u_c). Da questo punto il flusso diventa instabile, causando fenomeni di accodamento che possono portare al blocco del traffico (velocità pari a 0).

Nel contesto della presente analisi, si fa notare che a ridosso del punto critico, anche piccoli scostamenti del flusso (in meno, nel diagramma ipotizzati dalla linea rossa), possono garantire un cambio di regime da critico a stabile, essendo la curva $U_e(q)$ quasi verticale in prossimità della capacità.

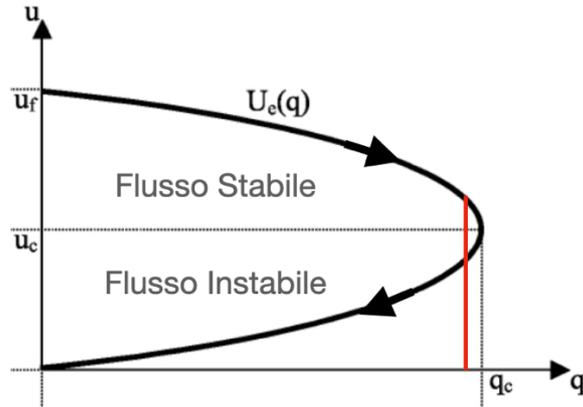


Figura 3 – Diagramma Fondamentale del Traffico

In questo senso, quindi, gli scostamenti del grado di saturazione previsti su alcuni archi critici dell'ordine del 4% e fino al 10% possono garantire il miglioramento del regime della circolazione da critico a stabile o da instabile a stabile, con aumento della velocità di marcia del flusso. I calcoli di cui sopra valgono per il modello lineare di Greenshields, più semplice nella trattazione; in situazioni di congestione il modello logaritmico di Greenberg può avere risultati migliori, ma valgono le stesse considerazioni di cui sopra.

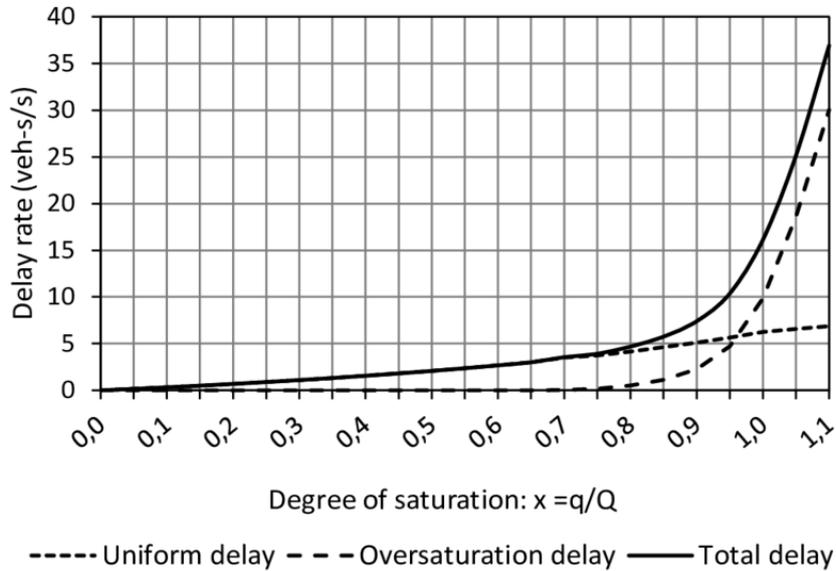


Figura 4 – Rapporto tra grado di saturazione e ritardo medio per veicolo

La Figura 4 illustra la funzione che lega il grado di saturazione x con il ritardo medio per veicolo. Anche in questo caso si nota come con gradi di saturazione maggiori dell'80% il ritardo segua un andamento di crescita sovra-lineare; una diminuzione del 10% del grado di saturazione (da 1.0 a 0.9) implica una riduzione del ritardo per veicolo del 66% (da 15 secondi/veicolo a 5 secondi/veicolo).

2 STUDIO CFP – LCA

2.1 Premessa

Il presente studio CFP è stato redatto sulla base delle indicazioni fornite dalla Norma UNI ISO 14067:2018, con particolare riferimento alla parte 6 (“Metodologia per la quantificazione della CFP e della CFP parziale”). Di seguito vengono quindi presentati i risultati in coerenza con il documento di cui sopra, riprendendo le quattro parti principali del documento:

1. *Definizione dell’obiettivo e scopo e campo di applicazione*
2. *LCI (Analisi dell’Inventario del Ciclo di Vita)*
3. *LCIA (Valutazione dell’Impatto del Ciclo di Vita)*
4. *Interpretazione del ciclo di vita*

2.2 Definizione dell’Obiettivo e Scopo e Campo di Applicazione

Lo studio, nel suo complesso, ha l’obiettivo di calcolare la CO_{2e} (CO₂ equivalente) dovuta al ciclo di vita del progetto “Cabinovia Metropolitana Trieste – Porto Vecchio – Carso”.

L’applicazione prevista del presente studio è quella di fornire una documentazione di supporto al processo decisionale riguardo *la sussistenza delle “ragioni connesse alla salute dell’uomo e alla sicurezza pubblica o relative a conseguenze positive di primaria importanza per l’ambiente”* del progetto in esame. Le motivazioni per lo svolgimento del presente studio sono quindi legate alla procedura decisionale per la valutazione della sussistenza delle condizioni necessarie per il superamento del divieto di cui all’art. 5, comma 1, lett. M del DM 17.10.07. Il documento è destinato all’Agenzia ARPA che ha richiesto le informazioni in integrazione a quanto già prodotto dallo scrivente e di cui al documento prot. ARPA FVG n. 14841 del 10/05/2023.

L’obiettivo dello studio è il confronto dei potenziali benefici del progetto con l’Alternativa 0 (non realizzazione dell’opera). In questo contesto i potenziali benefici saranno confrontati, a valle del

calcolo della CFP totale, anche con la popolazione e gli utenti interessati dal bacino di riferimento (nell'alternativa 0 ed in quella di progetto).

2.2.1 Scopo e Campo di Applicazione

Di seguito si illustrano gli scopi ed i campi di applicazione del presente studio, in coerenza con la normativa.

2.2.1.1 Sistema e funzioni

Il sistema allo studio è rappresentato da un sistema di trasporto a fune, comprensivo di quattro stazioni passeggeri, da adibire al trasporto pubblico delle persone. Per i dettagli progettuali si rimanda alla documentazione pertinente.

2.2.1.2 Unità dichiarata e flusso di riferimento

Nel caso in esame si specifica come unità dichiarata la quantità unitaria di materiale (m³ di calcestruzzo, kg di acciaio, kWh di energia) di un sistema di prodotto composto dai processi unitari relativi a produzione, installazione ed esercizio. Per quanto riguarda l'esercizio, inoltre, si assumono le unità di veicoli equivalenti / ora (per la riduzione del traffico) e ettaro per la quantificazione del mancato assorbimento arboreo causato dal cambio di utilizzo del suolo con le opere accessorie al progetto.

Il flusso di riferimento associato all'unità funzionale è relativo a tre diverse fasi o sistemi di prodotto (relazionati con il ciclo di vita dell'opera):

1. *Produzione ed Installazione*
2. *Esercizio*
3. *Dismissione*

Ciascun sistema di prodotto è quindi stato suddiviso in diversi processi unitari:

1. *Produzione ed Installazione*
 - a. *Reperimento della materia prima*
 - b. *Realizzazione del materiale*
 - c. *Trasporto sul luogo di installazione*
 - d. *Montaggio e/o realizzazione delle opere funiviarie e non funiviarie*
2. *Esercizio*
 - a. *Consumo di energia elettrica dovuto al funzionamento dell'opera*

- b. *Minore traffico indotto su strada per l'utilizzo dell'opera*
 - i. *Minore congestione su strada*
 - ii. *Minore manutenzione stradale*
 - iii. *Minore manutenzione dei veicoli a motore privati*
- c. *Minori assorbimenti dovuti al cambio di uso del suolo per le opere accessorie*
- d. *Maggiori emissioni dovute alla manutenzione del verde sotto il tracciato*

3. *Dismissione*

2.2.1.3 Confine del sistema

Considerato il livello di progettazione attuale (Progetto di Fattibilità Tecnico-Economica), si procede con una analisi di massima per i sistemi di prodotto legati alla produzione ed installazione dell'impianto. Si fa riferimento ad un sistema di costruzione relativo ad un impianto elettromeccanico e alle opere civili di forza della Cabinovia, con le relative unità dichiarate, oltre alle opere civili quali stazioni e parcheggi di interscambio.

I processi unitari emissivi di GHG inclusi nel presente studio CFP sono i seguenti:

- a. *Produzione ed installazione (comprendente i processi di reperimento della materia prima e di realizzazione, comprensivi della quota emissiva relativa agli impianti di produzione e della quota di trasporto del materiale sul sito di costruzione);*
- b. *Esercizio (comprendente il consumo elettrico per il funzionamento dell'opera e il mancato assorbimento della parte arborea e del suolo coperti dalle infrastrutture a servizio dell'opera e le emissioni dovute alla manutenzione del verde sotto il tracciato);*
- c. *Dismissione dell'opera.*

I processi per cui si valuta la rimozione di GHG sono i seguenti:

- a. *Esercizio, minore traffico veicolare indotto sulle strade grazie al trasferimento modale da mezzo privato a mezzo pubblico (Cabinovia);*
- b. *Esercizio, minore congestione stradale dovuta al minore flusso veicolare su alcuni archi stradali;*
- c. *Esercizio, minore manutenzione dei veicoli privati dovuta alle minori percorrenze;*

2.2.1.4 Criteri di esclusione

I criteri di esclusione di alcuni processi vanno relazionati in base agli obiettivi e allo scopo dello studio. In questo senso, considerando la vita utile generale dell'infrastruttura (40 anni) ed il fatto che

i processi principali si svolgono durante la fase di esercizio, è stata esclusa dal calcolo dell'impronta di carbonio la fase di dismissione dell'infrastruttura per i seguenti motivi:

1. *La parte dismissibile consta in gran parte di materiale già riciclato e riciclabile (acciaio) relativa agli impianti funiviari;*
2. *Le opere accessorie possono trovare utilizzo anche nel caso di dismissione dell'infrastruttura (parcheggi ed aree di interscambio);*
3. *La quota parte di materiale riciclato è comunque considerata nel calcolo dell'impronta di carbonio della fase di produzione e installazione.*

In accordo con uno studio recente¹, è stato valutato come in uno scenario di 10 anni (fino al 2031), l'utilizzo di una quota di materiali riciclati al 70% (in media) porti ad un risparmio di circa il 50% della quota di Carbonio emessa in caso di dismissione a fine vita utile. I materiali da costruzione utilizzati per la Cabinovia hanno anch'essi un elevato coefficiente di riciclo e pertanto non sono stati computati come parte di un contributo negativo sulle emissioni totali dell'infrastruttura per le ipotesi di cui sopra, in quanto il contributo a fine vita (40 anni) si ritiene che sia trascurabile e comunque compensato dal fatto di avere considerato l'impronta di carbonio di detti materiale già nella fase di produzione ed installazione.

Anche la parte di minore assorbimento di CO₂ arborea dovuta al cambio di uso del suolo per le opere accessorie è stata esclusa dal calcolo, per le argomentazioni riportate in seguito nella parte di analisi e qualità dei dati relativa al Fattore di assorbimento della vegetazione tipica dell'area oggetto di insediamento (kg CO_{2eq} / Unità dichiarata). In questo contesto, si prevede marginalmente l'assessamento del terreno con relativo inerbimento potenziato con specie erbacee autoctone (fiorume dei prati stabili) mantenendo l'invarianza idraulica dei siti in oggetto. Si rimanda comunque al dettaglio esecutivo delle opere.

Per quanto riguarda la voce di emissioni potenziali legate alla manutenzione del verde sotto il tracciato della Cabinovia, si evidenzia quanto segue. Sono previsti 2/3 interventi di manutenzione del verde all'anno, nel periodo estivo, dove un singolo operatore con opportuna attrezzatura a spalla (decespugliatore a filo o a lana) opererà per massimo 2 ore per basamento. Nel caso di ridimensionamento dell'altezza della chioma a seguito degli incrementi annuali, si procederà sempre tramite singolo operatore con modalità di tecnica *free-climbing*, con modalità forestali. Considerando quindi che non intervengono mezzi a motore nell'area di intervento e che gli interventi stessi sono

¹ Wang, T.; Li, K.; Liu, D.; Yang, Y.; Wu, D. Estimating the Carbon Emission of Construction Waste Recycling Using Grey Model and Life Cycle Assessment: A Case Study of Shanghai. Int. J. Environ. Res. Public Health 2022, 19, 8507. <https://doi.org/10.3390/ijerph19148507>

localizzati sia nel tempo che nello spazio, si ritiene corretto escludere tale voce dal calcolo complessivo della CFP.

2.2.1.5 Dati e qualità dei dati

La presente sezione illustra i dati utilizzati per i singoli processi, associati al grado di incertezza, alle fonti e alla coerenza del calcolo. I dati di progetto sono stati divisi per:

- *Dati primari – “valore quantificato di un processo o di una attività ottenuto da misurazione diretta o da un calcolo basato su misurazioni dirette. Possono comprendere fattori di emissioni GHG e/o dati di attività relativa ai GHG, oltre ai dati sito-specifici, ottenuti all'interno del sistema di prodotto”;*
- *Dati secondari – “dati da banche dati e da letteratura pubblicata, fattori di emissione da inventari nazionali, dati calcolati, stime o altri dati rappresentativi.”*

Nel caso in esame le informazioni utilizzate nello studio si dividono in:

- *Dati Primari*
 - *Coefficienti GWP dei processi di produzione e lavorazione dei materiali (kg CO_{2eq} / Unità dichiarata);*
 - *Coefficiente emissivo da produzione e generazione di energia elettrica rinnovabile (kg CO_{2eq} / Unità dichiarata).*
- *Dati Secondari*
 - *Coefficiente di emissione di CO₂ allo scarico da veicoli a motore (g CO₂/veicolo/km);*
 - *Coefficiente di passaggio da ora di punta a giorno per la domanda di traffico (adimensionale);*
 - *Coefficiente di passaggio da giorno ad anno (adimensionale);*
 - *Dati di traffico da modello di simulazione (veicoli equivalenti / ora);*
 - *Fattore di assorbimento della vegetazione tipica dell'area oggetto di insediamento (kg CO_{2eq} / Unità dichiarata).*

I dati di cui sopra sono stati valutati come segue, associandone la fonte ed il grado di incertezza.

Dati Primari

Coefficienti GWP dei processi di produzione e lavorazione dei materiali (kg CO_{2eq} / Unità dichiarata)

I valori considerati per i materiali da costruzione sono:

- *Acciaio riciclato in barre: 0,83 kg CO_{2eq} / kg di materiale*
- *Acciaio riciclato per carpenteria: 1,20 kg CO_{2eq} / kg di materiale*
- *Calcestruzzo: 276 kg CO_{2eq} / m³ di materiale*

I valori dei coefficienti di cui sopra provengono direttamente dai produttori dei materiali e sono valori correnti (2023) relativi ai materiali di ultima generazione, aventi le specifiche di utilizzo coerenti con le necessarie prestazioni costruttive per l'opera di progetto. I materiali valutati rappresentano la componente più rilevante per quantità e per potenziale emissione di gas serra: acciai per armatura, acciai per carpenteria e calcestruzzi. Ne sono stati considerati i processi di produzione secondo tecnologie standard e mix energetico nazionale.

Coefficiente emissivo da produzione e generazione di energia elettrica rinnovabile (kg CO_{2eq} / Unità dichiarata)

Nel caso in esame è stato considerato la media dei coefficienti emissivi per produzione di energia rinnovabile², che singolarmente valgono:

- *Fotovoltaico: 45 g CO_{2eq} / kWh (media tra le emissioni di Solar PV – rooftop e Solar PV – utility)*
- *Idroelettrico: 24 g CO_{2eq} / kWh*
- *Eolico: 11 g CO_{2eq} / kWh*

Per quanto riguarda i margini di incertezza, tali valori già rientrano nei valori mediani del singolo intervallo di confidenza, dalla fonte dati utilizzata. Il valore medio utilizzato nei calcoli è stato quindi di 26 g CO_{2eq} / kWh, nell'ipotesi di rifornimento di energia da soli fonti rinnovabili, da specificare nel bando di fornitura dei servizi in fase di gara. Tale ipotesi può essere confermata dall'analisi delle attuali fonti per la produzione di energia elettrica in Italia³ che, a giugno 2023, sono rappresentate al 75% da fonti rinnovabili.

² Schlömer S., T. Bruckner, L. Fulton, E. Hertwich, A. McKinnon, D. Perczyk, J. Roy, R. Schaeffer, R. Sims, P. Smith, and R. Wiser, 2014: Annex III: Technology-specific cost and performance parameters. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. – pagina 1335.

³ <https://app.electricitymaps.com/map> da fonti dati: https://github.com/electricitymaps/electricitymaps-contrib/blob/master/DATA_SOURCES.md

Dati Secondari

Coefficiente di emissione di CO₂ allo scarico da veicoli a motore (g CO₂/veicolo/km)

I coefficienti di emissione veicolari utilizzati nelle analisi derivano dalla genesi del progetto che, in primis, faceva riferimento al Bando del MIT (2019) per lo sviluppo di sistemi di Trasporto Rapido di Massa. In questo contesto, il progetto originario approvato dal Ministero comprendeva un'analisi costi/benefici che, tra l'altro, monetizzava i benefici ambientali dovuti alla diminuzione del traffico veicolare dovuto alla realizzazione dei progetti. Il documento "*Appendice all'Addendum Avviso 2 – Tabelle di sintesi dell'analisi della mobilità urbana*" imponeva dei coefficienti di emissione veicolare, tra i quali l'emissione media di CO₂ per auto, pari a 265 grammi di CO₂/km/veicolo. I valori di emissione dovevano poi essere mantenuti invariati per tutta la durata del ciclo di vita dell'infrastruttura (40 anni) al fine di valutare il bilancio costi/benefici sull'intero ciclo di vita del progetto.

Successivamente, anche per coerenza con i valori di emissione derivanti dal PUMS (e coerenti con i documenti del Ministero dell'Ambiente, anche per le formulazioni di calcolo delle emissioni), il valore medio di emissione è stato posto pari a 163 g CO₂/km come riportato nelle analisi e tenuto costante per lo Scenario Attuale, per quello di Riferimento e di Progetto. Tale valore di progetto deriva dall'inventario nazionale delle emissioni in atmosfera comunicato nell'ambito della Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici (UNFCCC) e fa riferimento a sole emissioni allo scarico (così da evitare doppi conteggi in fase di valutazione dell'impronta di carbonio dovuta al *manufacturing* per la minore manutenzione veicolare). I dati di emissione derivanti dal trasporto stradale sono stati stimati da ISPRA tramite il modello Copert⁴. Tali valori fanno riferimento al parco auto effettivamente circolante su strada, e sono quindi leggermente superiori al solo parco di auto nuove rispondenti alle normative emissive più recenti. La Figura 5 rappresenta inoltre la variazione statistica di un database di emissioni veicolari registrato su cicli tipici della strada, per veicoli immatricolati fino all'anno 2019; si nota come il valore di riferimento di 163 g di CO₂/km sia contenuto nel quartile inferiore dei vari *boxplots*, a titolo cautelativo anche di possibili fattori di incertezza di emissioni inferiori a quelle stimate.

⁴ <https://indicatoriambientali.isprambiente.it/> - consultato nel mese di maggio 2023

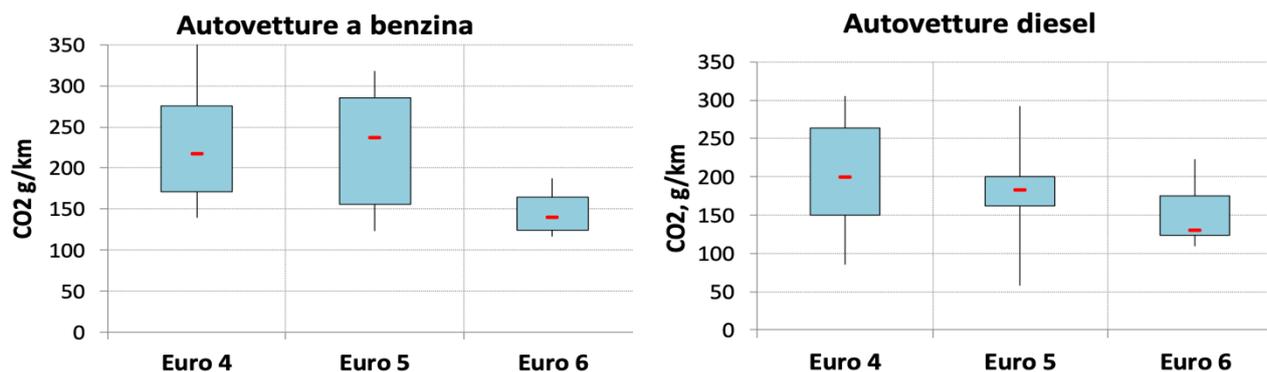


Figura 5 - Emissioni medie da cicli tipici emissivi per veicoli Euro 4, 5 e 6⁵.

Per quanto riguarda le informazioni più recenti relative alla composizione del parco veicolare nella città di Trieste, ci si riferisce alle elaborazioni SCRAT su dati ACI del 2021. La stima dei fattori di emissione “[...] è stata eseguita a partire dalla banca dati dei fattori di emissione e consumo medi relativi al trasporto stradale elaborati da ISPRA (anno 2020, l’ultimo disponibile a novembre 2022) ai fini della redazione dell’inventario nazionale delle emissioni in atmosfera. A tale scopo, ISPRA ha utilizzato il software COPERT (versione 5.5.1), il cui sviluppo è coordinato dall’Agenzia Europea dell’Ambiente nell’ambito delle attività dell’European Topic Centre for Air Pollution and Climate Change Mitigation (ETC/ACM). Le stime sono elaborate sulla base dei dati di input nazionali riguardanti il parco e la circolazione dei veicoli (numerosità del parco, percorrenze e consumi medi, velocità per categoria veicolare con riferimento ai cicli di guida urbano, extraurbano ed autostradale, altri specifici parametri nazionali).⁶”

Come emerge dalla Figura 6, al 2021 il parco veicolare a Trieste è composto per oltre metà della sua composizione da vetture inferiori o uguali alla classe Euro 4 (maggiore intervallo di confidenza tra le emissioni, tra le categorie meno inquinanti), e le alimentazioni sono per il 95% rappresentate da benzina e gasolio. Entrambi gli aspetti hanno quindi evidenziato come, nonostante le normative in termini di emissioni, nell’area di studio il parco circolante sia ancora vetusto e alimentato per la quasi totalità da derivati da combustibili fossili.

⁵ CNR – Preparazione di un database di fattori di emissione di autovetture rappresentative del parco italiano e rispondenti agli standard emissivi Euro 4-5-6 – Web Conference ISPRA – Emissioni da trasporto stradale – 2021.

⁶ <https://www.osservatoriopums.it/servizi/parco-auto/#metodo> – consultato nel mese di maggio 2023

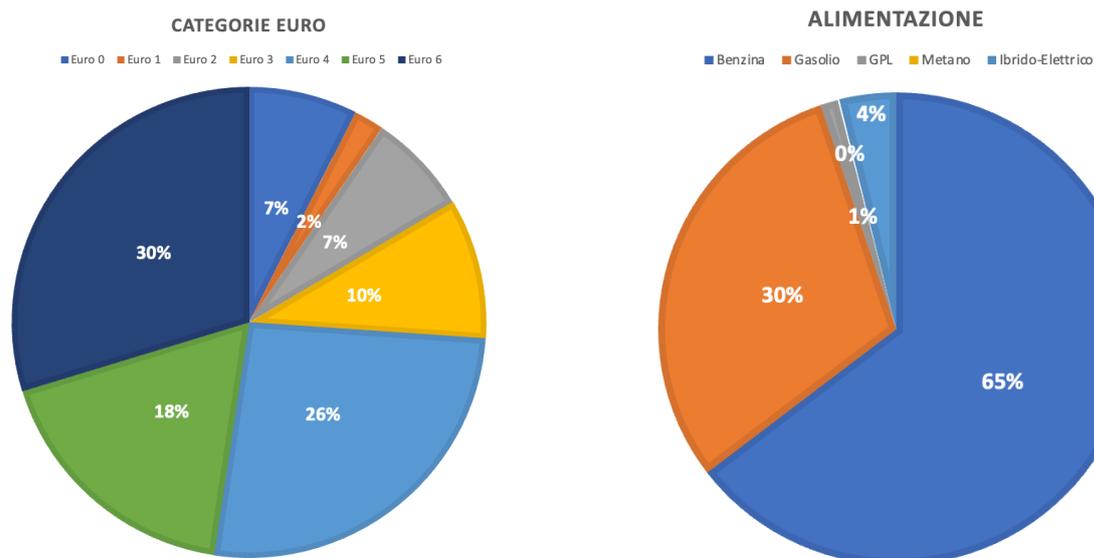


Figura 6 – Parco veicolare a Trieste (2021) – Categorie Euro e Alimentazione

Infine, il coefficiente di emissione medio calcolato da ISPRA con il metodo Copert sulla tipologia di parco circolante a Trieste ha restituito un valore pari a 244,7 g CO₂ / km, un valore di circa il 50% maggiore rispetto a quello utilizzato nel calcolo della riduzione delle emissioni previste nel presente studio (in linea con le variazioni riportate nel *boxplot* di Figura 5). Per confronto si riportano i valori emissivi al 2021 di alcune altre città del Veneto (non essendo disponibili i dati per altre città della Regione Friuli-Venezia Giulia nel database di riferimento): Treviso (237,9 g/km), Padova (236,8 g/km), Verona (236,9 g/km).

Coefficiente di passaggio da ora di punta a giorno per la domanda di traffico (adimensionale)

Nell'ambito dell'ingegneria dei trasporti si lavora principalmente sulla domanda di traffico dell'ora di punta, rapportando poi i valori ottenuti al giorno attraverso un coefficiente che può variare tra 9 e 11. Tale valore rappresenta il rapporto tra il Traffico Giornaliero Medio (TGM) e quello dell'ora di punta. Nel caso in esame è stato utilizzato un coefficiente pari a 9, coerentemente con le analisi sul campo effettuate nell'ambito della campagna di rilievi del traffico del PUMS (2019). Se per il traffico privato, quindi, il TGM nell'area di studio è 9 volte il volume di traffico calcolato nell'ora di punta, ulteriori analisi sulla mobilità che utilizza il trasporto pubblico ha restituito come valore un coefficiente variabile tra 10 e 11. In entrambi i casi, quindi, è stato utilizzato il valore pari a 9 sia per la stima del traffico totale giornaliero (mezzi privati), come limite inferiore dato dai valori della letteratura, e confermato da dati sul campo, che per la stima della domanda di utilizzo del trasporto pubblico, a favore di sicurezza (eventualmente sottostimando la domanda potenziale sull'infrastruttura di progetto a vantaggio dei benefici).

Coefficiente di passaggio da giorno ad anno (adimensionale)

Analogamente a quanto visto sopra, il coefficiente di passaggio da giorno ad anno dipende dalle condizioni di esercizio dell'infrastruttura previste. In questo caso si fa riferimento alle giornate di possibile fermo dell'impianto ricavate dalle statistiche sull'andamento del vento forte nell'area di Trieste. A valle delle stime progettuali, sono stati ulteriormente analizzati dei dati sulla previsione del numero dei giorni di Bora con venti estremi in uno scenario futuro all'anno 2095 (Progetto ADRIACLIM). Nello studio si osserva un aumento statisticamente rilevante dei giorni con Bora "moderata" e "forte" (circa 14 giorni ogni 10 anni) e "forte" (circa 4 giorni ogni 10 anni). Tali valori sono previsti nello scenario peggiore (che non include nessun intervento o azione mitigatoria a livello ambientale). Si rileva che la tendenza di crescita interessa di più la stagione estiva che quella invernale.

Con riferimento quindi alle problematiche di esercizio della Cabinovia di progetto, si rileva che l'aumento dei giorni di bora "forte" non risulta particolarmente impattante, tra l'altro nello scenario di riferimento peggiore in un orizzonte temporale di circa 70 anni (oltre la vita utile del progetto che, nel caso, potrà essere adeguato tecnologicamente a sopportare venti con velocità maggiore di 75 km/h).

Dati di traffico da modello di simulazione (veicoli equivalenti / ora)

Tutti i dati di stima di traffico veicolare sulla rete ante e post intervento di progetto derivano da un modello di trasporto sviluppato e calibrato nell'ambito del PUMS di Trieste. Il modello restituisce ottimi livelli di calibrazione statistici ed è quindi stato utilizzato anche per le analisi trasportistiche in oggetto. Per i dettagli sulle fasi di calibrazione e validazione si veda l'Allegato 1.

Fattore di assorbimento della vegetazione tipica dell'area oggetto di insediamento (kg CO_{2eq} / Unità dichiarata)

Al fine di comparare il dato di beneficio ambientale dovuto al minore traffico veicolare con le emissioni di CO₂ assorbite da un ettaro di bosco (nel caso specifico di Bosco Bovedo), si fa riferimento all'Inventario Nazionale delle Foreste in Friuli-Venezia Giulia ed al Piano per la Qualità dell'Aria della Regione Toscana. Quest'ultimo documento riporta i fattori di assorbimento di CO₂ per tipologia di albero in tonnellate/anno. Nell'area del Bosco Bovedo si possono trovare specie ruderali/vivaistiche, poi salendo nel percorso si susseguono boscaglia a roverella (*Quercus pubescens*) e in alto bosco di impianto a pino nero. I fattori di assorbimento per tali tipi di vegetazione sono:

- *Quercus pubescens* - assorbimento circa 0,12 t/anno di CO₂
- *Pino Nero* - assorbimento circa 0,08 t/anno di CO₂

Dai rilievi effettuati, il numero di alberi ad ettaro presso il bosco Bovedo è di circa 800 alberi/ha (= un albero ogni 12-13 mq). Questo dato deriva dalla media dei rilievi effettuati in campo, rilievi effettuati per aree di saggio con misurazione del diametro a petto d'uomo di tutti gli alberi aventi diametro maggiore a 10 cm. Effettuando il calcolo sull'assorbimento annuo di CO₂ da parte di un ettaro di alberi, considerando un valore medio di 0,1 tonnellate di CO₂/anno (dai dati di cui sopra), si ottiene che un ettaro di bosco Bovedo contribuisce all'assorbimento di circa 80 tonnellate di CO₂ annue, contro un beneficio dovuto alla Cabinovia nella scelta modale del trasporto pubblico di 2.551 minori tonnellate di CO₂ annue non emesse in atmosfera.

Nella sostanza la realizzazione della cabinovia contribuisce a un risparmio di CO₂ pari a circa 32 ettari di un Bosco Bovedo, ma l'equivalenza su un bosco generico in letteratura porta a un risparmio di CO₂ pari anche a oltre 100 ettari di bosco per i soli benefici diretti della cabinovia.

L'eliminazione degli alberi (non della vegetazione in generale) che possono intralciare il tracciato della cabinovia non è qui calcolato in termini di minore assorbimento di CO₂, in quanto tra le misure previste nel rapporto ambientale vi è la ripiantumazione di nuove essenze arboree in misura doppia a quelle eliminate. Non considerare quindi questo elemento gioca in favore di sicurezza, senza contare, inoltre, che un bosco "anziano" ha un coefficiente di assorbimento di CO₂ spesso minore di un bosco giovane.

Si sottolinea comunque che i dati riportati, sono desunti da consultazioni bibliografiche e non possono essere considerati una stima degli assorbimenti medi delle specie sopra indicate, in quanto risulta particolarmente difficile calcolare con precisione, i valori per età e specie, delle quantità di CO₂ fissate, soprattutto se il riferimento è una formazione a polifita a bosco. Questo perché ogni pianta risulta potenzialmente diversa, anche all'interno della stessa specie, e le condizioni ambientali come la morfologia dei luoghi, la struttura, tessitura, la dotazione in elementi minerali e sostanza organica del terreno in cui si pone la pianta, il clima e microclima puntuale del sito, le disponibilità idriche legate anche alle pendenze, il soleggiamento e la presenza di vento, le densità d'impianto, e la presenza di parassiti o fisiopatie, possono influenzare le specifiche prestazioni.

I dati fanno pertanto riferimento a condizioni medie, riferiti alla singola specie arborea che compone l'associazione del bosco. Inoltre, dati bibliografici indicano che la quantità di carbonio fissata nella vegetazione ha un andamento che si può dividere in 4 fasi funzione del tempo e dell'età della pianta.

- a) *fase iniziale d'affermazione del soprassuolo;*
- b) *fase di maggior vigore;*
- c) *fase matura;*
- d) *fase d'equilibrio nel lungo periodo.*

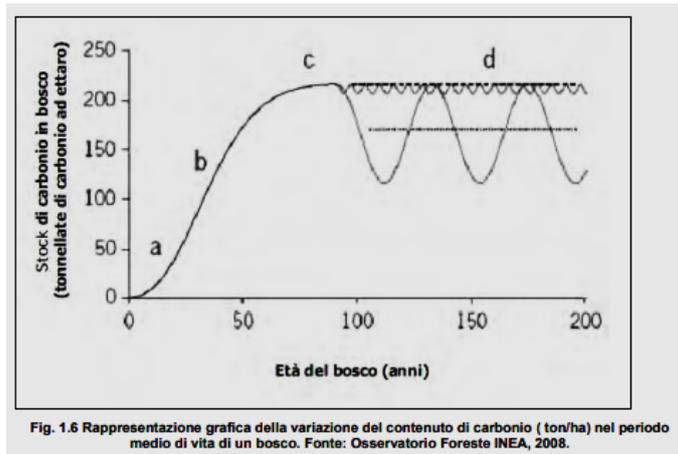


Figura 7 – Variazione del contenuto di carbonio nel periodo di vita di un bosco

Osservando l'evoluzione dell'accumulo del carbonio (Linea retta nella Figura 7), e quindi la stabilizzazione della CO₂, nel lungo periodo di vita della pianta, si nota come ad un aumento durante la fase iniziale di sviluppo della vegetazione, questo elemento non aumenta né diminuisce al superamento di una certa età. Ciò avviene perché l'accumulo di carbonio nella biomassa arborea è bilanciato dalle perdite dello stesso, causate da fenomeni di disturbo naturali e dall'ossidazione che si verifica durante i processi di decomposizione del legno degli alberi che man mano muoiono e sono sostituiti da soggetti nuovi.

La quantità sequestrata dipende dalla crescita e dalla mortalità che a loro volta dipendono dalla specie, dall'età, dalla struttura e dal grado di salute di una piantagione (Larcher, 1980). Foreste giovani accumulano CO₂ rapidamente per diversi decenni, prima che l'incremento annuale decresca (Harmon et al., 1990), mentre le foreste di vecchia crescita o vergini possono rilasciare una quantità di CO₂ derivante dalla decomposizione di biomassa morta, pari alla quantità fissata con la nuova crescita (Crema, 2008).

Pertanto, alla luce di quanto sopra riportato, gli effetti di una compensazione degli alberi maturi che interferiscono con le aree occupate dai basamenti dei piloni della cabinovia, di età oscillante intorno agli 80 anni, con piante della stessa specie, ma giovani, determina in termini di assorbimento della CO₂ un significativo incremento delle fissazioni di tale composto a livello complessivo.

Nel calcolo degli assorbimenti di CO₂ non sono state computate le coperture vegetali delle specie arbustive ed erbacee che sono presenti nel Bosco Bovedo, in quanto non intaccate, salvo per la sola superficie occupata di plinti di sostegno dei pali della cabinovia, dalle opere in progetto. Tuttavia, il ridimensionamento della vegetazione arborea consentirà delle condizioni di maggior soleggiamento nelle parti basali delle parti arboree, che produrranno dei ricacci e polloni con evidente aumento della biomassa. Come indicato dalla bibliografia, il rigoglio vegetativo, che determina gli sviluppi della

vegetazione, richiede inevitabilmente una maggiore richiesta di Carbonio e quindi maggiori assorbimenti di CO₂ impiegata nei processi fotosintetici.

Anche le coperture erbacee a “Sesleria”, che caratterizzano il Bosco Bovedo potranno trarre vantaggio da questa situazione, soprattutto nelle parti legate alla presenza dei sentieri di sicurezza sottesi all’impianto che, solo sporadicamente saranno utilizzati per i controlli dell’impianto, e consentiranno la ricostituzione di un spazi più aperti e prativi, seriamente compromessi dalla colonizzazione del bosco.

Pertanto, il raddoppio compensativo degli alberi che possono intralciare il tracciato della cabinovia, non calcolato in termini di minore assorbimento di CO₂, ma solo in termini numerici risultando evidente che con il raddoppio delle quantità, il bilancio risultasse positivo negli assorbimenti, indirizzato all’interno di questi contesti urbani, esprime la centralità di intervenire proprio all’interno di ambiti che maggiormente necessitano di presenze vegetali fissatrici di CO₂.

Per quanto riguarda le emissioni della CO₂ da lavorazioni del suolo per riforestazione, si ritiene del tutto evidente che queste emissioni se distribuite per la durata media di una pianta arborea considerata una vita media minima di 50 anni risultino del tutto trascurabili e insignificanti rispetto alle capacità di assorbimento e fissazione nei processi fotosintetici del citato gas serra, per lo stesso numero di anni.

In merito ai contributi dei diversi serbatoi di carbonio (biomassa legnosa netta, biomassa epigea di rami e foglie, biomassa ipogea delle radici e carbonio fissato nel suolo, si rimanda alla precedente tabella 1.6 dell’INEA che indica globalmente la variazione del contenuto in carbonio all’intero della vita di un bosco considerato che il dato di riferimento principale risulta l’assorbimento della CO₂ e solo in parte la distribuzione di questo elemento all’interno della biomassa trasformata.

Gli effetti ecosistemici connessi all’espianto e alla successiva modalità di ripiantumazione sono limitati alle sole aree occupate dai basamenti di sostegno dei piloni della cabinovia in quanto per le altre parti risultano solo dei ridimensionamenti della vegetazione attualmente presente per le parti che sviluppano in altezza dimensioni non compatibili con il passaggio delle cabine.

Date le limitate dimensioni delle aree oggetto di esbosco, esterne alle aree antropizzate, la loro distribuzione alterna ed interna ad una formazione che presenta una ampia estensione, si ritengono non significativi i citati effetti.

2.2.1.6 Confine temporale dei dati

Il periodo nel quale è rappresentativo il valore quantificato della CFP si inquadra nella intera vita utile dell'opera (40 anni). I dati primari si riferiscono in parte alla parte di produzione e installazione, e quindi concentrati in un arco temporale prossimo e localizzato nel tempo, e possono considerarsi quindi costanti sul breve periodo. I dati primari relativi al consumo di elettricità in esercizio fanno riferimento all'intera vita utile dell'opera e, come detto in precedenza, fanno riferimento a sole fonti rinnovabili in un contesto perfettamente coerente di sviluppo sostenibile dell'opera.

Per quanto riguarda i dati secondari, sono stati stimate le variazioni temporali dei giorni di vento (che non incidono in maniera rilevante sui giorni di fermo dell'opera per vento forte, durante il ciclo di vita); i restanti coefficienti trasportistici non cambiano nel tempo in quanto rapportati a strutture di domanda di trasporto e modelli già consolidati.

Da approfondire invece il coefficiente di emissione di CO₂ veicolare che, ragionevolmente, può cambiare nel tempo a fronte del ricambio del parco circolante e dell'avanzamento della tecnologia per ridurre le emissioni in atmosfera. Come specificato in precedenza, nel presente studio è stato utilizzato un coefficiente emissivo del 50% inferiore a quello stimato per l'effettivo parco circolante a Trieste nel 2021. Tale valore può compensare ragionevolmente le incertezze sull'evoluzione delle emissioni da traffico in un orizzonte di 40 anni che, peraltro, sono state recentemente valutate come costanti almeno fino all'anno 2050, a causa delle difficoltà e nei ritardi nel ricambio del parco veicolare. Un documento ISPRA⁷ testimonia infatti come *"[...] al 2030, nello scenario di riferimento, la composizione percentuale delle emissioni di gas serra per il settore dei trasporti, sostanzialmente non cambia molto rispetto al 2020. Il trasporto su strada rimane la fonte prevalente con un peso percentuale pari a circa il 90.4%, seguito dalla navigazione nazionale (5.9%) e dal trasporto aereo (3.1%). Al 2050, aumenta ulteriormente il trasporto su strada fino al 92.4% che continua a rimanere preponderante, in termini emissivi, rispetto alle altre modalità. Al 2030, come negli anni storici, la categoria che pesa maggiormente sul totale delle emissioni di CO₂ del trasporto su strada è quella delle autovetture con un peso pari a circa il 67% al 2030 seguita dalla categoria dei veicoli merci, pesanti e leggeri, con una quota percentuale pari rispettivamente a circa il 21% e 6%. [...]"*.

⁷ ISPRA - Le emissioni di gas serra in Italia: obiettivi di riduzione e scenari emissivi – 2023 - https://www.isprambiente.gov.it/files2023/pubblicazioni/rapporti/rapporto_384_2023_le-emissioni-di-gas-serra-in-italia.pdf

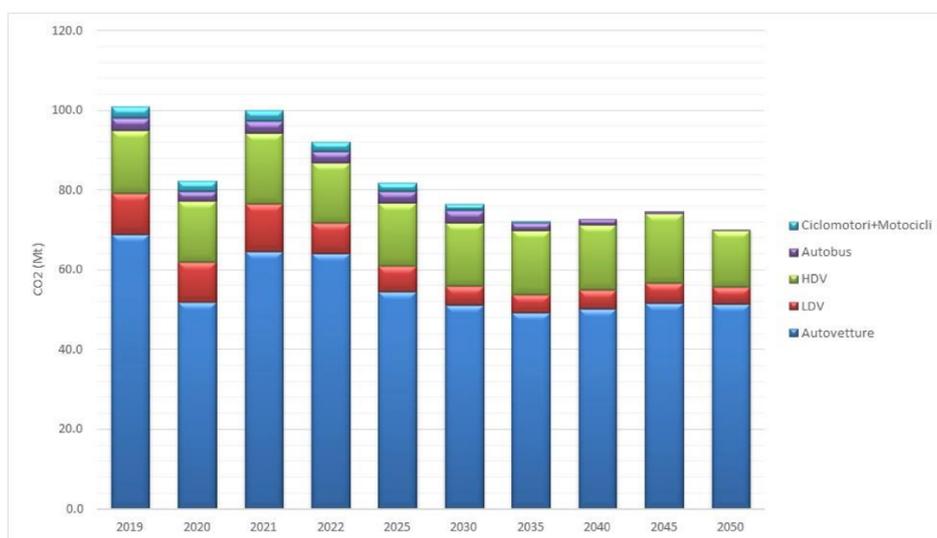


Figura 8 - Emissioni di anidride carbonica per il trasporto su strada distinte per categoria veicolare (Mt CO₂)

La Figura 8 tratta dal documento in esame illustra chiaramente come, almeno fino al 2050 le emissioni di CO₂ dovute al traffico veicolare restino sostanzialmente costanti rispetto al 2025 (scenario di riferimento del progetto). Si tratta di un andamento che tiene conto sia dell'aumento della domanda veicolare che, come detto sopra, dei ritardi nell'adeguamento e nel ricambio del parco veicolare. In termini di margini di incertezza dei dati, la Figura 9 rappresenta l'andamento del coefficiente di emissione medio al 2022 (245 g di CO₂ / km) in coerenza all'andamento delle emissioni totali da autovetture, riportato in Figura 8. Associando lo stesso andamento temporale, si ottiene un coefficiente medio di 201 g/km di CO₂ fino al 2050 (orizzonte di 28 anni). Calcolando i benefici dovuti alla riduzione del traffico veicolare sulle emissioni con tale coefficiente aggiornato, si ottiene un ulteriore guadagno del 23% di minori emissioni (pari a circa ulteriori 600 tonnellate di CO₂ non emesse in atmosfera ogni anno di esercizio della Cabinovia).

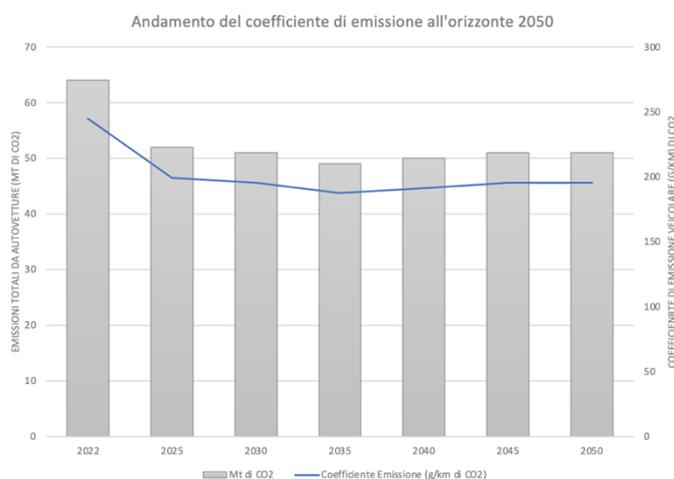


Figura 9 – Andamento del coefficiente di emissione (g/km) per veicolo all'orizzonte 2050

Si ritiene quindi, che il valore costante di 163 g di CO₂ / km utilizzato nel presente studio sia ragionevole per la stima, comunque cautelativa, della rimozione di emissioni di CO₂ da traffico veicolare nell'area di studio. Tale valore è oltremodo compensativo sull'intero ciclo di vita dell'opera, considerando che almeno fino al 2050 le emissioni da traffico veicolare non sono previste in riduzione, e che la sottostima delle emissioni fino a tale orizzonte temporale possa essere cautelativa sul restante periodo di vita dell'infrastruttura (40 anni).

2.2.1.7 Assunzioni per la fase di uso e di fine vita

L'infrastruttura di progetto, per sua stessa natura, ha nella fase di utilizzo ed esercizio la principale fonte di emissioni e di rimozione di GHG. Si tratta di una infrastruttura leggera, composta da materiali con elevati indici di riciclabilità. Per tale motivo, mentre la fase d'uso è stata analizzata sul singolo anno di funzionamento, il fine vita è stato escluso dal calcolo in quanto le eventuali rimozioni di materiale riciclabili sono compensate dal conteggio degli stessi nella fase di produzione ed installazione. Inoltre, la quota parte di opere ed infrastrutture dedicate potrebbe essere destinata comunque ad un utilizzo per la comunità (parcheggi, aree di sosta, viabilità), nel caso di dismissione dell'impianto funiviario.

2.3 Analisi dell'Inventario del Ciclo di Vita per la CFP (LCI)

Nella presente sezione si fa riferimento alla quantificazione degli elementi adatti a quantificare le emissioni e le rimozioni di GHG in relazione al ciclo di vita previsto, per ciascun sistema di prodotto.

2.3.1 Procedure di allocazione

Produzione ed Installazione - Si propone una procedura di allocazione semplificata per il sistema di prodotto della Produzione ed Installazione, dovuto al livello di progettazione attuale, per i sistemi funiviari e non funiviari. Di seguito i valori di inventario per i prodotti relativi ai processi:

- a) *Reperimento della materia prima*
- b) *Realizzazione del materiale*
- c) *Trasporto sul luogo di installazione*
- d) *Montaggio e/o realizzazione delle opere funiviarie e non funiviarie*

Parte Funiviaria

Si valuta un inventario di materiali composto da 100 cabine, per un impianto di lunghezza inclinata pari a 4873 m, 2 stazioni motrici, 3 stazioni di rinvio e 37 pali standard non tipo Leitwind, compresi i basamenti in c.a.

Parte Non Funiviaria

La parte non funiviaria comprende sia le stazioni che le opere accessorie infrastrutturali (parcheggi interscambio, viabilità di servizio ecc.):

- *Acciaio riciclato in barre – 152.402 kg;*
- *Acciaio riciclato per carpenteria – 517.935 kg;*
- *Calcestruzzo – 29.623 m³.*

Esercizio

Consumo di energia elettrica dovuto al funzionamento dell'opera

La tabella seguente illustra i consumi orari, le ore di funzionamento giornalieri e annuali per l'inventario del consumo di energia dell'impianto di progetto, diviso per tratta.

Tratta	kWh a regime	Ore/giorno di funzionamento	Giornate / anno	kWh / anno⁸
Opicina - Bovedo	600	14,5	322	2.241.120
Bovedo - Trieste	470	14,5	322	1.755.544

Minore traffico indotto su strada per l'utilizzo dell'opera

Gli archi interessati dalla diminuzione del traffico risiedono su itinerari che si scaricano per la presenza del nuovo collegamento Nord – Centro Città; tale fatto conferma le ipotesi in premessa sui benefici che il progetto può avere rispetto al collegamento relativo alla “penetrazione Nord” di Trieste (Allegato 1). Si evidenzia, inoltre, che tali dati fanno riferimento all'ora di punta della mattina, dove i flussi di mobilità sono, per la maggior parte, nella direzione Nord – Sud. Si ipotizza che i flussi relativi alla punta serale, sebbene più dilatata nel tempo, possano interessare più da vicino anche la viabilità più prossima alla zona del Porto Vecchio, con ulteriori benefici.

⁸ Comprensivo di un coefficiente correttivo dell'80% sui consumi (ipotizzandolo come consumo medio rispetto alle esigenze di picco).

L'intervento progettuale porta dei benefici trasportistici legati alla diminuzione percentuale del grado di saturazione su alcuni archi critici della viabilità principale di Trieste (dal 4% al 12%), grazie alla divergenza modale auto-cabinovia che si registra nelle cerniere di mobilità (interscambio modale) e nei punti di attrazione/generazione di spostamenti (Porto Vecchio, Trieste Centro), dell'ordine di circa 450 veicoli equivalenti nell'ora di punta tolti alla rete viaria, per un totale di circa 4.050 veicoli al giorno in meno (Paragrafo 1.2). Al fine di valutare le percorrenze risparmiate, i dati di ingresso al calcolo sono:

- *Veicoli orari non utilizzati per trasferimento modale: 450 veh/ora*
- *Coefficiente di rapporto ora di punta/giorno: 9*
- *Percorrenza media giornaliera risparmiata per singolo veicolo: 12 km (in questo caso si considera la media delle percorrenze evitate di un mezzo a motore lasciato ai parcheggi di interscambio per raggiungere la destinazione finale. Per esempio, il tragitto A/R dal capolinea nord della Cabinovia al Capolinea Sud (Molo IV) è di circa 14 km).*
- *Giorni di operatività annui dell'infrastruttura: 322 (ipotesi cautelativa sull'effettivo periodo di servizio)*

La riduzione media giornaliera delle percorrenze in autovettura privata dovuta alla realizzazione dell'intervento, pertanto, è pari a: $450 \text{ veh/h} * 9 * 12 \text{ km} = 48.600 \text{ km/giorno}$.

Minore congestione su strada

Accanto alla diminuzione delle percorrenze dovute alla riduzione del traffico veicolare, i veicoli che comunque continuano a percorrere la rete stradale possono beneficiare del minor grado di saturazione su alcuni archi congestionati e quindi della maggiore fluidità del traffico; in questo ambito si fa riferimento alla letteratura scientifica per valutare il beneficio dell'opera sull'ambiente. Tutti i modelli emissivi di inquinanti in atmosfera valutano la correlazione tra velocità media ed emissioni in atmosfera. In condizioni di saturazione, è stato verificato che le emissioni diminuiscono al diminuire dei ritardi alle intersezioni⁹; è stata dimostrata inoltre la relazione tra aumento di emissione e la transizione all'interno di fenomeni di *stop and go*¹⁰, tipica delle situazioni di traffico instabile o al limite dell'instabilità. A conferma di ciò, è stato inoltre proposto che un opportuno coordinamento di impianti semaforici per alleviare la congestione possa portare ad una diminuzione del 50% delle

⁹ S. Hallmark, I. Fomunung, R. Guensler, et al. - *Assessing impacts of improved signal timing as a transportation control measure using an activity-specific modeling approach* - Transportation Research Record, 1738 (2000), pp. 49-55.

¹⁰ N. Roupail, H.C. Frey, J.D. Colyar, et al. - *Vehicle emissions and traffic measures: exploratory analysis of field observations at signalized arterials* - The 80th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington DC (2001), p. 2001.

emissioni inquinanti in atmosfera¹¹. Al fine di valutare in modo quantitativo il beneficio indiretto sull'ambiente, si fa riferimento ad uno studio¹² che ha analizzato le dinamiche di traffico ed i coefficienti di emissione di inquinanti in atmosfera in situazioni di saturazione.

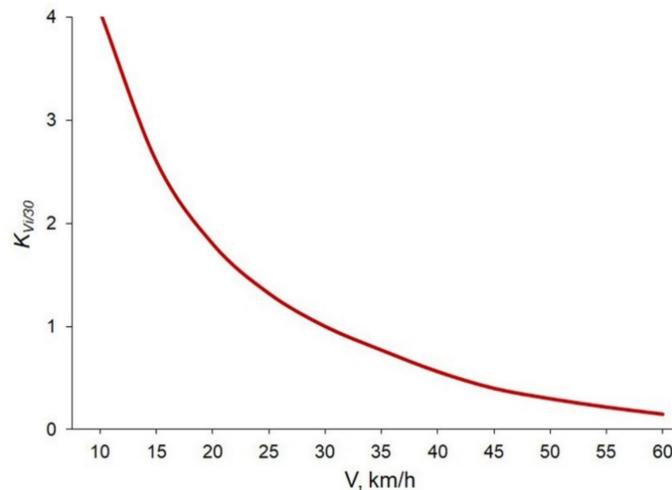


Figura 10 – Comparazione del coefficiente di emissione K base a 30 km/h in funzione della velocità

In accordo con i modelli, la quantità di emissioni dipende fortemente dalla velocità media del flusso. Assumendo un valore base emissivo per la velocità di 30 km/h, un incremento di velocità fino a 50 km/h su un tratto stradale in saturazione comporta una diminuzione di emissioni inquinanti del 30% circa (Figura 10). È stato quindi calibrato un modello di traffico di Greenshields¹³ (Figura 11) ottenendo la relazione tra velocità, flusso e grado di saturazione su un arco urbano tipo. Assumendo dai dati di progetto che la saturazione nello Scenario di Riferimento sugli archi oggetto di analisi sia vicina al 100%, e che la velocità sia quindi vicina a 30 km/h (velocità critica), con una diminuzione del 4% della saturazione, la velocità aumenta di circa 10 km/h, fino a 40 km/h. Con il 10% di saturazione in meno, da 30 km/h si passa ad una velocità di circa 50 km/h.

¹¹ H. Rakha, A. Medina, H. Sin, et al. - *Traffic signal coordination across jurisdictional boundaries: field evaluation of efficiency, energy, environmental, and safety impacts* - Transportation Research Record, 1727 (2000), pp. 42-51.

¹² V. Shepelev, A. Glushkov, O. Fadina, A. Gritsenko - *Comparative Evaluation of Road Vehicle Emissions at Urban Intersections with Detailed Traffic Dynamics* - Mathematics 2022, 10, 1887.

¹³ BD Greenshields – *A study of traffic capacity* - Highway research board proceedings (1935).

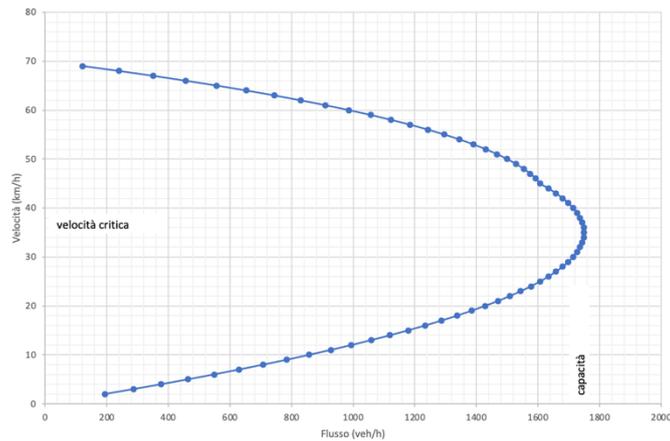


Figura 11 – Modello di Greenshields

Si può quindi stimare un miglioramento delle condizioni emissive pari ad una diminuzione dal 30% circa sull'arco di via Nazionale ad Opicina, per esempio (miglioramento del 10% del grado di saturazione), fino al 15% circa per gli archi in cui il grado di saturazione diminuisce del 4%.

Questi ultimi benefici indiretti sono notevoli, considerando che avvengono “soltanto” per un leggero miglioramento delle condizioni di circolazione su archi critici, ma che implicano notevoli risparmi a livello di minori emissioni in atmosfera (fino al 30% in meno sugli archi oggi più critici).

Minore manutenzione stradale

Tipicamente lo strato di usura stradale va adeguato e ripristinato ogni 5 anni, in condizioni di traffico medio. Correlando tale valore con il TGM medio nello Scenario di Riferimento e quello stimato (ridotto) nello Scenario di Progetto, è possibile valutare la differenza media in maggiori tempi di manutenzione dovuta al minore traffico sugli assi critici di cui sopra. Tale valore risulta pari a circa 6 mesi di maggiore vita utile della strada ogni 5 anni, quindi il 10% in più rispetto allo Scenario di Riferimento.

Minore manutenzione dei veicoli a motore privati e riduzione del ciclo produttivo

Per il settore della auto, l'impronta di carbonio dovuta alle sole emissioni rappresenta circa il 65% di tutta la Carbon Footprint legata ai cicli produttivi in tutte le parti, ai processi di distribuzione, filiera carburante ed energia, ecc¹⁴. Da computare quindi è l'ammontare del contributo dovuto alla minore manutenzione e minori necessità di cambio veicolo sul lungo periodo grazie alle minori percorrenze su strada.

¹⁴ Si fa riferimento allo standard ISO 14040 (*LCA, life cycle assessment*) valido a livello globale, certificati da enti indipendenti su un database tipo proveniente dall'Azienda Volkswagen.

In generale, le fonti dati¹⁴ dimostrano che la ripartizione percentuale media (per veicoli a benzina e diesel) di emissioni dovute alle fasi di produzione, emissione, riciclo del materiale, filiera del carburante e manutenzione è la seguente: Produzione circa 20%, emissioni 65%, riciclo 1%, filiera carburante 11% e manutenzione 3%.

In questo contesto chiaramente l'infrastruttura di progetto funziona a livello di nodo di interscambio modale, diminuendo le percorrenze dei veicoli privati e non annullandone completamente la presenza su strada. Va considerato, dall'altra parte, che minori percorrenze implicano una maggiore durata del mezzo, minore usura delle parti ed una vita media più lunga, con indubbi benefici sulla minore necessità di acquisto di nuovi mezzi sul breve / medio periodo.

Minori assorbimenti dovuti al cambio di uso del suolo per le opere accessorie

I minori assorbimenti dovuti al cambio di uso del suolo per le opere accessorie sono stati esclusi dal calcolo, per le argomentazioni riportate in precedenza.

Maggiori emissioni dovute alla manutenzione del verde sotto il tracciato

Le maggiori emissioni dovute alla manutenzione del verde sotto il tracciato sono state escluse dal calcolo, per le argomentazioni riportate in precedenza.

Dismissione

La dismissione dell'opera è stata esclusa dal calcolo, per le argomentazioni riportate in precedenza.

2.3.2 Valutazione dell'effetto della tempistica delle emissioni e delle rimozioni di GHG

Al fine di tenere conto dell'effetto puntuale della produzione e dell'installazione su tutto il ciclo di vita dell'infrastruttura, nell'analisi è stato considerato un anno tipo di esercizio dell'opera: nell'anno tipo ricadono le voci del sistema di prodotto "Esercizio", mentre quelle del sistema di prodotto "Produzione e Installazione" sono state normalizzate sull'anno, dividendo per 40 il totale dell'inventario dei prodotti (e successivamente quelli delle emissioni). In questo modo l'analisi CFP fa riferimento alla fase di esercizio tipica, tenendo comunque conto anche della fase iniziale di costruzione.

2.3.3 Trattamento delle emissioni e rimozioni di GHG

Al fine di evitare doppi conteggi, i dati di inventario di cui sopra sono tutti perfettamente sommabili in quanto consistono in processi diversi e non sovrapponibili, per tutti i sistemi di prodotto descritti.

In particolare, le fasi causa di emissione di GHG (produzione ed installazione) sono comprensive delle fasi di trasporto così come la fase di esercizio per il consumo energetico. Le parti relative alla rimozione delle emissioni (minore traffico veicolare) sono state valutate nella sola parte di emissione allo scarico, trascurando la parte relativa alla produzione dei veicoli, computata separatamente nella parte di minore manutenzione veicolare dovuta alle minori percorrenze dei veicoli.

2.4 Valutazione dell’Impatto per la CFP (LCIA)

Nella seguente sezione viene quindi calcolato l’impatto per la CFP, moltiplicando le quantità dell’inventario (Paragrafo 2.3) per i sistemi di prodotti per gli opportuni coefficienti di emissione (Paragrafo 2.2.1.5). La CFP totale è la somma di questi impatti calcolati.

Produzione ed Installazione

Per gli impianti funiviari il risultato per la sola produzione e installazione (inclusi i basamenti in c.a.) è di 5.040 tonnellate di CO_{2eq}. Di questo valore il potenziale di riciclaggio ammonta a 1.880 tonnellate di CO_{2eq}. Per gli impianti non funiviari i materiali valutati rappresentano la componente più rilevante per quantità e per potenziale emissione di gas serra: acciai per armatura, acciai per carpenteria e calcestruzzi. Ne sono stati considerati i processi di produzione secondo tecnologie standard e mix energetico nazionale. La stima della carbon footprint per le opere non funiviarie è di 8.924 tonnellate di CO_{2eq}. Per la realizzazione dell’intero intervento la somma porta ad una stima di 13.964 tonnellate di CO_{2eq} totali, e di 349 tonnellate di CO_{2eq} nell’anno di esercizio tipo.

Esercizio

Consumo di energia elettrica dovuto al funzionamento dell’opera

La Tabella 2 illustra i dati di ingresso (consumi medi per tratta), le ore e le giornate di funzionamento.

Tabella 2 – Emissioni di CO₂ equivalenti dovute all’esercizio della Cabinovia

Tratta	kWh a regime	Ore/giorno di funzionamento	Giornate / anno	Emissione (tonn CO _{2eq} / anno)
Opicina - Bovedo	600	14,5	322	58
Bovedo - Trieste	470	14,5	322	45
Totale Emissioni				103

Apportando un coefficiente correttivo dell'80% sui consumi (ipotizzandolo come consumo medio rispetto alle esigenze di picco), e moltiplicando i kW annui per il coefficiente di emissione di 26 g / kWh, si ottiene un valore di circa 103 tonnellate di CO₂ / anno equivalenti, come impronta di carbonio dovuta all'esercizio energetico della Cabinovia.

Minore traffico indotto su strada per l'utilizzo dell'opera

Il calcolo del risparmio annuale di CO₂ dovuto al trasferimento modale mezzo privato a motore – Cabinovia viene effettuato attraverso la formulazione, partendo dalle percorrenze giornaliere evitate:

Risparmio Inquinante (kg/anno) = (48.600 km/giorno) x (163 g/km) x (322 giorni) / 1000

e si traduce quindi in circa 2.551 tonnellate/anno di CO₂ in meno rilasciata in atmosfera.

Minore congestione su strada

Si riportano alcune considerazioni sul beneficio indiretto quantitativo (in termini di minori emissioni emesse grazie alla riduzione della congestione), utilizzando il modello semplificato adottato nel calcolo delle minori emissioni per la riduzione del traffico veicolare. In questo caso occorre considerare che le riduzioni della congestione sono puntuali, ma contribuiscono a diminuire il tempo di viaggio totale dell'utente grazie all'aumento localizzato delle velocità (come visto in precedenza). La metodologia di calcolo dei benefici indiretti è la seguente:

- 1. Valutazione del flusso orario dei veicoli che interessano gli archi alla soglia della saturazione nello Scenario di Riferimento (ante operam);*
- 2. Valutazione del flusso orario dei veicoli che interessano gli archi di cui sopra nello Scenario di Progetto (post operam).*

I dati di cui sopra sono stati estratti dal modello di trasporto utilizzato nella pianificazione del progetto. Le coppie O/D sugli archi sono le stesse nei due scenari, in quanto l'infrastruttura di progetto non cambia le destinazioni ma soltanto il mezzo di trasporto utilizzato. Gli utenti che ancora percorrono gli archi stradale con il mezzo proprio a valle del progetto, trovano giovamento nel minore tempo di percorrenza dovuto alla minore congestione.

Tabella 3 – Archi in saturazione e calcolo delle emissioni sui tratti critici negli Scenari di Riferimento (SCR) e di Progetto (SCP).

VIA	Lunghezza Tratto Critico (km)	Variazione $K(v)$ SCR / SCP	Emissioni SCR (tonn CO ₂ / anno)	Emissioni SCP (tonn CO ₂ / anno)	Minori Emissioni dovute alla minore congestione stradale (tonn CO ₂ / anno)	Stato Saturazione
ROMA	0,2	23%	73	49	-24	SOVRASATURAZIONE
NAZIONALE	0,3	23%	217	150	-67	
COMMERCIALE	0,3	20%	39	29	-10	
VALERIO	0,5	13%	242	200	-42	
FRIULI	0,4	13%	186	154	-32	
MIRAMARE	0,2	9%	67	51	-16	SOTTOSATURAZIONE
MILANO	0,2	9%	73	56	-17	
PAULIANA	0,2	9%	59	50	-10	
DALMAZIA	0,1	5%	102	86	-15	
COSTIERA	1	5%	434	385	-50	
DUCA DEGLI ABRUZZI	0,2	5%	108	97	-11	
TRE NOVEMBRE	0,2	9%	208	181	-26	
CAVOUR	0,2	5%	108	99	-9	
UDINE	0,5	9%	112	101	-11	
TOTALE					-341	

La Tabella 3 riporta i dati di emissione ante e post operam sugli archi alla soglia della saturazione (maggiore dell'80%), dove la diminuzione della saturazione porta maggiori giovamenti alla circolazione e ad una minore emissività dei veicoli, in accordo a quanto riportato in precedenza. Nei calcoli sono stati considerati gli stessi coefficienti di passaggio da ora di punta a giorno (9) e da giorno ad anno (322) utilizzati in precedenza nel modello emissivo. Il coefficiente di emissività di CO₂ (g/km) è stato calcolato sulla base dell'andamento del coefficiente di emissione $K(v)$ in funzione della velocità, riportato nella Figura 10, modulando il coefficiente di emissione base (163 g di CO₂/km) in funzione della velocità dovuta alla congestione. In particolare, conta la differenza tra i coefficienti in funzione di due situazioni di saturazione a velocità differenti. I flussi riportati negli Scenari fanno riferimento alla minore presenza di veicoli dovuti allo *split* modale, ma soprattutto alla riassegnazione del percorso di utenti che, grazie alla minore congestione, trovano più appetibili alcuni itinerari che prima non impiegavano perché troppo saturi.

A livello di flussi, gli archi in sovra-saturazione vedono una diminuzione di circa 300 veicoli/ora complessivi, direttamente correlabili a quelli legati allo *split* modale. I restanti 150 veicoli/ora tolti dalla rete stradale a seguito del progetto sono ripartiti uniformemente sugli archi in sotto-saturazione, a cui si sommano ulteriori riduzioni dovute alla diversa scelta del percorso dovuta alle locali situazioni

di miglioramento e fluidità del traffico (archi meno saturi attirano più passaggi veicolari). Per gli archi in sotto-saturazione il beneficio in termini di minori emissioni inquinanti è minore rispetto al caso della sovra-saturazione, in quanto le variazioni di velocità sono anch'esse minori ma comunque non trascurabili. In quest'ultimo caso il coefficiente di emissione $K(v)$ aumenta di circa il 9% per gli archi a maggior valore di saturazione.

Si tratta di emissioni puntuali sui tratti in congestione, ma che vengono amplificate dai passaggi veicolari. Il coefficiente di passaggio da ora di punta a giorno mitiga il fatto che le congestioni possono avvenire soltanto in alcune fasce orarie, ma va comunque a normalizzare il calcolo per tenere conto di un effetto complessivo medio giornaliero, in coerenza con il modello emissivo utilizzato per il calcolo delle minori emissioni a valle della riduzione del traffico veicolare nell'ora di punta. Il totale delle emissioni risparmiate si attesta quindi a circa 341 tonnellate di CO₂ / anno, come beneficio indiretto della minore congestione su alcuni assi critici.

Minore manutenzione stradale

È stata stimata la produzione di Carbon Footprint dovuta al minore ciclo di manutenzione delle strade. Ci si è affidati ad uno studio¹⁵ che computa le quote parte della costruzione e della manutenzione delle infrastrutture nel calcolo della quantità di CO₂ equivalente/anno prodotta dal trasporto e dalla posa di una pavimentazione stradale tipica.

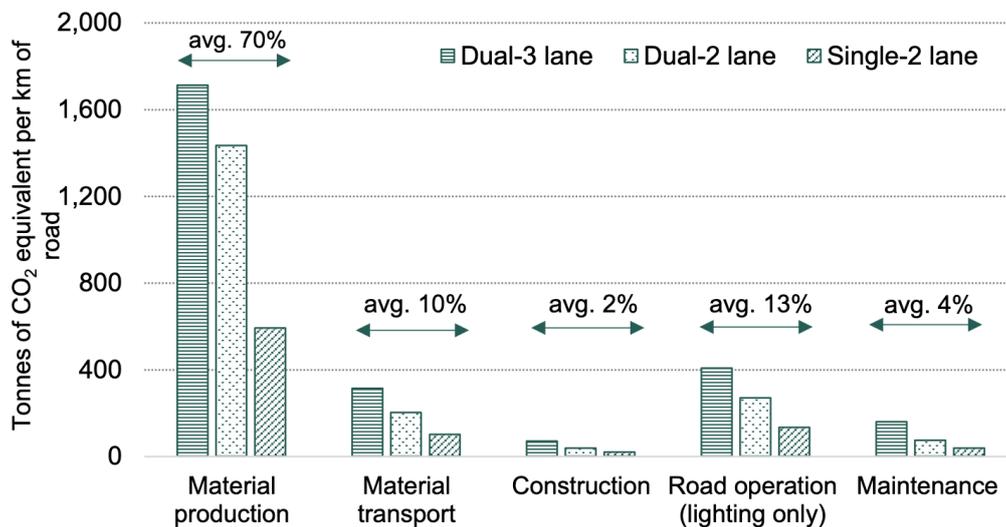


Figura 12 – Ciclo di emissione di Carbonio per diverse configurazioni stradali – cit. Lokesh et al.

¹⁵ Lokesh, K., Densley-Tingley, D. and Marsden, G. (2022) Measuring Road Infrastructure Carbon: A 'critical' in transport's journey to net-zero. Leeds: DecarboN8 Research Network.

In generale è stato valutato che l'intero ciclo produttivo della costruzione di una strada a due corsie (prendendo come esempio un caso urbano) implica l'emissione di circa 880 tonnellate di CO₂ equivalenti per 1 km di strada. Valutato quindi il peso della sola manutenzione dalla figura precedente (4%), si può valutare in 35 tonn/CO_{2e}/km di strada l'unità di emissione della manutenzione. Valutando l'estensione della rete stradale oggetto di riduzione del traffico (assi più critici dai nodi di interscambio di Opicina e Bovedo fino alla zona centrale della città), si ottiene una rete stradale di circa 20 km che può beneficiare di una minore manutenzione.

Dalle ipotesi di cui sopra si ottiene una emissione di 35 tonnCO_{2e} per 20 km, pari a circa 700 tonnCO_{2e} ogni 5 anni, e quindi di 5.600 tonnCO_{2e} sui 40 anni di vita utile della Cabinovia. Il guadagno in termini di minori emissioni dovute al minore ciclo di manutenzione su alcuni assi stradali si valuta quindi nel 10% del totale, pari a circa 560 tonnCO_{2e} totali, e di 14 tonnCO_{2e} nell'anno tipo.

Minore manutenzione dei veicoli a motore privati e riduzione del ciclo produttivo

Come visto nella parte di Inventario, le emissioni veicolari pesano in diversa quantità tra esercizio (65%) e le altre fasi di vita del mezzo (35%). A livello della Carbon Footprint, quindi, il beneficio totale di avere una quantità minore di automobili in circolazione può essere aumentato ancora per circa il 35%, pesando opportunamente le minori percorrenze dei veicoli che utilizzano i parcheggi di scambio della Cabinovia.

Valutando le emissioni evitate sulle minori percorrenze dei veicoli viste in precedenza (2.551 tonnellate di CO₂ / anno in meno), sulle stesse minori percorrenze la quota aggiuntiva (35%) dovuta alla minore manutenzione, minore consumo di carburante e minori oneri su tutto il ciclo produttivo dell'automobile è stata valutata in circa 1.373 tonnellate/anno di CO₂ in meno rilasciata in atmosfera, che pesano la percentuale di chilometri annui risparmiata sulla totalità dei chilometri relativi alla vita utile dei veicoli, associata a tutti i processi di produzione, le cui minori emissioni vengono proporzionalmente associate al risparmio complessivo di CO₂ in atmosfera. Si evidenzia che in questo caso non sono state conteggiate le minori emissioni dovute all'esercizio del veicolo, già conteggiate nelle precedenti sezioni al fine di evitare doppi conteggi.

Minori assorbimenti dovuti al cambio di uso del suolo per le opere accessorie

I minori assorbimenti dovuti al cambio di uso del suolo per le opere accessorie sono stati esclusi dal calcolo, per le argomentazioni riportate in precedenza.

Maggiori emissioni dovute alla manutenzione del verde sotto il tracciato

Le maggiori emissioni dovute alla manutenzione del verde sotto il tracciato sono state escluse dal calcolo, per le argomentazioni riportate in precedenza.

Dismissione

La dismissione dell'opera è stata esclusa dal calcolo, per le argomentazioni riportate in precedenza.

2.5 CFP Totale

La tabella seguente riassume il calcolo della CFP effettuato per i sistemi di prodotto.

Sistema di Prodotto	Processi Unitari	CFP Totale (tonn CO_{2eq})	CFP anno/tipo (tonn CO_{2eq}/ anno)
Produzione e Installazione	Reperimento della materia prima	13.964	349
	Realizzazione del materiale		
	Trasporto sul luogo di installazione		
	Montaggio e/o realizzazione delle opere funiviarie e non funiviarie		
Esercizio	Consumo di energia elettrica dovuto al funzionamento dell'opera	-	103
	Minore traffico indotto su strada per l'utilizzo dell'opera	-	-2.551
	Minore congestione	-	-341
	Minore manutenzione stradale	-	-14
	Minore manutenzione dei veicoli a motore privati e riduzione del ciclo produttivo	-	-1.373
	Minori assorbimenti dovuti al cambio di uso del suolo per le opere accessorie	esclusa	
	Maggiori emissioni dovute alla manutenzione del verde sotto il tracciato	esclusa	
Dismissione	esclusa		
Totale CFP per anno tipo			-3.827

2.6 Rapporto dello Studio CFP

Si considera il rapporto dello studio CFP già integrato nella presente relazione.

2.7 Confronto tra Emissioni

Nella fase di confronto delle emissioni di progetto con quelle attuali è doverosa una fondamentale premessa. Il Progetto opera in uno scenario di riferimento (non considerato nelle emissioni INEMAR 2019) che vede il progetto agire su un assetto urbanistico completamente differente rispetto all'attuale; uno scenario di mobilità in cui sono presenti, oltre al progetto della Cabinovia, tutti gli interventi urbanistici previsti e finanziati, uno su tutti la riqualificazione del Porto Vecchio. Quest'ultimo intervento prevede la generazione/attrazione di circa 20.000 spostamenti al giorno che, se non supportati da azioni di mitigazione dell'uso del veicolo privato, possono generare ulteriori contributi inquinanti considerevoli. Tale emissioni aggiuntive sono state stimate in circa il 12% in più rispetto alle emissioni attuali (da modello PUMS), per tutti gli interventi urbanistici previsti.

L'impronta di Carbonio calcolata è stata confrontata con le emissioni totali e da traffico di CO₂ nel Comune di Trieste, dai dati INEMAR 2019.

Tabella 4 – Emissioni evitate sul totale del Comune di Trieste al 2019.

	CO₂ t/anno
Emissioni evitate dall'intervento di progetto	3.827
Emissioni totali del Comune di Trieste (2019)	1.021.575
Emissioni da autoveicoli nel Comune di Trieste (2019)	291.278
Riduzione % delle emissioni rispetto al totale da traffico	1,3%

Considerando come base quindi le emissioni totali annue nello stato di fatto (da dati INEMAR), la quota aggiuntiva di emissioni generata nello Scenario di Riferimento a causa degli sviluppi urbanistici in essere risulta pari a 34.953 tonnellate di CO₂ in più emesse in atmosfera (12% dell'attuale emissione da traffico). Il totale delle emissioni risparmiate dall'intervento di progetto intese come Carbon Footprint (3.827 tonnellate di CO₂) consente di assorbire l'11% delle emissioni aggiuntive da traffico veicolare dovute agli scenari urbanistici su tutto il Comune di Trieste.

Per quanto riguarda il confronto con le emissioni inquinanti generate dal traffico non si ritiene corretto il rapporto con la totalità delle emissioni dovute a tutti i veicoli circolanti nella rete in esame, in quanto il progetto della Cabinovia mira a intercettare una quota parte (Ingresso Nord) dei veicoli (destinati a specifiche zone del centro di Trieste ed al Porto Vecchio) nello Scenario di Riferimento, esterna ad altri flussi di mobilità per cui non risulta particolarmente utile (area Sud-Est di Trieste, Muggia

etc.) per evidenti altre linee di desiderio di mobilità che non interessano direttamente la Cabinovia. La componente oraria veicolare in ingresso a Trieste da Nord è pari a circa 2.100 veh/h nell'ora di punta. Analogamente a quanto ricavato in precedenza, è stato quindi stimata l'emissione complessiva dei 2.100 veicoli da Nord interessati dal possibile interscambio modale con la Cabinovia, relativamente alle percorrenze medie dei veicoli che, da modello, risultano pari a circa 34 km (17 km in andata e altrettanti in ritorno, mediando tutte le possibili origini con le destinazioni a ridosso del capolinea a Sud della Cabinovia). I dati di ingresso del calcolo sono quindi:

- *Veicoli orari: 2.100 veh/ora*
- *Coefficiente di rapporto ora di punta/giorno: 9*
- *Percorrenza media giornaliera per singolo veicolo: 34 km*
- *Fattore di emissione medio di CO₂ per unità di percorrenza di un veicolo: 163 g/km*
- *Giorni di operatività annui dell'infrastruttura: 322 (ipotesi cautelativa sull'effettivo periodo di servizio)*
- *La media giornaliera delle percorrenze in autovettura privata in ingresso nord è pari a: 2.100 veh/h * 9 * 34 km = 642.600 km/giorno.*

Il calcolo delle emissioni totali di CO₂ dovuto alla sola componente di Ingresso Nord è quindi pari a:

Emissioni Inquinanti (kg/anno) = (642.600 km/giorno) x (163 g/km) x (322 giorni) / 1000

e si traduce quindi in circa 33.727 tonnellate/anno di CO₂ emesse.

Valutando la quota parte dovuta alle emissioni aggiuntive dello Scenario di Riferimento (12%) alla sola quota emissiva dei veicoli in ingresso Nord (effettivo bacino di utenza del progetto), si ottiene un valore di circa 4.047 tonnellate di CO₂ / anno in più, che sono bilanciate dal risparmio ottenuto dalla Cabinovia di progetto nell'ambito del calcolo della Carbon Footprint (3.827 tonnellate di CO₂ / anno in meno).

I benefici qui evidenziati si moltiplicano facilmente come evidenziato nell'analisi di sensitività effettuata nell'allegato 5.

2.8 Monitoraggio

Si riportano per completezza alcune indicazioni riguardanti il monitoraggio futuro dell'opera. È importante compiere una scelta di indicatori di processo quali il numero di utilizzatori della Cabinovia, il numero di auto in sosta nei parcheggi di interscambio (eventualmente associandone la tipologia emissiva) e, coerentemente con i fattori emissivi veicolari, operare il monitoraggio avendo come riferimento il valore di CFP calcolato in precedenza. In conclusione, è fondamentale valutare come

l'opera contribuisce agli obiettivi specifici e nelle strategie regionali, nazionali e comunitarie in una sorta di filiera di monitoraggi coerente con gli scopi del presente studio.

3 CONCLUSIONI

Il calcolo dell'Impronta di Carbonio (CFP) del progetto è stato redatto secondo la normativa ISO UNI 14067, evidenziando le emissioni e le riduzioni di CO₂ in un anno tipico di esercizio nell'arco della vita utile dell'infrastruttura. A valle del calcolo, emerge come il beneficio netto in termini di minori emissioni di CO₂, in atmosfera sia pari a circa 3.827 tonnellate annue.

Le emissioni sono state opportunamente comparate rispetto alle attuali, sottolineando che il progetto opera in uno Scenario di Riferimento in cui il livello delle emissioni sarà di circa il 12% maggiore rispetto a quello attuale (analisi PUMS), a causa degli insediamenti urbanistici previsti (uno fra tutti la riqualificazione del Porto Vecchio). Considerando come base quindi le emissioni totali annue nello stato di fatto (da dati INEMAR), la quota aggiuntiva di emissioni generata nello Scenario di Riferimento a causa degli sviluppi urbanistici in essere risulta pari a circa 35.000 tonnellate di CO₂ in più emesse in atmosfera (12% dell'attuale emissione da traffico). Il totale delle emissioni risparmiate dall'intervento di progetto intese come Carbon Footprint (3.827 tonnellate di CO₂) consente di assorbire l'11% delle emissioni aggiuntive da traffico veicolare dovute agli scenari urbanistici su tutto il Comune di Trieste.

Valutando la quota parte dovuta alle emissioni aggiuntive dello Scenario di Riferimento (12%) alla sola quota emissiva dei veicoli in ingresso Nord (effettivo bacino di utenza del progetto), si ottiene un valore di circa 4.047 tonnellate di CO₂ / anno in più, che sono sostanzialmente bilanciate dal risparmio ottenuto dalla Cabinovia di progetto nell'ambito del calcolo della Carbon Footprint (3.827 tonnellate di CO₂ / anno in meno).