



Fabio Lamanna

via Cavalleggeri Treviso 13, 31100, Treviso

P. IVA: 02534880303 | C.F. LMNFBA77D21L483F

(+39) 320 6070544

fabio@fabiolamanna.it

www.fabiolamanna.it

STUDIO CARBON FOOTPRINT

Emissioni di CO₂ in Atmosfera

Calcolo secondo la Norma UNI EN ISO 14067:2018

Data 2 agosto 2023

INDICE

1	VALUTAZIONE DELL'IMPRONTA DI CARBONIO	4
1.1	PREMESSA	4
1.2	DEFINIZIONE DELL'OBIETTIVO E SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE	4
2	SISTEMA CABINOVIA	6
2.1	SISTEMA DI PRODOTTO E FUNZIONI	6
2.1.1	<i>Unità dichiarata</i>	6
2.1.2	<i>Confine del sistema</i>	7
2.1.3	<i>Criteri di esclusione</i>	8
2.1.4	<i>Dati e qualità dei dati</i>	9
2.1.5	<i>Confine temporale dei dati</i>	11
2.1.6	<i>Assunzioni per la fase di uso e di fine vita</i>	11
2.2	ANALISI DELL'INVENTARIO DEL CICLO DI VITA PER LA CFP (LCI)	11
2.2.1	<i>Raccolta Dati</i>	12
2.2.2	<i>Validazione dei Dati</i>	13
2.2.3	<i>Procedure di Allocazione</i>	13
2.2.4	<i>Valutazione dell'effetto della tempistica delle emissioni e delle rimozioni di GHG...</i>	13
2.3	VALUTAZIONE DELL'IMPATTO PER LA CFP (LCIA)	14
2.4	INTERPRETAZIONE DEL CICLO DI VITA	16
2.4.1	<i>Analisi di Sensitività</i>	16
2.4.1.1	<i>Coefficiente emissivo da produzione e generazione di energia elettrica rinnovabile ..</i>	17
2.4.1.2	<i>Coefficiente emissivo da mix energetico nazionale</i>	17
2.4.1.3	<i>Processi di Produzione ed Installazione</i>	18
2.4.1.4	<i>Giornate di chiusura dell'Impianto per vento forte</i>	18
2.5	CONCLUSIONI	20
3	SISTEMA STATUS QUO	21
3.1	SISTEMA DI PRODOTTO E FUNZIONI	21
3.1.1	<i>Unità dichiarata</i>	21
3.1.2	<i>Confine del sistema</i>	21
3.1.3	<i>Criteri di esclusione</i>	22
3.1.4	<i>Dati e qualità dei dati</i>	22

3.1.5	<i>Confine temporale dei dati</i>	26
3.1.6	<i>Assunzioni per la fase di uso e di fine vita</i>	28
3.2	ANALISI DELL'INVENTARIO DEL CICLO DI VITA PER LA CFP (LCI)	28
3.2.1	<i>Raccolta dati</i>	28
3.2.2	<i>Validazione dei Dati</i>	29
3.2.3	<i>Procedure di Allocazione</i>	29
3.2.4	<i>Valutazione dell'effetto della tempistica delle emissioni e delle rimozioni di GHG...</i>	29
3.3	VALUTAZIONE DELL'IMPATTO PER LA CFP (LCIA)	29
3.4	INTERPRETAZIONE DEL CICLO DI VITA	35
3.4.1	<i>Analisi di Sensitività</i>	35
3.4.1.1	Coefficiente di rapporto tra ora di punta e TGM.....	36
3.4.1.2	Approssimazioni del Modello di Traffico.....	36
3.4.1.3	Coefficiente di emissione veicolare di CO ₂ e	37
3.4.1.4	Dati relativi alle emissioni dovute alla manutenzione dei veicoli	39
3.4.1.5	Dati relativi alla manutenzione stradale	39
3.5	CONCLUSIONI	39

1 VALUTAZIONE DELL'IMPRONTA DI CARBONIO

1.1 Premessa

Il presente studio di calcolo della CFP - *Carbon Footprint* (Impronta di Carbonio) 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, scopo e campo di applicazione*
2. *LCI (Analisi dell'Inventario del Ciclo di Vita) – dove si valutano i flussi di materiale interessati dai calcoli*
3. *LCIA (Valutazione dell'Impatto del Ciclo di Vita) – dove si calcolano gli impatti delle diverse fasi del ciclo di vita dell'opera in termini di emissioni di CO₂e in atmosfera*
4. *Interpretazione del ciclo di vita – che include la valutazione dell'incertezza dei dati e le limitazioni dello studio*

1.2 Definizione dell'Obiettivo e Scopo e Campo di Applicazione

Lo studio, nel suo complesso, ha l'obiettivo di calcolare la CO₂e (CO₂ equivalente) emessa durante il 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.

Si tratta di una impronta climatica parziale di un prodotto, o CFP parziale così definita: somma delle emissioni di CO₂e di uno o più processi selezionati in un sistema di prodotto, espressa come CO₂e e basata sulle fasi o sui processi selezionati all'interno del ciclo di vita. Nel report non è stata adottata nessuna PCR (*Product Category Rule*). Si fa riferimento al calcolo delle emissioni di CO₂e in atmosfera dovute alla presenza della Cabinovia di progetto (“Sistema Cabinovia”), e con riferimento alla situazione in cui la Cabinovia non è presente (“Sistema *Status Quo*”).

Sono state sviluppate quindi due CFP parziali in relazione a due diversi sistemi di prodotto – il sistema Cabinovia ed il sistema *Status Quo*.

2 Sistema Cabinovia

2.1 Sistema di prodotto 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. Il sistema comprende quindi sia le parti prettamente ingegneristiche dell'opera (stazioni, piloni, fondazioni ecc.), che il sistema di esercizio vero e proprio, su cui si calcolano quindi i potenziali passeggeri attratti e quante automobili potenziali potranno essere tolte dalla rete stradale.

Il sistema di prodotto è quindi identificato da una serie di processi unitari (vedi paragrafo 2.1.2) che espletano una o più funzioni definite che modellano il ciclo di vita dell'opera.

2.1.1 Unità dichiarata

L'unità dichiarata scelta per il Sistema Cabinovia è il numero di spostamenti annui della popolazione coinvolta (espresso in passeggeri x km). Il calcolo dell'unità dichiarata fa riferimento al carico a bordo di passeggeri sulla Cabinovia di progetto nell'ora di punta nelle due direzioni di marcia, associata alla lunghezza delle varie tratte (Figura 1). In particolare, le tratte misurano:

- *Opicina – Bovedo – 2,344 km*
- *Bovedo – Porto Vecchio – 1,425 km*
- *Porto Vecchio – Trieste – 1,135 km*

Sommando i passeggeri nelle due direzioni di marcia per la lunghezza lineare della tratta, si ottiene un valore di 4758 passeggeri x km / ora di punta. Rapportando tale valore al giorno (coefficiente 9) si ottiene un valore di 42.818 passeggeri x km / giorno, e rapportandolo all'anno (coefficiente 322) si ottiene il valore di 13.787.380 passeggeri x km / anno. Quest'ultimo dato è quello utilizzato per rapportare i dati di input ed output dello studio alla singola Unità Dichiarata.

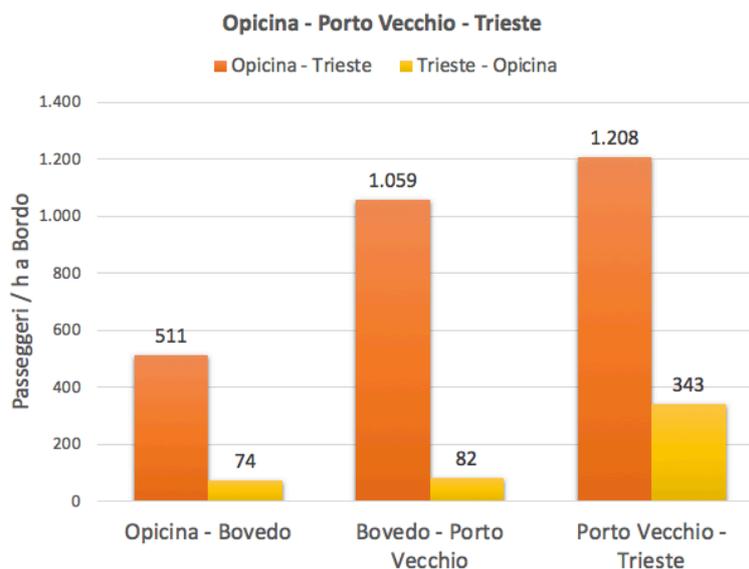


Figura 1 – Passeggeri a Bordo del Sistema Cabinovia – ora di punta

2.1.2 Confine del sistema

Il confine del sistema è definito (punto 3.1.3.4 della Norma) come il “confine basato su un insieme di criteri che rappresenta quali processi unitari fanno parte del sistema allo studio.” (vedi paragrafo precedente). 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 funzionali, oltre alle opere civili quali stazioni e parcheggi di interscambio.

I processi unitari emissivi di GHG (*GreenHouse Gases* - Gas ad effetto Serra) 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).*

Tutti i dati relativi al confine di sistema sono dati primari (vedi paragrafi seguenti). Tutti i dati sono ancora ipotetici dovuti al fatto che si è ancora in fase di progettazione.

2.1.3 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.*

I materiali da costruzione utilizzati per la Cabinovia hanno un elevato coefficiente di riciclo e pertanto non sono stati computati come parte di un contributo negativo sulle emissioni totali dell'infrastruttura, 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. Tutta la fase dedicata alla progettazione definitiva ed esecutiva, infine, va nella direzione di adottare le migliori tecniche e tecnologie atte ad utilizzare quanto più materiale sostenibile e riciclabili, per minimizzare l'impatto nel caso di futura dismissione dell'opera.

A livello quantitativo, si anticipano in questa parte i valori di emissione di CO₂e relativi alla fase di produzione ed installazione dell'opera funiviaria e non funiviaria, direttamente correlabili alla relativa fase di dismissione. Per gli impianti funiviari il risultato per la sola produzione e installazione (inclusi i basamenti in c.a.) è di 5.040 tonnellate di CO₂e, mentre per le opere non funiviarie è di 8.924 tonnellate di CO₂e. Per la realizzazione dell'intero intervento la somma porta ad una stima di 13.964 tonnellate di CO₂e totali, e di 349 tonnellate di CO₂e nell'anno di esercizio tipo. Dalle ipotesi di cui sopra, la parte non funiviaria non viene considerata nella fase di dismissione in quanto le infrastrutture (parcheggi, stazioni di interscambio) possono comunque trovare utilità ed applicazione anche senza la cabinovia di progetto. Pertanto, si fa riferimento alla sola quota emissiva dovuta alla costruzione dell'impianto funiviario oggetto di possibile dismissione. La corrispondente quota emissiva di produzione ed installazione, nell'anno tipo, è quindi pari a 5.040 / 40 anni, cioè di 126 tonnellate di CO₂e nell'anno di esercizio tipo. Valutando una quota di riciclo pari al 70% (considerate le caratteristiche dei materiali e le prescrizioni in fase di gara), è possibile quindi stimare una quota emissiva per la dismissione pari al restante 30%, cioè di 37,8 tonnellate di CO₂e. Considerando infine che nelle fasi di produzione ed installazione è stata comunque cautelativamente considerata

anche la parte di materiale riciclato nella quota emissiva, ragionevolmente si può ulteriormente abbassare la quota dovuta alla sola dismissione di un ulteriore 70%, ottenendo un valore pari a circa 11 tonnellate di CO_{2e}. Ponendo un limite di esclusione intorno ad un valore di 10 tonnellate di CO_{2e}, si può quindi ragionevolmente trascurare il contributo di dismissione dal calcolo.

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

2.1.4 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”;*

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_{2e} / Unità);*
 - *Coefficiente emissivo da produzione e generazione di energia elettrica rinnovabile (kg CO_{2e} / Unità).*

Nelle seguenti analisi vengono utilizzati i valori di GWP (*Global Warming Potential*) proposti da IPCC degli ultimi 100 anni. I dati di cui sopra sono stati valutati come segue, associandone la fonte, mentre il grado di incertezza dei dati è riportato nella sezione *Interpretazione del Ciclo di Vita* (secondo le indicazioni della Normativa).

La tabella successiva riassume i dati utilizzati definendone l'origine.

Tabella 1 – Dati e Qualità dei Dati del Sistema

Tipologia	Unità di Misura	GWP (kg CO₂e / unità di misura	Fonte
Acciaio riciclato per carpenteria	Kg	1,20	Stima derivata direttamente dai produttori dell'infrastruttura.
Acciaio riciclato in barre	Kg	0,83	
Calcestruzzo	m ³	276	
Generazione Energia Elettrica	kWh	0,026	Nota 1

I valori dei coefficienti GWP 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.

Per quanto riguarda i coefficienti emissivi di generazione di energia elettrica, nel caso in esame è stato considerato la media dei coefficienti emissivi per produzione di energia rinnovabile¹, che singolarmente valgono:

- *Fotovoltaico: 45 g CO₂e / kWh (media tra le emissioni di Solar PV – rooftop e Solar PV – utility)*
- *Idroelettrico: 24 g CO₂e / kWh*
- *Eolico: 11 g CO₂e / 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

¹ 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.

di 26 g CO₂e / kWh, nell'ipotesi di rifornimento di energia da soli fonti rinnovabili, da specificare nel bando di fornitura dei servizi in fase di gara con l'acquisto di certificati verdi. Tale ipotesi può essere confermata dall'analisi delle attuali fonti per la produzione di energia elettrica in Italia² che, a giugno 2023, sono rappresentate al 75% da fonti rinnovabili.

2.1.5 Confine temporale dei dati

Il periodo nel quale è rappresentativo il valore quantificato della CFP si inquadra come anno tipo nell'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 il periodo di analisi, si fa riferimento ad un anno tipo di esercizio dell'opera, rapportando i valori emissivi di GHG delle varie fasi di vita all'anno tipo (rispetto alla vita utile di 40 anni dell'opera).

2.1.6 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. La fase d'uso utilizzata, pertanto, fa riferimento a specifiche scelte progettuali sulla base delle ore di esercizio dell'infrastruttura e sul consumo energetico previsto. Il fine vita è stato escluso dal calcolo ed il riferimento alle fasi d'uso si trova nel paragrafo 2.1.2.

2.2 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 (*GreenHouse Gases* – gas ad effetto serra) in relazione al ciclo di vita previsto per il Sistema in analisi.

² <https://app.electricitymaps.com/map> da fonti dati: https://github.com/electricitymaps/electricitymaps-contrib/blob/master/DATA_SOURCES.md

2.2.1 Raccolta Dati

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*
- e) *Esercizio*

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. Si tratta di un impianto funiviario tipico e dotato delle migliori tecnologie ad oggi presenti sul mercato.

Parte Non Funiviaria

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

Consumo di energia elettrica dovuto al funzionamento dell'opera

Il consumo di energia elettrica in fase di esercizio fa riferimento ai dati riportati nella tabella seguente che 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.

Tabella 2 – Consumi di energia dell'impianto in esercizio

Tratta	kWh a regime	Ore/giorno di funzionamento	Giornate / anno	kWh / anno³
<i>Opicina - Bovedo</i>	<i>600</i>	<i>14,5</i>	<i>322</i>	<i>2.241.120</i>
<i>Bovedo - Trieste</i>	<i>470</i>	<i>14,5</i>	<i>322</i>	<i>1.755.544</i>

La Tabella 3, infine, riassume le tipologie di dati utilizzati con le relative quantità (anche rapportate all'unità dichiarata in precedenza – passeggeri x km annui). In accordo al confine temporale dei dati,

³ Comprensivo di un coefficiente correttivo dell'80% sui consumi (ipotizzandolo come consumo medio rispetto alle esigenze di picco).

tutte le quantità di materiale da costruzione fanno riferimento alla singola fornitura, ma sono riportate al singolo anno tipo di utilizzo sull'intero ciclo di vita dell'infrastruttura (40 anni). Si riporta pertanto anche la distinzione tra Quantità di materiale e Quantità per anno tipo. I consumi energetici sono invece già riferiti al singolo anno di esercizio dell'infrastruttura.

Tabella 3 – Dati rapportati all'Unità Dichiarata.

Tipologia	Udm	Quantità	Quantità/anno tipo	Quantità / Unità Dichiarata
<i>Acciaio riciclato per carpenteria</i>	<i>Kg</i>	<i>517.935</i>	<i>12.948</i>	<i>9,39 * 10⁻⁴</i>
<i>Acciaio riciclato in barre</i>	<i>Kg</i>	<i>152.402</i>	<i>3.810</i>	<i>2,76 * 10⁻⁴</i>
<i>Calcestruzzo</i>	<i>m³</i>	<i>29.623</i>	<i>741</i>	<i>5,37 * 10⁻⁵</i>
<i>Consumo Energetico Fase d'Uso (tratta Opicina - Bovedo)</i>	<i>kWh/anno</i>	<i>2.241.120</i>	<i>2.241.120</i>	<i>0,56</i>
<i>Consumo Energetico Fase d'Uso (tratta Bovedo - Trieste)</i>	<i>kWh/anno</i>	<i>1.755.544</i>	<i>1.755.544</i>	<i>0,18</i>

2.2.2 Validazione dei Dati

I dati riferiti al Sistema in analisi sono stati analizzati anche dal punto di vista dei margini di incertezza ed operatività; in particolare è stata condotta una analisi di sensitività su alcuni parametri (giornate/anno di funzionamento dell'impianto, che sono funzione dei consumi energetici), e sulle stime di valutazione dei GWP forniti dai produttori. Le analisi di sensitività sui parametri sono presentate nel paragrafo 2.4.1.

2.2.3 Procedure di Allocazione

Nel presente studio non vi sono procedure di allocazione.

2.2.4 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. La vita utile dell'opera è stata fissata a 40 anni da specifiche progettuali (ricavabili dal Progetto di Fattibilità Tecnico Economica).

2.3 Valutazione dell'Impatto per la CFP (LCIA)

Nella seguente sezione viene quindi calcolato l'impatto per la CFP, moltiplicando le quantità dell'inventario (Paragrafo 2.2) per i sistemi di prodotti per gli opportuni coefficienti di emissione (Paragrafo 2.1.4). La CFP totale è la somma di questi impatti calcolati a livello base. Nella seguente sezione si farà riferimento, inoltre, ai margini di incertezza dei dati al fine di fornire una valutazione del valore di CFP atteso associato ad un limite inferiore e superiore. Nelle seguenti analisi vengono utilizzati i valori di GWP (*Global Warming Potential*) proposti da IPCC nei 100 anni. Si tratta di uno studio CFP che considera solo la categoria di impatto afferente al cambiamento climatico. I risultati relativi alla CFP emessa (con i margini di incertezza) sono presentati alla fine del paragrafo.

CO₂e fossile e biogenica

Per gli impianti funiviari il risultato per la sola produzione e installazione (inclusi i basamenti in c.a.) è di 5.040 tonnellate di CO₂e. Di questo valore il potenziale di riciclaggio ammonta a 1.880 tonnellate di CO₂e. 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 CO₂e. Per la realizzazione dell'intero intervento la somma porta ad una stima di 13.964 tonnellate di CO₂e totali, e di 349 tonnellate di CO₂e nell'anno di esercizio tipo.

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.

Tabella 4 – Emissioni di CO₂ equivalenti dovute all'esercizio della Cabinovia

Tratta	kWh a regime	Ore/giorno di funzionamento	Giornate / anno	kWh / anno⁴	Emissione (tonn CO₂e / anno)
<i>Opicina - Bovedo</i>	600	14,5	322	2.241.120	58
<i>Bovedo - Trieste</i>	470	14,5	322	1.755.544	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 CO₂e / anno equivalenti, come impronta di carbonio dovuta all'esercizio energetico della Cabinovia.

Cambiamento dell'Uso del Suolo

Per quanto riguarda il minore assorbimento di CO₂ arborea dovuta al cambio di uso del suolo per le opere accessorie, si prevede marginalmente l'assettamento del terreno con relativo inerbimento potenziato con specie erbacee autoctone (fiorume dei prati stabili) mantenendo l'invarianza idraulica dei siti in oggetto. Calcolando un potenziale minore assorbimento, si fa riferimento alla superficie dei singoli plinti (circa 3 metri per 3 metri) per il numero di sostegni (circa 17 nel tratto inclinato), così da avere un valore relativo alla superficie verde coperta dall'infrastruttura. Tale valore può essere stimato in circa 153 metri quadrati di minore superficie verde. Tale valore corrisponde ad un mancato assorbimento di circa 12 alberi (considerata una occupazione media di un albero ogni 12 metri quadrati). Effettuando il calcolo sull'assorbimento annuo di CO₂e da parte di un albero tipo del Bosco Bovedo (0,1 tonnellate di CO₂e/anno, fonte Piano per la Qualità dell'Aria della Regione Toscana), si ottiene un mancato assorbimento pari a 1,2 tonnellate di CO₂e. Si può quindi ragionevolmente trascurare il contributo di mancato assorbimento dal calcolo in funzione dell'impatto di tale voce sul totale emissivo.

Emissioni dovute al Trasporto Aereo

Non si valutano come significative le emissioni dovute al trasporto aereo nel caso in oggetto.

La tabella seguente riassume il calcolo della CFP effettuato per il sistema di prodotto in analisi. Sono state riportate le colonne relative ai limiti inferiori e superiori di CFP per le voci esaminate nel

⁴ Comprensivo di un coefficiente correttivo dell'80% sui consumi (ipotizzandolo come consumo medio rispetto alle esigenze di picco).

paragrafo relativo alle analisi di sensitività dei risultati alla variabilità dei dati, aggiornando i valori totali.

Tabella 5 - CFP Totale – Sistema Cabinovia

Specifiche Emissioni	Ciclo di Vita	CFP Totale (tonn CO ₂ e)	CFP anno/tipo (tonn CO ₂ e / anno)		
			Limite inferiore	Valore atteso	Limite superiore
Emissioni di GHG da carbonio fossile e biogenico	Produzione ed Installazione	13.964	314	349	384
	Consumo di Energia in Esercizio	-	93	103	113
Emissioni di GHG a seguito di uso del terreno (dLUC)	Minori assorbimenti dovuti al cambio di uso del suolo per le opere accessorie	Trascurabile			
Emissioni di GHG dagli Aerei	Trasporto Aereo	Non pertinente			
Totale CFP per anno tipo			407	452	497
Totale CFP / Unità Dichiarata			2,95*10⁻⁵	3,28*10⁻⁵	3,60*10⁻⁵

2.4 Interpretazione del Ciclo di Vita

In questa sezione si riportano, secondo la Normativa, l'identificazione delle questioni significative sulla base dei risultati ottenuti, nonché una analisi di incertezza dei dati con valutazione dei limiti inferiori e superiori della CFP in funzione dei margini di variabilità dei dati.

2.4.1 Analisi di Sensitività

Sono state condotte le opportune analisi di sensitività dei dati sui seguenti parametri, come indicato nei risultati in Tabella 5 - CFP Totale – Sistema Cabinovia:

- *Coefficiente emissivo energetico in fase di esercizio;*
- *Margini di incertezza sui dati di GWP dei materiali da costruzione.*

2.4.1.1 Coefficiente emissivo da produzione e generazione di energia elettrica rinnovabile

Nel caso in esame è stato considerato la media dei coefficienti emissivi per produzione di energia rinnovabile⁵, che singolarmente valgono:

- *Fotovoltaico: 45 g CO_{2e} / kWh (media tra le emissioni di Solar PV – rooftop e Solar PV – utility)*
- *Idroelettrico: 24 g CO_{2e} / kWh*
- *Eolico: 11 g CO_{2e} / 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_{2e} / kWh, nell'ipotesi di rifornimento di energia da soli fonti rinnovabili, da specificare nel bando di fornitura dei servizi in fase di gara con richiesta di certificati verdi. Cautelativamente si assume un margine di incertezza sulle emissioni pari al 10% (superiore ed inferiore).

2.4.1.2 Coefficiente emissivo da mix energetico nazionale

Si assume anche, come ipotesi, il valore emissivo del mix energetico nazionale al 2023 (fonte AIB⁶), che per l'Italia assume un fattore emissivo pari a 457,15 g di CO₂ / kWh. Con tale valore emissivo il valore emissivo naturalmente aumenta notevolmente. Si assume tale valore come limite superiore destinato comunque a diminuire alla data di messa in esercizio della Cabinovia, e solo come caso limite di non possesso di certificati verdi.

Tratta	kWh a regime	Ore/giorno di funzionamento	Giornate / anno	kWh / anno⁷	Emissione (tonn CO_{2e} / anno)
<i>Opicina - Bovedo</i>	<i>600</i>	<i>14,5</i>	<i>322</i>	<i>2.241.120</i>	<i>1.024</i>
<i>Bovedo - Trieste</i>	<i>470</i>	<i>14,5</i>	<i>322</i>	<i>1.755.544</i>	<i>802</i>
Totale Emissioni con Mix Energetico Nazionale					1.826

⁵ Schlömer S., T. Bruckner, L. Fulton, E. Hertwich, A. McKinnon, D. Perczyk, J. Roy, R. Schaeffer, R. Sims, P. Smith, and R. Wisser, 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.

⁶ <https://www.aib-net.org/facts/european-residual-mix>

⁷ Comprensivo di un coefficiente correttivo dell'80% sui consumi (ipotizzandolo come consumo medio rispetto alle esigenze di picco).

2.4.1.3 Processi di Produzione ed Installazione

Per quanto riguarda le emissioni da catena di fornitura, si può valutare un livello basso di incertezza per la stima delle emissioni di categorie strategiche, basata sulla media dei dati direttamente ottenuti dai fornitori attraverso certificazioni EPD (*Environmental Product Declaration*) o ISO CFP 14067. Questo dato può essere quantificato in circa il 10% (come limite inferiore e superiore), che media il livello di progettazione attuale (e quindi la mancanza di dati certi sulla quantità di materiali da costruzione) con le specifiche progettuali a base di gara che impongono la ricerca di tecnologie costruttive, materiali e cantierizzazioni sostenibili.

2.4.1.4 Giornate di chiusura dell'Impianto per vento forte

Le giornate di chiusura dell'impianto per vento forte fanno riferimento alle analisi ottenute dai dati storici sul vento registrate da ARPA FVG nelle stazioni del Molo F.lli Bandiera e presso l'Istituto Nautico. L'impianto a fune è progettato per funzionare con vento costante fino alla velocità di 75 km/h. Richiamando gli elaborati progettuali, "[...] *L'interpretazione dei dati ai fini della previsione del numero di giornate di chiusura all'esercizio dell'impianto di collegamento non è univoca per i seguenti motivi:*

- *al verificarsi di una singola raffica di vento di intensità superiore a 75km/h l'impianto rallenta automaticamente ad una velocità molto bassa per poi tornare alla velocità nominale una volta che la velocità del vento è scesa sotto una prefissata soglia;*
- *a determinare la necessità di sospendere l'esercizio dell'impianto non è il verificarsi di poche raffiche di vento di intensità maggiori di 75km/h bensì il persistere di condizioni di vento forte;*
- *le tratte dell'impianto di collegamento non sono esposte in modo uniforme al vento: la tratta "Opicina – Bovedo" risulta più esposta rispetto la tratta "Bovedo – Porto Vecchio – Trieste";*
- *la direzione del vento e le condizioni locali possono diminuire o aumentare gli effetti del vento sullo sbandamento del singolo veicolo.*

Per tutti questi motivi solo con l'esperienza maturata sul singolo impianto a fune è possibile stabilire le reali condizioni oltre le quali l'esercizio deve essere necessariamente sospeso.

Nel caso specifico è possibile affermare quanto segue:

- *durante gli eventi di Bora più intensi l'esercizio dell'impianto dovrà essere sospeso ed i veicoli dovranno essere tolti dalla linea e riposti nei magazzini per tutto l'arco della giornata;*
- *al verificarsi di situazioni di vento forte ma di durata limitata l'esercizio dell'impianto potrebbe essere interrotto solo per alcune ore;*

- al verificarsi di situazioni di vento medio con presenza di poche raffiche sopra i 75km/h l'esercizio dell'impianto potrà proseguire ma potranno verificarsi rallentamenti o fermi impianto della durata di pochi minuti.

Per quanto sopra pare significativo il dato del numero di giornate ventose con raffica massima del vento di velocità superiore ai 90km/h in quanto queste possono rappresentare il numero delle giornate durante le quali il vento di Bora è sicuramente intenso e sufficientemente costante nel tempo da comportare la chiusura al pubblico dell'impianto a fune. [...]”.

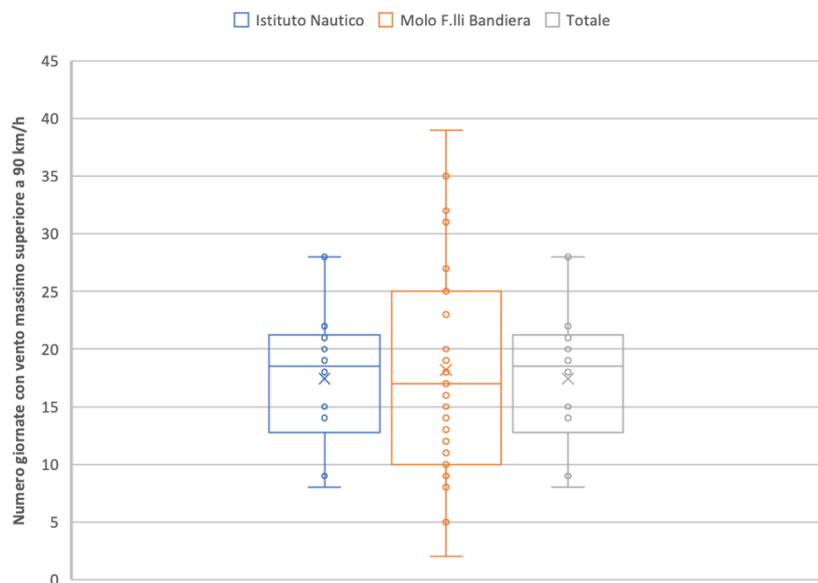


Figura 2 – Andamento delle giornate/anno con vento superiore a 90 km/h nelle due stazioni di rilevamento ed in totale.

Considerato quanto sopra, al fine di stimare la variabilità dei giorni di chiusura dell'impianto per vento forte, sono stati elaborati i dati delle giornate con vento superiore a 90 km/h nelle due stazioni di rilevazione (Figura 2). Il *boxplot* rappresentato mostra come, nel totale delle rilevazioni, il numero medio di giornate all'anno in cui l'impianto potrà essere chiuso è pari a circa 17 (sul totale dei dati). Nonostante la numerosità differente per le due stazioni (il Molo Bandiera registra dati dal 1995 al 2008), il numero medio di giornate con vento forte si mantiene pressoché costante.

Il numero di giornate di chiusura di progetto (43) sono ricavate quindi dal numero totale di giornate con vento forte (stimate a 20) e dalla somma di ulteriori 20/25 giornate in cui l'impianto potrebbe essere chiuso per almeno mezza giornata. Sulla base del *boxplot* precedente, si assume un valore superiore di giornate totali di chiusura pari a 22 (limite del terzo quartile Q3) ed un valore minimo di 13 (limite del primo quartile Q1). Si assumono quindi costanti le restanti 23 giornate di chiusura parziale. Pertanto, assumendo a 322 giornate operative il valore di progetto, tale fattore può essere

ridotto a 320 giornate nel caso del limite inferiore, e 330 nel caso del limite superiore. Tale margine operativo porta, in termini di contributo di energia elettrica, uno scostamento di circa il 10% inferiore e superiore adottato nell'analisi di sensitività sui valori energetici, assumendo ulteriori margini di incertezza cautelativi rispetto a quelli dovuti alle giornate annue di funzionamento.

2.5 Conclusioni

Si evidenzia come il calcolo su alcune fasi di vita dell'opera sia stato semplificato e/o approssimato per il livello di progettazione attuale dell'infrastruttura (Progetto di Fattibilità Tecnico – Economica) che non consente di possedere le esatte quantità di materiali da costruzione investiti nell'opera. Le fasi di progettazione definitiva ed esecutiva vanno comunque nella direzione di ricercare le fonti produttive, energetiche e tecnologiche più sostenibili sul mercato al fine di minimizzare l'impatto ambientale dell'opera civile. Sono state compiute comunque delle analisi di sensitività soprattutto per la parte relativa al consumo energetico da energie rinnovabili che potrebbe essere più o meno impattante a seconda del possesso di certificati verdi da parte dei fornitori dell'energia. Si sottolinea anche come tutti i coefficienti di calcolo siano stati cautelativamente considerati a favore di sicurezza (vicini al limite inferiore di incertezza) proprio a causa delle approssimazioni sui dati e sui processi di alcune fasi di vita dell'opera (Produzione ed installazione, per esempio).

Le limitazioni dello studio fanno riferimento ad uno studio CFP che considera solo la categoria di impatto afferente al cambiamento climatico.

Lo studio non sarà sottoposto a verifica di terze parti.

3 Sistema *Status Quo*

3.1 Sistema di prodotto e funzioni

Il sistema allo studio è rappresentato dall'attuale configurazione viaria ed infrastrutturale della città di Trieste. Il sistema di prodotto è identificato da una serie di processi unitari (vedi paragrafo 3.1.2) che espletano una o più funzioni definite che modellano il ciclo di vita dell'opera.

3.1.1 Unità dichiarata

L'unità dichiarata scelta per il Sistema Cabinovia è il numero di spostamenti annui della popolazione coinvolta (espresso in passeggeri x km). Analogamente a quanto calcolato per il sistema Cabinovia, nel caso in esame il calcolo dell'Unità Dichiarata viene effettuato partendo dal numero di veicoli in circolazione (450 veh/h) dovuti alla non presenza del sistema Cabinovia, considerando un coefficiente di occupazione di 1,3 ed una distanza chilometrica media di 12 km (in accordo a tutte le possibili tratte Origine/Destinazione rispetto alle stazioni della Cabinovia). Rapportando i veicoli al giorno (coefficiente 9) e all'anno (coefficiente 322), si ottiene un valore di 1.304.100 veicoli/anno sulla rete stradale. Rapportandolo ai passeggeri*km, si moltiplica per il coefficiente di occupazione e per la distanza media percorsa, ottenendo un valore di 20.343.960 passeggeri*km/anno.

3.1.2 Confine del sistema

Il confine del sistema è definito (punto 3.1.3.4 della Norma) come il “confine basato su un insieme di criteri che rappresenta quali processi unitari fanno parte del sistema allo studio.” (vedi paragrafo precedente). In questo contesto si fa riferimento al sistema attuale di spostamento e mobilità della Città di Trieste, con riferimento alle origini e destinazioni della mobilità tra le stazioni di progetto della Cabinovia (seppure non presente). I processi per cui si valutano le emissioni di GHG nel sistema in oggetto sono i seguenti:

- a. *Esercizio, traffico veicolare sulle strade a causa del mancato trasferimento modale da mezzo privato a mezzo pubblico (Cabinovia);*
- b. *Esercizio, congestione stradale dovuta al flusso veicolare su alcuni archi stradali (vedi punto a.);*
- c. *Esercizio, manutenzione e durata dei veicoli privati dovuta alle percorrenze dei veicoli;*
- d. *Esercizio, manutenzione delle strade a causa del traffico presente.*

3.1.3 Criteri di esclusione

Nel sistema in oggetto sono state escluse la fasi di costruzione e smaltimento dei mezzi di trasporto in quanto già conteggiate nella parte di esercizio (vedi punto c. del paragrafo precedente).

3.1.4 Dati e qualità dei dati

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

- *Dati Secondari*
 - *Coefficiente di emissione di CO₂e 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);*

I dati di cui sopra sono stati valutati come segue, associandone la fonte, mentre il grado di incertezza dei dati è riportato nella sezione *Interpretazione del Ciclo di Vita* (secondo le indicazioni della Normativa). La tabella successiva riassume i dati utilizzati nella presente sezione.

Tabella 6 – Dati e Qualità dei Dati del Sistema

Tipologia	Unità di Misura	GWP (g CO₂e / unità di misura)	Fonte
<i>Emissione allo scarico</i>	<i>Veicolo/km</i>	163	<i>ISPRA</i>
<i>Coefficiente di passaggio da ora di punta a giorno</i>	-	-	<i>Modello di Traffico</i>
<i>Coefficiente di passaggio da giorno ad anno</i>	-	-	<i>Modello di Traffico e Stime sui giorni di chiusura per vento forte</i>
<i>Spostamento modale privato – pubblico</i>	<i>Veh/ora</i>	-	<i>Modello di Traffico</i>

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 Copert⁸. 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 3 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.

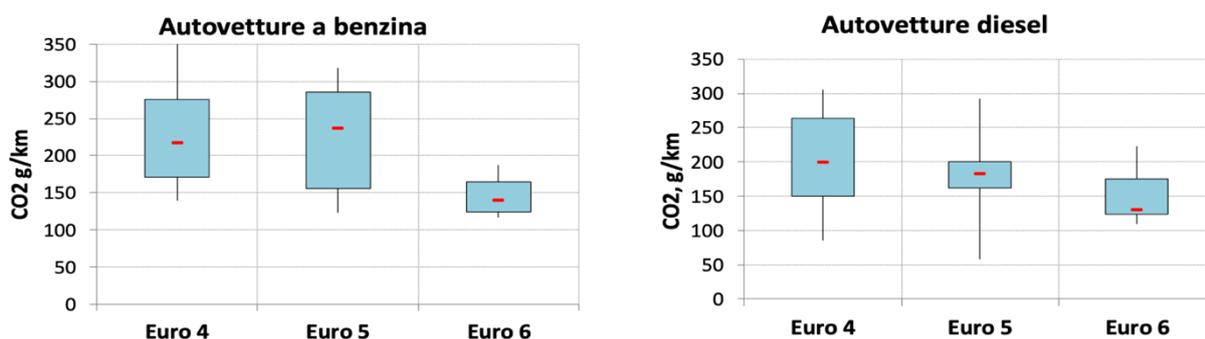


Figura 3 - Emissioni medie da cicli tipici emissivi per veicoli Euro 4, 5 e 6⁹.

⁸ <https://indicatoriambientali.isprambiente.it/> - consultato nel mese di maggio 2023

⁹ 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.

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).¹⁰” Come emerge dalla Figura 4, 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.

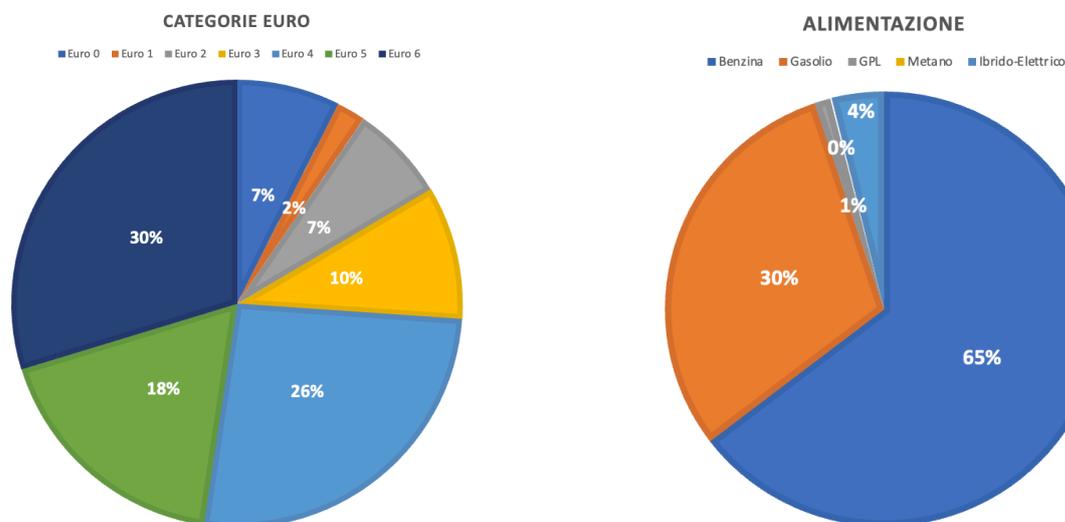


Figura 4 – Parco veicolare a Trieste (2021) – Categorie Euro e Alimentazione

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 3). Per confronto si riportano i valori emissivi al 2021 di alcune altre città del Veneto (non essendo disponibili i dati per altre città della

¹⁰ <https://www.osservatoriopums.it/servizi/parco-auto/#metodo> – consultato nel mese di maggio 2023

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.

3.1.5 Confine temporale dei dati

Il periodo nel quale è rappresentativo il valore quantificato della CFP si inquadra nell'anno tipo all'interno dell'intera vita utile dell'opera (40 anni). Per quanto riguarda i dati secondari, sono state 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.

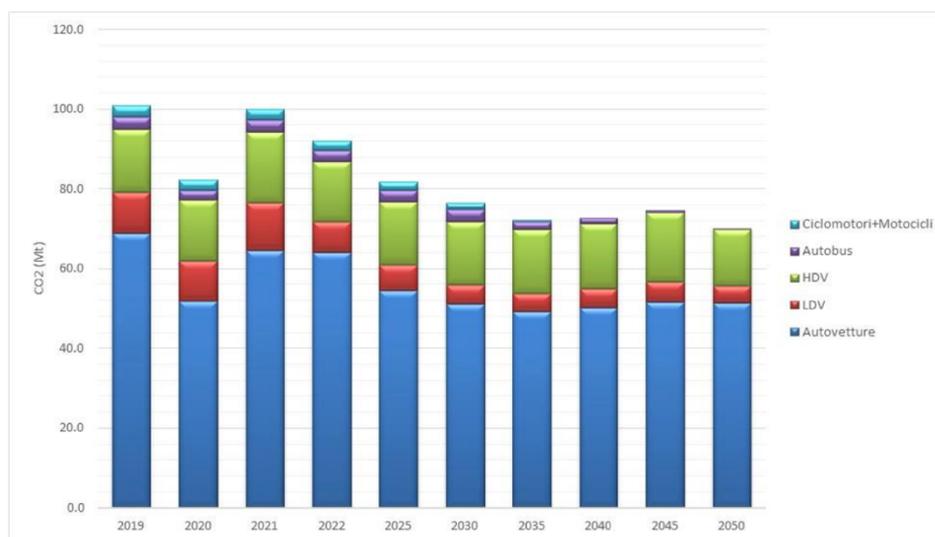


Figura 5 - Emissioni di anidride carbonica per il trasporto su strada distinte per categoria veicolare (Mt CO₂)

Un documento ISPRA¹¹ 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%. [...]”. La Figura 5 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 6 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 5. Associando lo stesso andamento temporale, si ottiene un coefficiente medio di 201 g/km di CO₂ fino al 2050 (orizzonte di 28 anni).

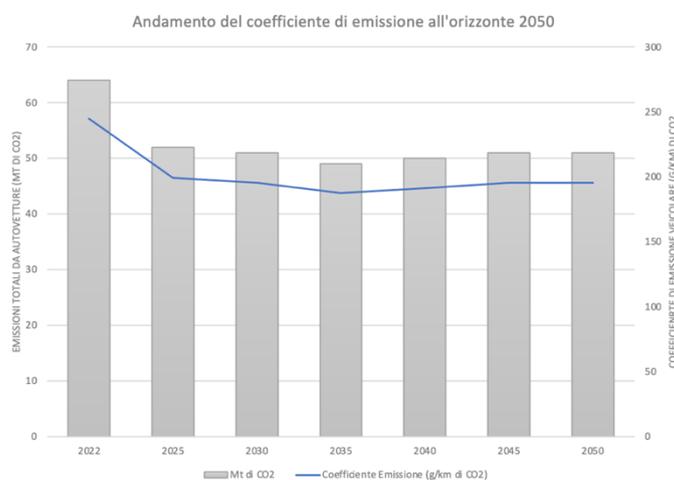


Figura 6 – Andamento del coefficiente di emissione (g/km) per veicolo all’orizzonte 2050

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

¹¹ 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

riduzione, e che la sottostima delle emissioni fino a tale orizzonte temporale possa essere cautelativa sul restante periodo di vita dell'infrastruttura (40 anni).

3.1.6 Assunzioni per la fase di uso e di fine vita

Il sistema in analisi (Status Quo) fa riferimento alle condizioni di mobilità nell'intero ciclo di vita dell'infrastruttura (40 anni) in assenza dell'infrastruttura stessa.

3.2 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 di GHG (*GreenHouse Gases* – gas ad effetto serra) in relazione al ciclo di vita previsto per il Sistema in analisi. Il fine vita è stato escluso dal calcolo ed il riferimento alle fasi d'uso si trova nel paragrafo 3.1.2.

3.2.1 Raccolta dati

La Tabella 3 riassume le tipologie di dati calcolati con le relative quantità e di seguito sono illustrate le metodologie di calcolo dei singoli dati. Le assunzioni in termini di contributo emissivo dovuto alla congestione, alla manutenzione delle strade e alla manutenzione delle automobili non sono state considerate come dati in quanto sono appunto assunzioni modellistiche che faranno riferimento soltanto alla parte dell'impatto per la CFP. In questo caso i dati non sono stati rapportati all'Unità Dichiarata in quanto quest'ultima è stata derivata dal medesimo sistema modellistico, e quindi non avrebbe significato il loro confronto. Si riporterà in seguito il dato sulle emissioni totali per Unità Dichiarata a valle dello studio.

Tabella 7 – Dati del Sistema

Tipologia	Udm	Quantità
<i>Percorrenza su strada</i>	<i>km/anno</i>	<i>15.649.200</i>
<i>Veicoli che impegnano la viabilità stradale</i>	<i>Veh/anno</i>	<i>1.304.100</i>

Traffico indotto su strada

Le percorrenze medie dei veicoli che, in mancanza del progetto, tornerebbero a circolare, sono stati valutate come segue:

- *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 percorrenza media annua delle autovetture privata senza l'intervento di progetto, pertanto, è pari a: $450 \text{ veh/h} * 9 * 12 \text{ km} * 322 = 15.649.200 \text{ km/anno}$.

I veicoli / anno che tornerebbero a percorrere la rete stradale sono quindi $450 \text{ veh/h} * 9 * 322 = 1.304.100 \text{ veh/anno}$.

3.2.2 Validazione dei Dati

I dati riferiti al Sistema in analisi sono stati analizzati anche dal punto di vista dei margini di incertezza ed operatività; in particolare è stata condotta una analisi di sensitività su alcuni parametri (giornate/anno di funzionamento dell'impianto, coefficienti di rapporto tra ora di punta e giorno), e sulle stime di valutazione dei GWP forniti dai produttori. Le analisi di sensitività sui parametri sono presentate nel paragrafo 3.4.1.

3.2.3 Procedure di Allocazione

Nel presente studio non vi sono procedure di allocazione.

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

Al fine di tenere conto dell'effetto dell'esercizio della mobilità nello scenario di analisi, è stato considerato un anno tipo di esercizio dell'opera: nell'anno tipo ricadono le voci del sistema di prodotto "Esercizio", In questo modo l'analisi CFP fa riferimento alla fase di esercizio tipica.

3.3 Valutazione dell'Impatto per la CFP (LCIA)

Nella seguente sezione viene quindi calcolato l'impatto per la CFP, moltiplicando le quantità dell'inventario per i sistemi di prodotti per gli opportuni coefficienti di emissione. La CFP totale è la somma di questi impatti calcolati a livello base. Nella seguente sezione si farà riferimento, inoltre, ai margini di incertezza dei dati al fine di fornire una valutazione del valore di CFP atteso associato ad

un limite inferiore e superiore. Nelle seguenti analisi vengono utilizzati i valori di GWP (*Global Warming Potential*) proposti da IPCC nei 100 anni. Si tratta di uno studio CFP che considera solo la categoria di impatto afferente al cambiamento climatico. I risultati relativi alla CFP emessa (con i margini di incertezza) sono presentati alla fine del paragrafo.

In accordo con le ipotesi di restituzione dei valori di CFP secondo la Norma, sono stati aggregati in emissione di CO₂e fossile e biogenica tutti i contributi emissivi dovuti al traffico veicolare, alla manutenzione delle strade e alla manutenzione dei veicoli, che si riferiscono alle seguenti voci.

CO₂e fossile e biogenica

Traffico indotto su strada per l'utilizzo dell'opera

Il calcolo dell'emissione annuale di CO₂e dovuto al trasferimento modale mezzo privato a motore – Cabinovia viene effettuato attraverso la formulazione, partendo dalle percorrenze giornaliere dei veicoli:

$$\text{Emissione Inquinante (kg/anno)} = (48.600 \text{ km/giorno}) \times (163 \text{ g/km}) \times (322 \text{ giorni}) / 1000$$

e si traduce quindi in circa 2.551 tonnellate/anno di CO₂e rilasciate in atmosfera.

Congestione su strada

I veicoli che percorrono la rete stradale sono condizionati dalle condizioni di deflusso del traffico in termini di emissione allo scarico. 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 intersezioni¹²; è stata dimostrata inoltre la relazione tra aumento di emissione e la transizione all'interno di fenomeni di *stop and go*¹³, 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 emissioni inquinanti in atmosfera¹⁴. Al fine di valutare in

¹² 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.

¹³ 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.

¹⁴ 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.

modo quantitativo il beneficio indiretto sull'ambiente, si fa riferimento ad uno studio¹⁵ che ha analizzato le dinamiche di traffico ed i coefficienti di emissione di inquinanti in atmosfera in situazioni di saturazione.

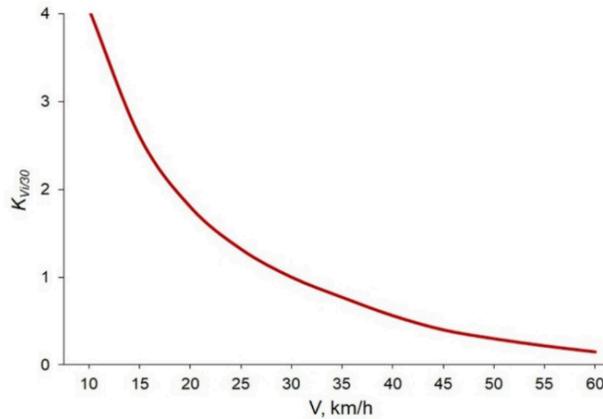
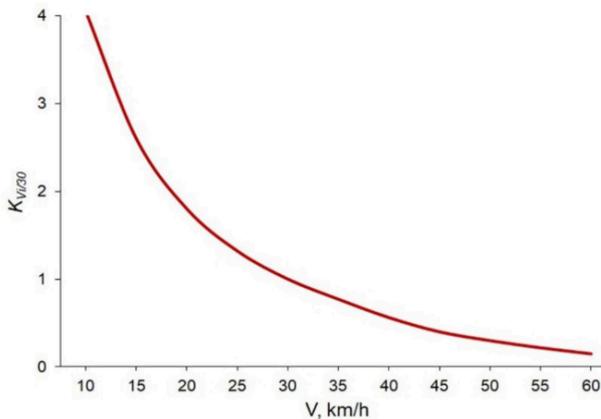


Figura 7 – Comparazione del coefficiente di emissione K base a 30 km/h in funzione della velocità

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 7). È stato quindi calibrato un modello di traffico di Greenshields¹⁶ (Figura 8) 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

¹⁵ 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.

¹⁶ BD Greenshields – *A study of traffic capacity* - Highway research board proceedings (1935).

meno, da 30 km/h si passa ad una velocità di circa 50 km/h. In questo senso si ha un peggioramento in termini di emissioni dovute all'aumento della congestione stradale nel Sistema *Status Quo*. Il totale delle emissioni dovute alla congestione si attesta quindi a circa 341 tonnellate di CO₂ / anno.

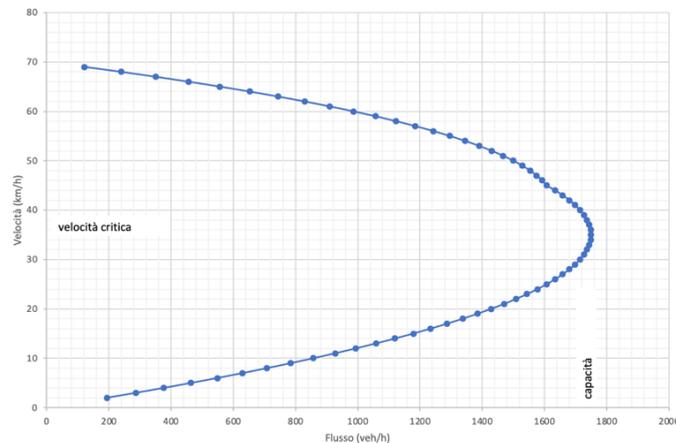


Figura 8 – Modello di Greenshields

Manutenzione stradale

È stata stimata la produzione di Carbon Footprint dovuta al ciclo di manutenzione delle strade. Ci si è affidati ad uno studio¹⁷ che computa le quote parte della costruzione e della manutenzione delle infrastrutture nel calcolo della quantità di CO₂e/anno prodotta dal trasporto e dalla posa di una pavimentazione stradale tipica.

¹⁷ 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.

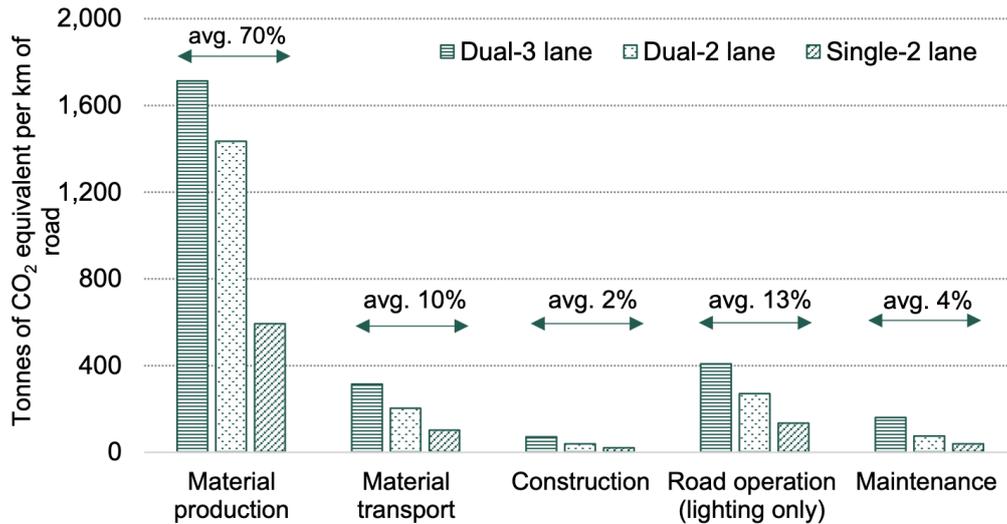


Figura 9 – Ciclo di emissione di Carbonio per diverse configurazioni stradali – cit. Lokesh et al.

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 ton/CO₂e/km di strada l'unità di emissione della manutenzione. Valutando l'estensione della rete stradale oggetto di passaggio 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 interessata dal traffico veicolare.

Dalle ipotesi di cui sopra si ottiene una emissione di 35 tonn CO₂e per 20 km, pari a circa 700 tonnCO₂e ogni 5 anni, e quindi di 5.600 tonnCO₂e sui 40 anni di vita utile della Cabinovia. Il contributo emissivo dovuto al ciclo di manutenzione su alcuni assi stradali si valuta quindi nel 10% del totale, pari a circa 560 tonnCO₂e totali, e di 14 tonnCO₂e nell'anno tipo.

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, ecc¹⁸. Da computare quindi è l'ammontare del contributo dovuto alla manutenzione e alla necessità di cambio veicolo sul lungo periodo grazie alle percorrenze su strada. In generale, le fonti dati¹⁸ 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

¹⁸ 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.

carburante e manutenzione è la seguente: Produzione circa 20%, emissioni 65%, riciclo 1%, filiera carburante 11% e manutenzione 3%.

L'utilizzo dell'automobile si riflette, per una quota parte definita, su tutto il ciclo produttivo dell'automobile, che va dalla produzione, alla filiera del carburante ed alla manutenzione. La quota di CO₂e risparmiata fa proprio riferimento al risparmio di una "piccola" quota della filiera produttiva dell'auto che, rapportata al totale del chilometraggio annuale risparmiato da tutte le auto coinvolte nell'interscambio modale, ha contributi significativi.

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 percorrenze dei veicoli che utilizzano i parcheggi di scambio della Cabinovia.

Valutando le emissioni sulle percorrenze dei veicoli viste in precedenza (2.551 tonnellate di CO₂ / anno in meno), sulle stesse percorrenze la quota aggiuntiva (35%) dovuta alla manutenzione, consumo di carburante e oneri su tutto il ciclo produttivo dell'automobile è stata valutata in circa 1.373 tonnellate/anno di CO₂e 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 CO₂e 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.

Cambiamento dell'Uso del Suolo

Non si valutano cambiamenti dell'uso del suolo per il sistema in analisi.

Emissioni dovute al Trasporto Aereo

Non si valutano come significative le emissioni dovute al trasporto aereo nel caso in oggetto.

La tabella seguente riassume il calcolo della CFP effettuato per il sistema di prodotto in analisi. Sono state riportate le colonne relative ai limiti inferiori e superiori di CFP per le voci esaminate nel paragrafo relativo alle analisi di sensitività dei dati, attualizzando i valori totali.

Tabella 8 – CFP Totale – Sistema Status Quo

Specifiche Emissioni	Ciclo di Vita	CFP Totale (tonn CO ₂ e)	CFP anno/tipo (tonn CO ₂ e / anno)		
			Limite inferiore	Valore atteso	Limite superiore
Emissioni di GHG da carbonio fossile e biogenico	Minore traffico indotto su strada per l'utilizzo dell'opera	-	2.084	2.551	3.940
	Minore congestione	-	281	341	419
	Minore manutenzione stradale	-	14	14	14
	Minore manutenzione dei veicoli a motore privati e riduzione del ciclo produttivo	-	1.122	1.373	2.121
Emissioni di GHG a seguito di uso del terreno (dLUC)	Minori assorbimenti dovuti al cambio di uso del suolo per le opere accessorie	Non pertinente			
Emissioni di GHG dagli Aerei	Trasporto Aereo	Non pertinente			
Totale CFP per anno tipo			3.501	4.279	6.494
CFP / Unità Dichiarata			1,72*10⁻⁴	2,1*10⁻⁴	3,1*10⁻⁴

3.4 Interpretazione del Ciclo di Vita

In questa sezione si riportano, secondo la Normativa, l'identificazione delle questioni significative sulla base dei risultati ottenuti, nonché una analisi di incertezza e sensitività dei dati con valutazione dei limiti inferiori e superiori della CFP in funzione dei margini di variabilità dei dati.

3.4.1 Analisi di Sensitività

Sono state condotte le opportune analisi di sensitività dei dati sui seguenti parametri, come indicato nei risultati in Tabella 8 – CFP Totale – Sistema Status Quo:

- *Coefficiente di rapporto tra ora di punta e giorno;*
- *Coefficiente di rapporto tra ora di punta e anno;*
- *Coefficiente di emissione di CO₂ veicolare;*
- *Approssimazione dovute ai modelli di traffico.*

Si illustrano le principali fonti dati con i relativi margini di approssimazione e di incertezza; da tali dati derivano quindi i calcoli della CFP totali secondo le indicazioni della Normativa.

3.4.1.1 Coefficiente di rapporto tra ora di punta e TGM

Tale coefficiente è stato assunto pari a 9, in relazione alla campagna dati sulle 24 ore effettuata nel 2019 nell'ambito del PUMS a Trieste; è stato assunto come valore cautelativo in quanto, come si nota nel *boxplot* della figura seguente, rappresenta il limite inferiore del primo quartile (Q1) dei dati. In questo caso il rapporto è stato calcolato tra il traffico veicolare nell'ora di punta (7:30 - 8:30) rapportato al totale del traffico veicolare nella sola fascia oraria di funzionamento della Cabinovia (07:00 – 21:00). Come limite massimo relativo alla variabilità dei dati si può assumere il valore medio dell'insieme dei dati, pari a circa 11. Tale valore è coerente anche con le analisi relative al coefficiente di passaggio da Passeggeri del TPL / giorno a quelli dell'ora di punta fornito dall'Azienda di Trasporto (si veda l'Allegato 1), che assume un valore pari a circa 11.

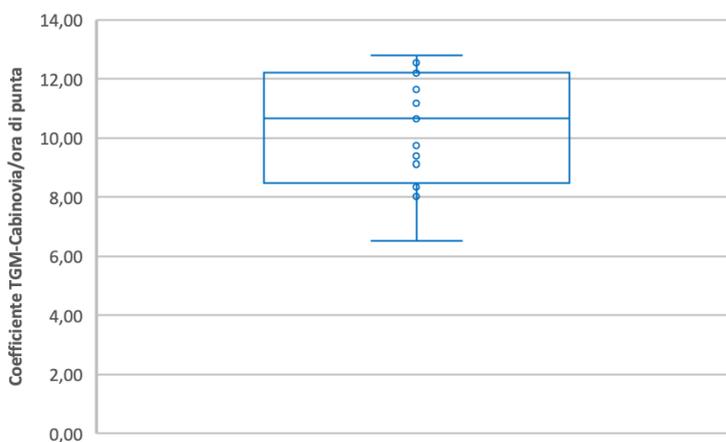


Figura 10 – Distribuzione dei coefficienti di rapporto tra TGM (fascia di esercizio della Cabinovia) e traffico nell'ora di punta per le sezioni di rilievo.

3.4.1.2 Approssimazioni del Modello di Traffico

Il traffico dell'ora di punta ed il numero di veicoli sottratti alla strada grazie al trasferimento modale tra mezzo privato e Cabinovia deriva da una procedura di calibrazione di un modello di traffico e di un modello statistico LOGIT. Entrambi i modelli sono stati calibrati con buone approssimazioni (Figura 11) e consentono di approssimare in maniera ottima i reali flussi veicolari sulla rete e la scelta modale attuale tra mezzo privato e mezzo pubblico.

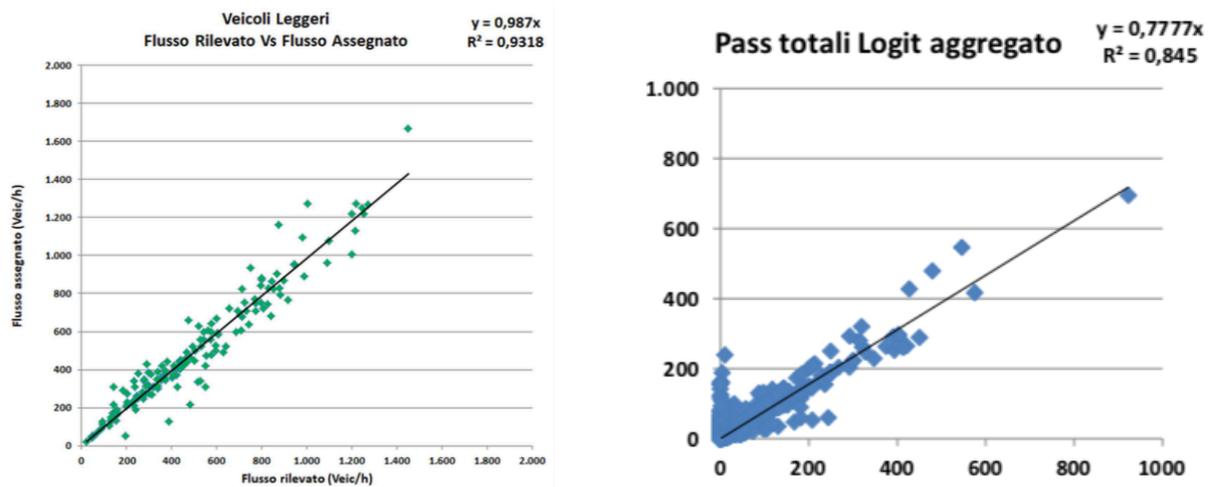


Figura 11 – Calibrazioni del modello di traffico

Considerato che l'andamento del coefficiente del rapporto tra ora di punta e giorno è risultato essere notevolmente a favore di sicurezza, avendo un limite superiore pari a 11 su un valore atteso pari a 9, si considerano trascurabili le approssimazioni del modello nel calcolo finale della CFP dovuta al volume di traffico ridotto su strada, che valuta soltanto i flussi nell'ora di punta che vanno poi rapportati prima al giorno e poi all'anno con dei coefficienti che hanno dei margini di approssimazione molto maggiori.

3.4.1.3 Coefficiente di emissione veicolare di CO₂e

Per il calcolo dei margini di incertezza del fattore di emissione veicolare si fa riferimento all'andamento dei dati di Figura 5; si è visto come l'andamento delle emissioni fino al 2050 risulta pressoché costante, con dei valori base attuali di emissione pari a circa 245 g di CO₂e/km (calcolati sul parco veicolare attuale del Comune di Trieste). Assumendo come base il valore di 163 g di CO₂e /km utilizzato e giustificato nell'Allegato 3, si assume come limite inferiore il dato medio tendenziale (Figura 6) avente come base i 163 g di CO₂e/km al 2022, che risulta pari a circa 134 g di CO₂e/km. Analogamente, per il limite superiore, si assume il dato medio di 201 g di CO₂e/km ricavato con la medesima metodologia, assumendo come base il dato attuale emissivo di 245 g di CO₂e/km (Figura 14).

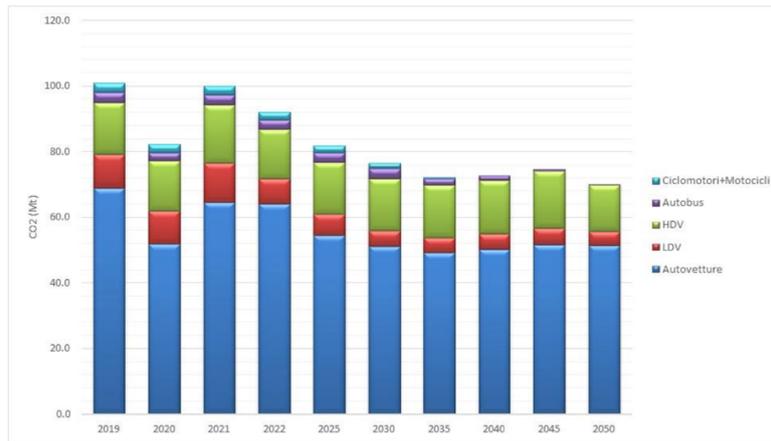


Figura 12 - Emissioni di anidride carbonica per il trasporto su strada distinte per categoria veicolare (Mt CO₂)

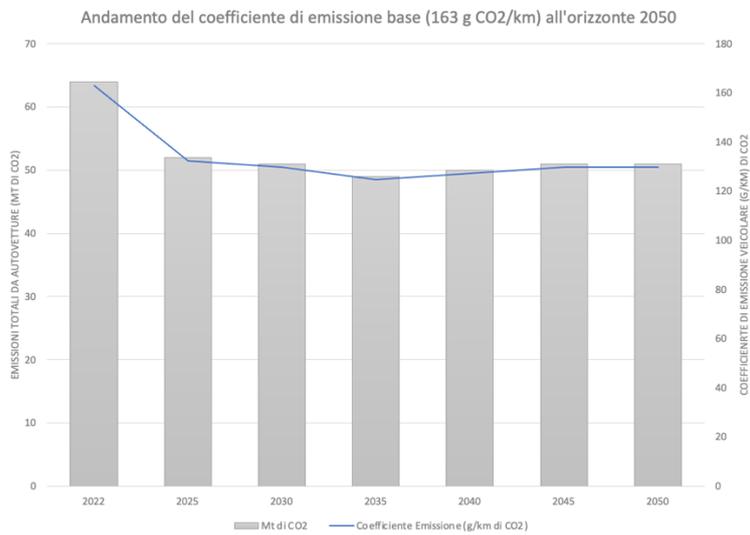


Figura 13 – Andamento del coefficiente di emissione base (g/km) per veicolo all'orizzonte 2050

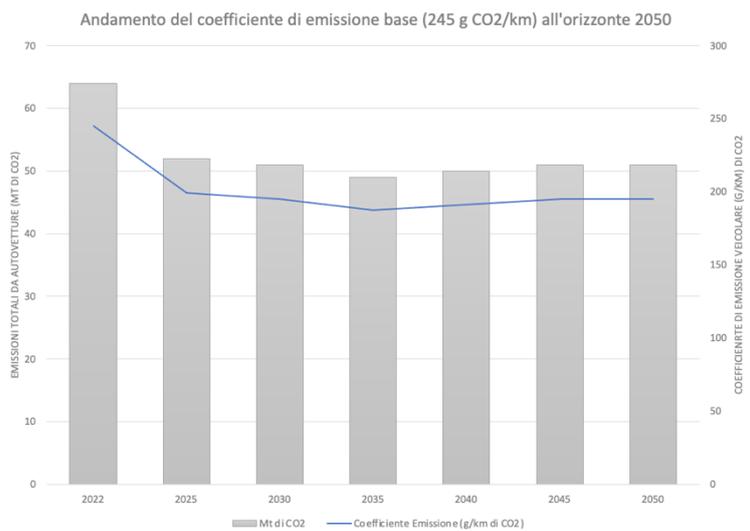


Figura 14 - Andamento del coefficiente di emissione attuale (g/km) per veicolo all'orizzonte 2050

Per quanto riguarda la componente di inquinante rilasciata dai fenomeni di congestione, l'analisi è stata condotta in relazione all'andamento del coefficiente di emissione $K(v)$ in funzione della velocità, modulando il coefficiente di emissione al limite inferiore e superiore in funzione della velocità dovuta alla congestione, ottenendo la quantità di CO₂e rilasciata in atmosfera; i limiti inferiori e superiori sono pertanto già calcolati con i dati di ingresso dei coefficienti di cui sopra.

3.4.1.4 Dati relativi alle emissioni dovute alla manutenzione dei veicoli

I valori relativi alle incertezze del rapporto tra TGM e traffico dell'ora di punta, il numero di giornate di chiusura annuali dell'impianto e il coefficiente di emissione veicolare di CO₂e determinano la variabilità dei valori di CO₂e risparmiati dovuti al traffico veicolare. I limiti inferiori e superiori dei valori di emissioni dovute alla minore manutenzione dei veicoli a motore si assumono con andamento analogo a quello della riduzione di emissione totale di CO₂e dovuta al traffico veicolare, da cui derivano in modo direttamente proporzionale.

3.4.1.5 Dati relativi alla manutenzione stradale

Per quanto riguarda la manutenzione stradale, considerando il valore già quasi trascurabile rispetto alle altre componenti di emissioni inquinanti, si considera costante in quanto dipende soltanto dalla quantità di veicoli sottratti dalla strada.

3.5 Conclusioni

Si evidenzia come il calcolo del sistema *Status Quo* sia stato condotto soprattutto con una fase modellistica, valutando limiti e incertezze sia del modello che dei parametri utilizzati nel rapportare le analisi dall'ora di punta all'anno. Tutti i coefficienti di calcolo sono stati cautelativamente considerati a favore di sicurezza (vicini al limite inferiore di incertezza) per valutare gli impatti del traffico nelle condizioni più sfavorevoli.

In generale si nota come l'impatto del Sistema *Status Quo* abbia ampi margini di variabilità dovuti soprattutto alla variabilità dei coefficienti di emissione veicolare, da cui dipendono gran parte delle altre componenti emissive calcolate. Le assunzioni relative al parametro delle emissioni veicolari allo scarico hanno comunque dimostrato come il valore di riferimento sia effettivamente quello più probabile in uno scenario in cui il parco veicolare del Comune di Trieste sia molto vetusto e soggetto ad un ricambio molto lento.

Lo studio non sarà sottoposto a verifica di terze parti.