



Fabio Lamanna

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

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

Rapporto sull'Incertezza dei Dati

Data 29 giugno 2023

INDICE

1	INCERTEZZA DEI DATI.....	3
1.1	COEFFICIENTE DI RAPPORTO TRA ORA DI PUNTA E TGM.....	3
1.2	APPROSSIMAZIONI DEL MODELLO DI TRAFFICO	4
1.3	GIORNATE DI CHIUSURA DELL'IMPIANTO PER VENTO FORTE	4
1.4	COEFFICIENTE DI EMISSIONE VEICOLARE DI CO ₂	6
1.5	COEFFICIENTE EMISSIVO DA PRODUZIONE E GENERAZIONE DI ENERGIA ELETTRICA RINNOVABILE	8
1.6	DATI RELATIVI ALLE EMISSIONI DOVUTE ALLA MANUTENZIONE DEI VEICOLI E ALLA MANUTENZIONE STRADALE	8
1.7	PROCESSI DI PRODUZIONE ED INSTALLAZIONE.....	9
1.8	CFP TOTALE	9

1 INCERTEZZA DEI DATI

Il presente documento integra l'Allegato 3 con le ipotesi e le valutazioni sull'Incertezza dei Dati per il calcolo della CFP. Di seguito quindi si illustrano le principali fonti dati con i relativi margini di approssimazione e di incertezza; da tali dati derivano quindi i calcoli della CFP secondo le indicazioni fornite nell'Allegato 3.

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.

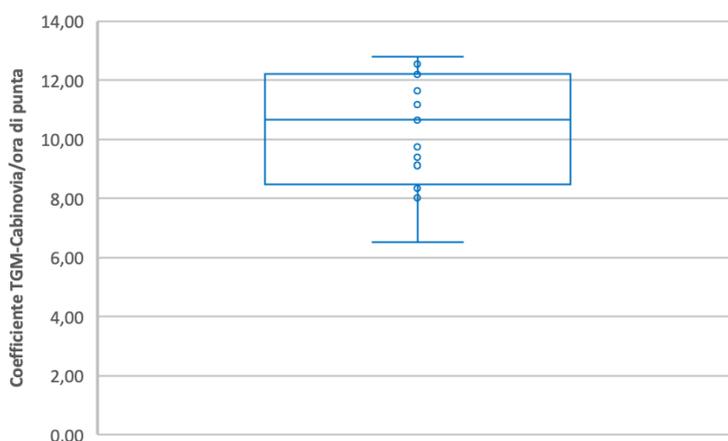


Figura 1 – Distribuzione dei coefficienti di rapporto tra TGM (fascia di esercizio della Cabinovia) e traffico nell'ora di punta per le sezioni di rilievo.

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 2) e consentono di approssimare in maniera ottima i reali flussi veicolari sulla rete e la scelta modale attuale tra mezzo privato e mezzo pubblico.

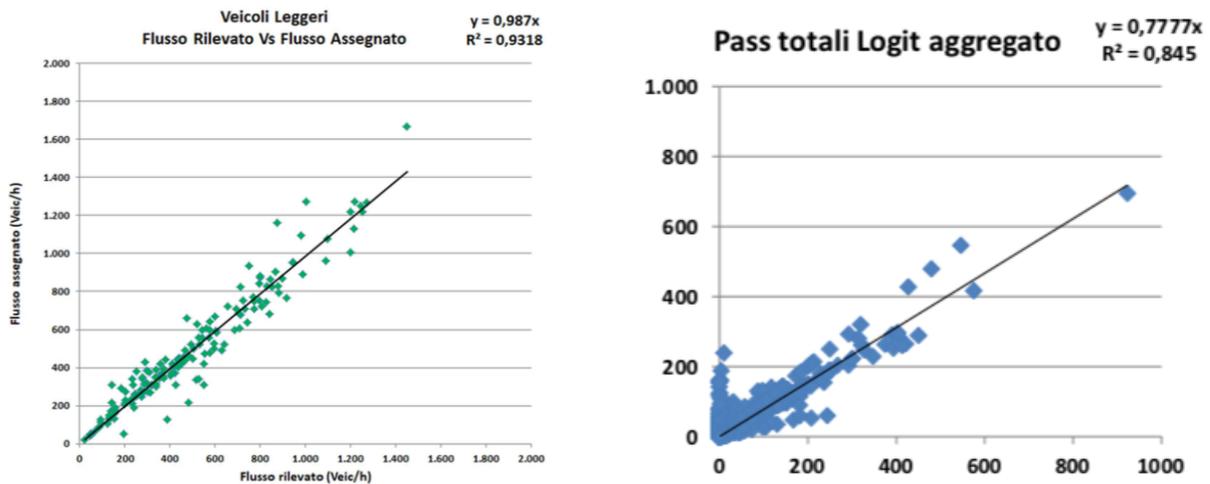


Figura 2 – Calibrazioni del modello di traffico

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.

1.3 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. [...]"

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 3). 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.

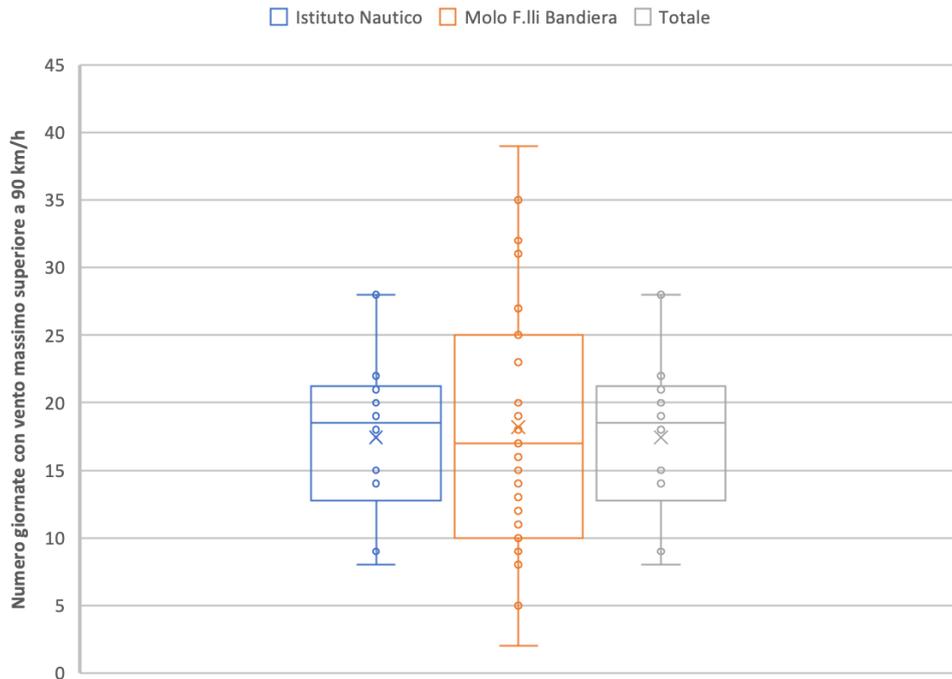


Figura 3 – Andamento delle giornate/anno con vento superiore a 90 km/h nelle due stazioni di rilevamento ed in totale.

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.

1.4 Coefficiente di emissione veicolare di CO₂

Per il calcolo dei margini di incertezza del fattore di emissione veicolare si fa riferimento all'andamento dei dati di Figura 4; 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 CO₂/km (calcolati sul parco veicolare attuale del Comune di Trieste). Assumendo come base il valore di 163 g di CO₂/km utilizzato e giustificato nell'Allegato 3, si assume come limite inferiore il dato medio tendenziale (Figura 5) avente come base i 163 g di CO₂/km al 2022, che risulta pari a circa 134 g di CO₂/km. Analogamente, per il limite superiore, si assume il dato medio di 201 g di CO₂/km ricavato con la medesima metodologia, assumendo come base il dato attuale emissivo di 245 g di CO₂/km (Figura 6).

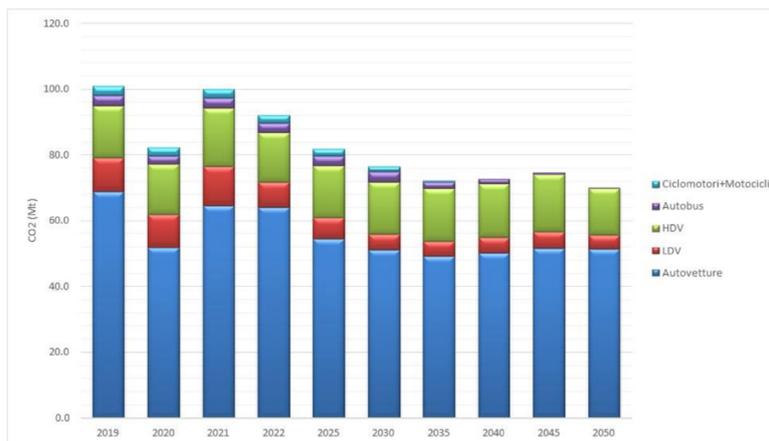


Figura 4 - Emissioni di anidride carbonica per il trasporto su strada distinte per categoria veicolare (Mt CO₂)

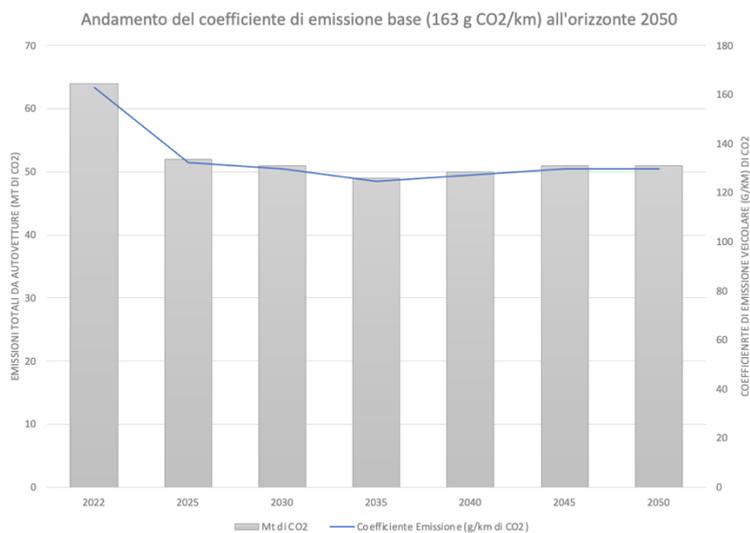


Figura 5 – Andamento del coefficiente di emissione base (g/km) per veicolo all'orizzonte 2050

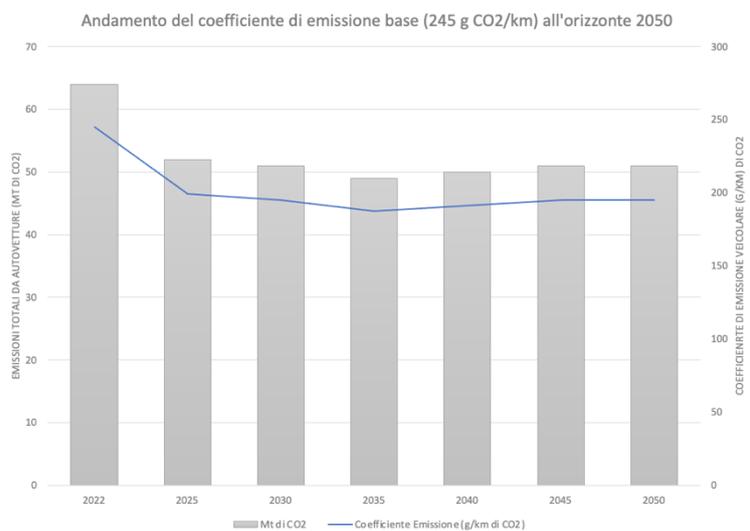


Figura 6 - Andamento del coefficiente di emissione attuale (g/km) per veicolo all'orizzonte 2050

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 CO₂ rilasciata in atmosfera; i limiti inferiori e superiori sono pertanto già calcolati con i dati di ingresso dei coefficienti di cui sopra.

1.5 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 rinnovabile¹, 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. Cautelativamente si assume un margine di incertezza sulle emissioni pari al 10% (superiore ed inferiore).

1.6 Dati relativi alle emissioni dovute alla manutenzione dei veicoli e alla manutenzione stradale

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 CO₂ determinano la variabilità dei valori di CO₂ risparmiati grazie alla diminuzione del 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 CO₂ dovuta al traffico veicolare, da cui derivano in modo direttamente proporzionale.

¹ Schlömer S., T. Bruckner, L. Fulton, E. Hertwich, A. McKinnon, D. Perczyk, J. Roy, R. Schaeffer, R. Sims, P. Smith, and R. Wisner, 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.

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.

1.7 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.

1.8 CFP Totale

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

Come si nota, il limite inferiore dei dati supera le 3.000 tonnellate annue di CO₂ non emesse in atmosfera ed è in linea con il valore atteso. Per le ipotesi di calcolo progettuali e per quanto visto in precedenza, il limite superiore dei dati è relativamente alto, proprio grazie al fatto che, considerata l'incertezza dei dati ed il livello di progettazione non ancora esecutivo dell'opera, sono state assunte molte ipotesi cautelative sulle emissioni inquinanti.

Sistema di Prodotto	Processi Unitari	CFP Totale (tonn CO _{2eq})	CFP anno/tipo (tonn CO _{2eq} / anno)		
			Limite inferiore	Valore atteso	Limite superiore
Produzione e Installazione	Reperimento della materia prima	13.964	314	349	384
	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	-	93	103	113
	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
	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			-3.094	-3.827	-5.997