



Studio del parco circolante sull'autostrada A22 e dei fattori di emissione

Anno 2019





Indice

.....	2
Sommario.....	3
1. Metodologia e basi dati utilizzate.....	4
1.1. Procedura COPERT V per il calcolo delle emissioni ed applicazione per il caso di interesse.....	4
1.2. Database sistema di esazione A22.....	7
a. Classificazione dei veicoli in macroclassi.....	7
b. Classificazione dei veicoli in classi EURO e tipologia di alimentazione.....	9
c. Analisi aggiuntive: approfondimento sulla classe Euro dei mezzi pesanti.....	13
2. Calcolo delle emissioni.....	17



Sommario

Questo documento presenta i risultati di analisi realizzate nell'ambito del progetto LIFE "BrennerLEC", che sta sperimentando sull'autostrada A22 un concetto avanzato di gestione dei flussi di traffico basato essenzialmente sull'applicazione dei limiti dinamici di velocità e finalizzato alla riduzione delle emissioni.

In particolare sono riportate le analisi effettuate sul parco macchine circolante sull'autostrada del Brennero e le operazioni e procedure adottate per il calcolo delle emissioni da traffico per l'asse autostradale. Si tratta dell'aggiornamento del calcolo già effettuato nel 2018 sulla base dei dati del 2017 e presentato nel precedente report "Studio del parco circolante sull'autostrada A22 e calcolo delle emissioni prodotte". Nel presente documento vengono presentati i risultati delle analisi effettuate sulla base dei dati del 2018. Anche in questo caso le analisi sono state effettuate grazie al reperimento di dati misurati specifici relativi all'autostrada in oggetto: un database ricavato dal sistema di esazione del gestore dell'infrastruttura (che registra targhe, classe di pedaggio, nazionalità, casello di entrata e casello di uscita dei veicoli) e un database ricavato dalla raccolta di dati misurati da spire a induzione magnetica disposte lungo l'asse autostradale (che registrano velocità istantanea e tipologia dei veicoli).

L'opportuno accoppiamento di tali dati ha consentito di impostare un sistema di calcolo delle emissioni da traffico ad hoc per l'asse stradale considerato, utilizzando il modello COPERT V. Tale sistema di calcolo consente anche di valutare come le emissioni varino al variare della velocità a seguito dell'applicazione di limiti dinamici, prevista dal progetto.

La metodologia di analisi così come il presente report è stato sviluppato dalla società CISMA, che si è avvalsa del prezioso aiuto di A22 per quello che riguarda la messa a disposizione delle basi dati e degli altri partner del progetto BrennerLEC per quello che riguarda il raffinamento e la finalizzazione della metodologia elaborata.



1. Metodologia e basi dati utilizzate

L'obiettivo dello studio illustrato in questo report è quello di aggiornare la stima dei fattori di emissione di CO₂ e NO_x prodotte sulle tratte sperimentali del progetto BrennerLEC, sulla base dell'evoluzione del parco macchine circolante. Tale stima viene calcolata a partire da parametri trasportistici misurati (numero di veicoli, tipo di veicoli, velocità).

1.1. Procedura COPERT V per il calcolo delle emissioni ed applicazione per il caso di interesse

Di seguito si riporta la descrizione del funzionamento dell'algoritmo COPERT V, utilizzato per calcolare per ogni segmento di strada l'emissione di NO_x e CO₂ tenendo conto dei veicoli transitanti e della variazione temporale. L'algoritmo segue il metodo COPERT, che attualmente è uno standard europeo "de facto" per il calcolo delle emissioni del trasporto su strada ^(1,2). Questo algoritmo si basa su una metodologia che consiste nel calcolare l'emissione in funzione della velocità del veicolo, a seconda del tipo di motore e della classe del veicolo (categoria veicolo, carburante utilizzato, dimensioni del motore, classe EURO). La metodologia COPERT è anche suggerita nelle linee guida europee "Guida EMEP" per il calcolo delle emissioni ⁽³⁾.

I fattori di emissione sono calcolati sulla base della seguente formula, per ciascun inquinante considerato e per ciascuna classe di veicoli:

$$EF = [A \cdot v^2 + B \cdot v + C + D/v] / [E \cdot v + F]$$

dove:

- v è la velocità del veicolo [espressa in km / h]
- A..F sono i coefficienti che variano per ogni classe e sostanza inquinante
- EF è il fattore di emissione [espresso in g / km]

-
- 1 Methodology for the calculation of exhaust emissions – SNAPs 070100-070500, NFRs 1A3bi-iv, L. Ntziachristos, Z. Samaras, 2018 (scaricabile all'indirizzo https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-3-b-i/at_download/file)
 - 2 COPERT: a European road transport emission inventory model, Ntziachristos et al, Information technologies in environmental engineering, 491-504, 2009
 - 3 EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook, 2016



I fattori di emissione possono quindi essere calcolati per tutti gli inquinanti regolamentati, compresi gli NO_x che sono di interesse per il presente progetto. Per quanto riguarda la CO₂, il calcolo delle emissioni si basa sul consumo di carburante, in funzione del peso molecolare di benzina, diesel, GPL e metano e il rapporto di combustione quasi stechiometrico. Ad esempio, nel caso più semplice del metano, la formulazione è la seguente: $CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$

Poiché il peso molecolare del metano è 16 e il peso del biossido di carbonio è 44, allora per ogni grammo di metano bruciato vengono prodotti $44/16 = 2,75$ g di CO₂. Per benzina e gasolio, il rapporto è di circa 44/15.

In Figura 1 si riporta un diagramma di flusso riepilogativo di tutti i parametri di input necessari per alimentare la procedura COPERT V e calcolare le emissioni.

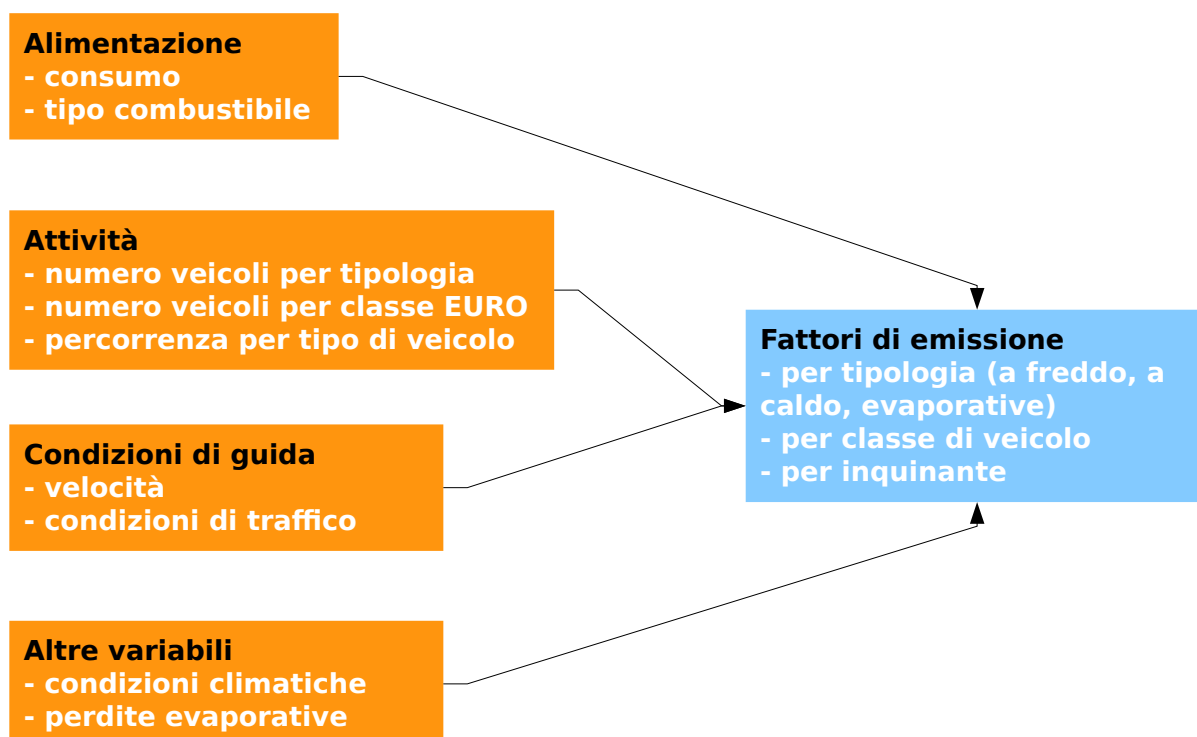


Figura 1: Informazioni necessarie all'applicazione della procedura COPERT V per il calcolo delle emissioni.

Il fattore di emissione di interesse risulta dunque strettamente dipendente dalla velocità dei veicoli, dalla loro classe euro e dal tipo di carburante di alimentazione. Per ottenere informazioni realistiche relative a queste tre



caratteristiche del traffico autostradale dell'A22 sono stati utilizzati dati provenienti da due diversi database relativi ai transiti:

1. Dati raccolti dal sistema di esazione del gestore autostradale relativi a: targhe, classe di pedaggio, nazionalità, casello di entrata e casello di uscita; tali dati sono stati estratti per otto giornate di transito, rappresentative di diverse condizioni di traffico e utenza:
 - Venerdì 20 e 27 luglio 2018: giorni feriali con turisti
 - Giovedì 11 e 18 ottobre 2018: giorni feriali senza turisti
 - Sabato 15 luglio 2018: giorni festivi con turisti
 - Domenica 15 e 22 aprile 2018: giorni festivi senza turisti

Rispetto all'analisi effettuata nel 2018, le giornate di cui sono stati analizzati tutti i transiti sono raddoppiate, per rendere ancora più statisticamente rappresentativo il campione statistico analizzato.

2. Dati raccolti in 7 stazioni di conteggio e classificazione del traffico ("spire" a induzione magnetica) localizzate nelle tratte di interesse alle chilometriche 77, 103, 107, 138, 156, 164 e 187 dell'Autostrada del Brennero. I dati si riferiscono ai singoli transiti per ognuna delle 4 corsie (2 di marcia e 2 di sorpasso) ed includono parametri quali la velocità istantanea e la tipologia di veicolo (mezzo leggero o pesante). Il dato grezzo, raccolto in tempo reale dal gestore stradale, viene elaborato giornalmente e convertito in flusso di traffico (veicoli all'ora).

Le informazioni provenienti da entrambi i database sono state opportunamente analizzate, elaborate e combinate per ottenere i dati necessari all'applicazione della procedura COPERT V e quindi al calcolo delle emissioni. Nello specifico, le informazioni derivanti dal primo database sono state utilizzate per ottenere la distribuzione delle classi euro e dell'alimentazione del parco circolante in autostrada; le informazioni derivanti dal secondo database sono state utilizzate per ottenere le distribuzioni di velocità dei veicoli. Per coordinare i due database e poter combinare le informazioni derivanti da essi, i veicoli sono stati suddivisi in 3 macrocategorie (veicoli leggeri, pesanti e autobus) sulla base di diversi dati contenuti nei database. In Figura 2 si riassume schematicamente il flusso di

informazioni trattato, ampiamente commentato nelle sezioni a seguire, dove si presentano le analisi effettuate sui dati di ciascun database e le informazioni aggregate finali ottenute.

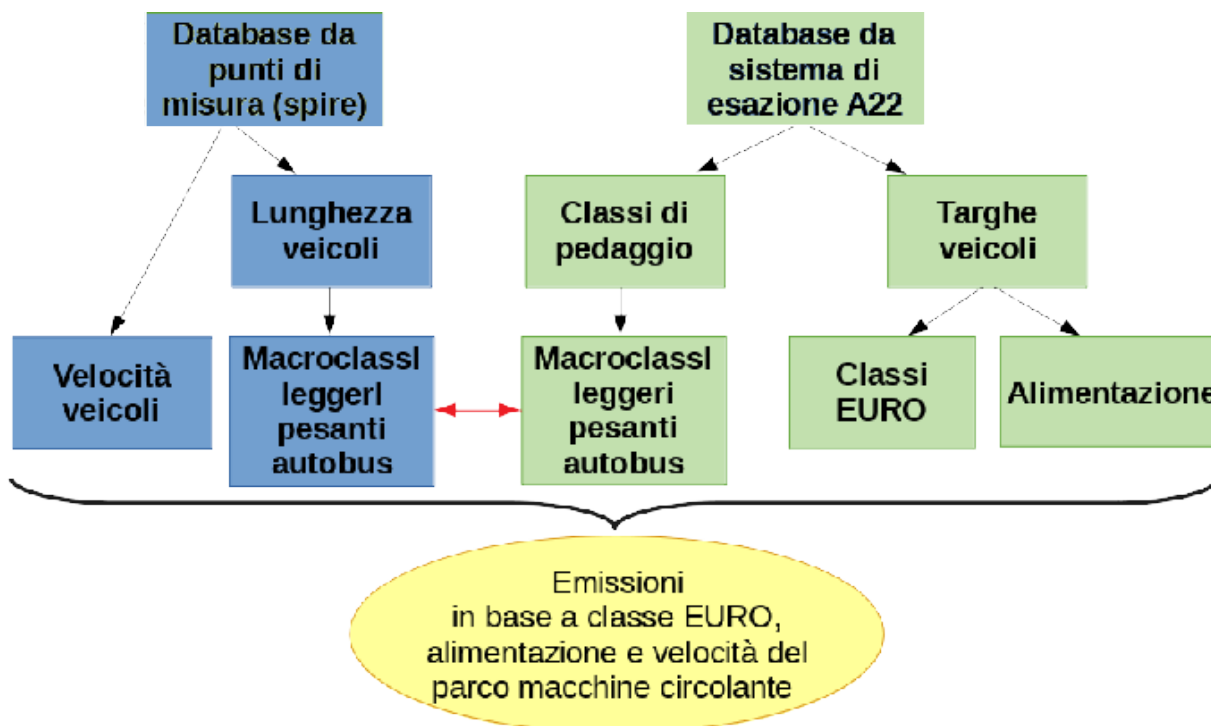


Figura 2: Diagramma di flusso dei dati misurati utilizzati dai due diversi database a disposizione per il calcolo delle emissioni.

1.2. Database sistema di esazione A22

a. Classificazione dei veicoli in macroclassi

Per rendere utilizzabili le informazioni del database del sistema di esazione A22 per il calcolo delle emissioni è stato innanzitutto necessario stabilire una procedura per assegnare ciascuno dei veicoli registrati ad una delle tre macroclassi: veicoli leggeri, pesanti e autobus. Tale classificazione risulta indispensabile per andare poi ad interfacciare le informazioni contenute in questo database con quelle raccolte mediante spire.

L'informazione utilizzata per la classificazione in macroclassi è quella relativa alle classi di pedaggio. Nel database i veicoli sono registrati con 5 diverse classi di pedaggio (A, B, 3, 4 e 5) relative al numero di assi dei veicoli e alle dimensioni



degli stessi. In questa analisi, tali classi sono state aggregate come riportato in Tabella 1 per riportarle alle macroclassi di interesse.

Tabella 1: Aggregazione delle classi di pedaggio in macroclassi di tipologia veicoli desiderata.

Classi di pedaggio					
	A	B	3	4	5
Macroclasse	Leggeri	Leggeri	$\frac{1}{2}$ Pesanti $\frac{1}{2}$ Autobus	Pesanti	Pesanti

A titolo di esempio si riportano in Figura 3 le suddivisioni delle classi leggeri e pesanti (in cui in questo caso sono stati accorpate anche gli autobus) sugli 8 giorni analizzati con ulteriore suddivisione in veicoli italiani e stranieri, che hanno anche solo parzialmente attraversato il tratto di autostrada oggetto delle sperimentazioni del progetto in corso, da Bolzano Nord a Rovereto Sud.

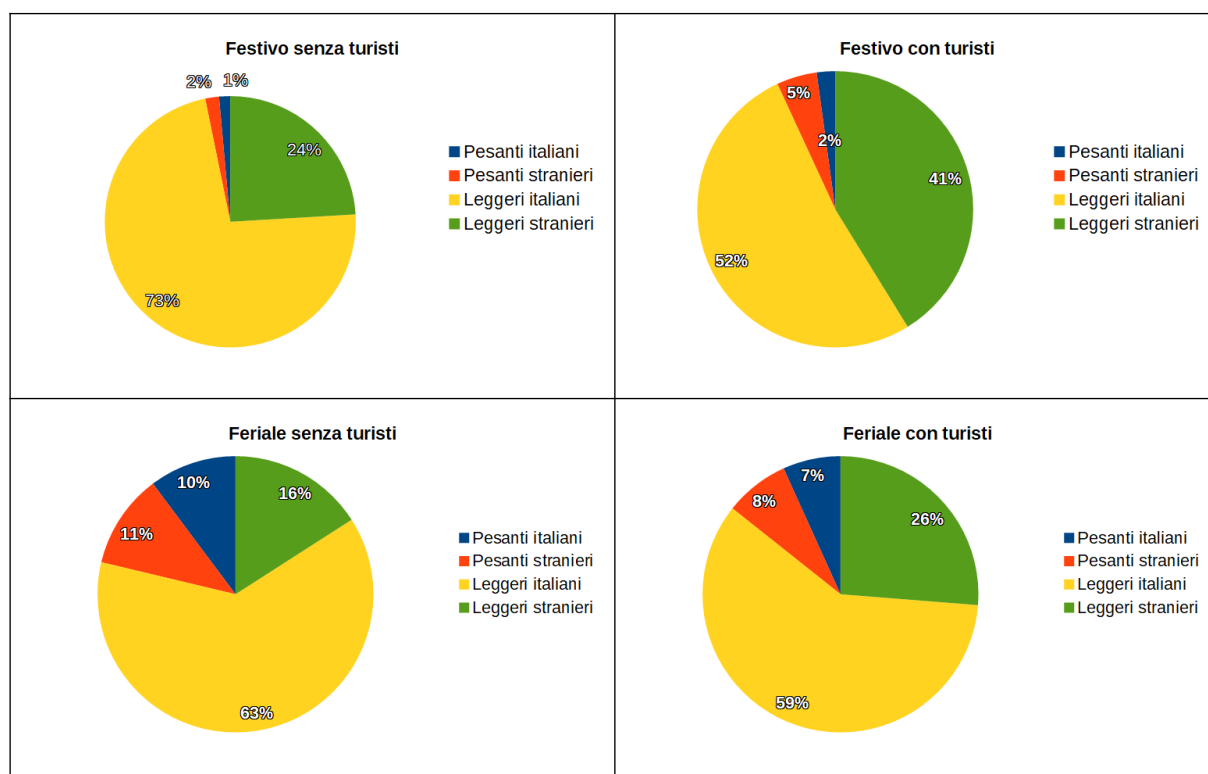


Figura 3: Distribuzione in macroclassi leggeri/pesanti italiani/stranieri dei veicoli transitanti in A22 per le giornate a disposizione sulla tratta Bolzano Nord-Rovereto Sud.



b. Classificazione dei veicoli in classi EURO e tipologia di alimentazione

Le informazioni relative alla distribuzione delle classi EURO e dell'alimentazione dei veicoli è stata derivata dal primo database: esso contiene infatti le targhe dei veicoli transitanti, tramite le quali è stato possibile risalire direttamente alla classe EURO e all'alimentazione degli stessi. Tale approccio consente di ottenere un livello di precisione molto più elevato rispetto al metodo comunemente utilizzato. Quest'ultimo prevede di fare riferimento ai dati forniti annualmente da ACI, che sono essenzialmente una rielaborazione dei veicoli registrati al Pubblico Registro Automobilistico e diviso per provincia. La presente elaborazione fa riferimento ai dati relativi all'anno 2018. Poiché la flotta è costantemente in evoluzione e i fattori di emissione possono variare significativamente tra i diversi tipi di veicoli, è importante che la composizione statistica della flotta sia sempre aggiornata. Il metodo comunemente utilizzato pone differenti problematiche:

- il parco macchine circolante non può essere assimilato a quello della zona attraversata dalla tratta autostradale, poiché solo una percentuale di traffico sarà imputabile a transiti con origine / destinazione locale;
- il parco macchine circolante in autostrada è tendenzialmente più nuovo di quello immatricolato;
- si ipotizza un'ulteriore divergenza tra il circolante effettivo e quello immatricolato dovuto alla diversa ripartizione per alimentazione (diesel / benzina) che si ha in autostrada;
- nei dati di immatricolazione fra i veicoli pesanti la maggior parte ricade negli autotreni, mentre in autostrada la maggior parte ricade negli autoarticolati.

Grazie ai dati a disposizione le problematiche del metodo tradizionale sono state completamente aggirate, ottenendo informazioni di dettaglio.

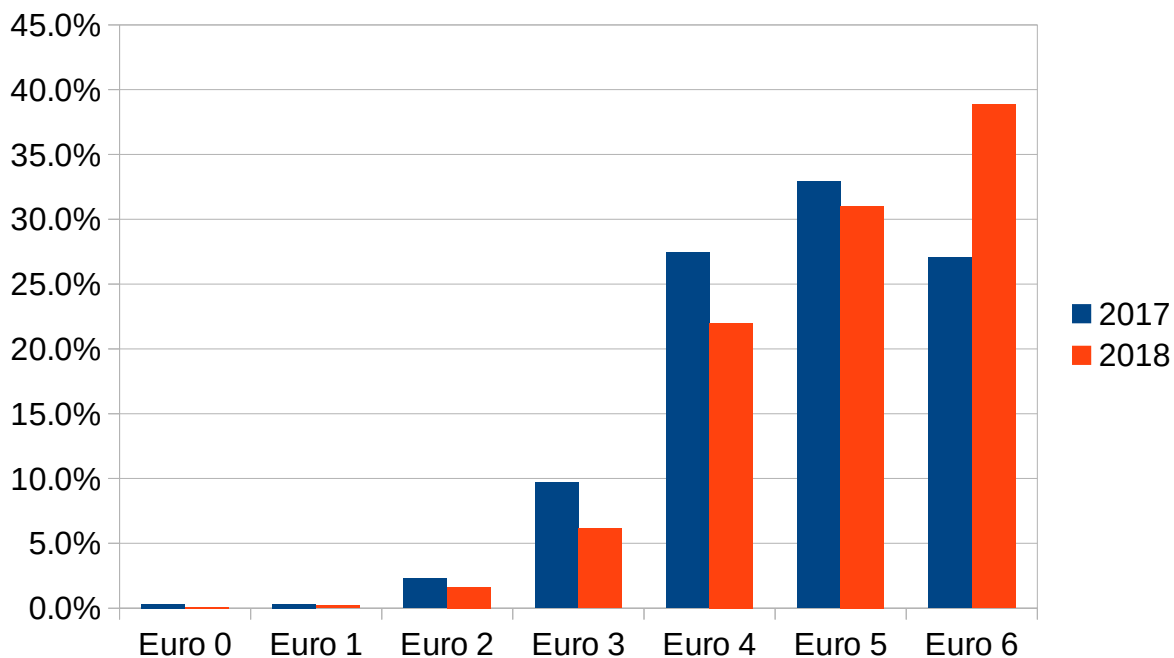


Figura 4: Distribuzione in classi EURO dei veicoli leggeri transitanti sull'autostrada A22 nella tratta BrennerLEC: confronto 2017 - 2018.

In Figura 4 è presentato il confronto tra la distribuzione delle classi EURO relativa ai veicoli leggeri transitanti sull'A22 nel 2017 e nel 2018. Si osserva come in un solo anno ci sia stato un significativo rinnovamento del parco auto circolante; si tenga conto che esso risulta molto più nuovo rispetto a quello immatricolato, sia a livello nazionale che regionale. In particolare, si nota come gli EURO 0/1 siano praticamente assenti in A22.

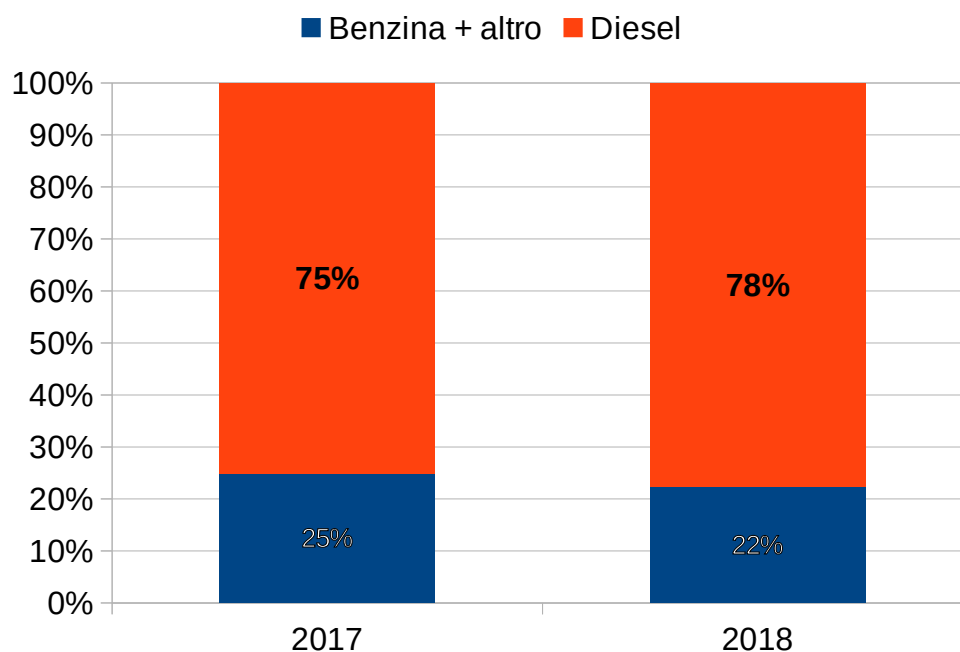


Figura 5: Confronto tra la distribuzione del tipo di alimentazione del parco macchine leggero transistente in A22 nella tratta BrennerLEC: 2017 e 2018.

La distribuzione dei veicoli leggeri per tipo di alimentazione risulta altrettanto rilevante. Come mostrato in Figura 5, la percentuale di veicoli alimentati a gasolio transistanti in autostrada è molto elevata ed ulteriormente aumentata nel 2018 rispetto a quanto rilevato nel 2017. Si tenga conto che la percentuale dei veicoli leggeri immatricolati e alimentati a gasolio è circa il 51% del totale. Tale evidenza comporta uno svantaggio in termini di emissioni per quanto riguarda gli NOx e va a contrapporsi al vantaggio evidenziato in precedenza relativamente all'età del parco macchine.

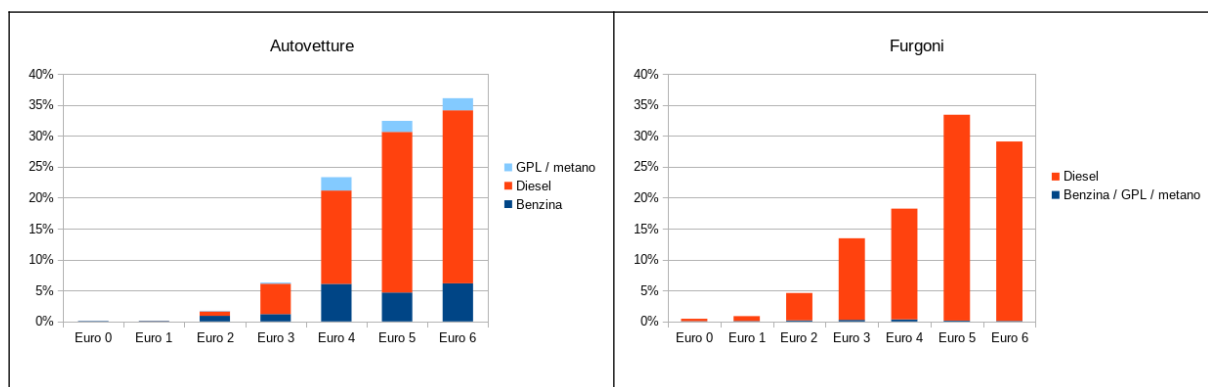


Figura 6: Distribuzione delle tipologie di alimentazione per classe EURO delle classi veicolari autovetture (classe di pedaggio A, leggeri), furgoni (classe di pedaggio B, leggeri) transitanti in A22 nella tratta BrennerLEC.

In Figura 6 è riportata la distribuzione delle tipologie di alimentazione per classe EURO delle classi veicolari autovetture (classe di pedaggio A, leggeri) e furgoni (classe di pedaggio B, leggeri). Si noti come la classe di pedaggio B (furgoni) abbia una percentuale di alimentazione diesel praticamente pari al 100%.

In Figura 7, per la sola classe veicolare delle autovetture, è riportata la distribuzione delle tipologie di alimentazione per classe EURO, differenziata a seconda della diversa tipologia di giornate esaminate. Quello che si nota è che nei giorni feriali senza turisti, la percentuale di autovetture alimentate a gasolio è leggermente superiore rispetto alle giornate feriali con turisti così come la percentuale di autovetture di classe EURO 6.

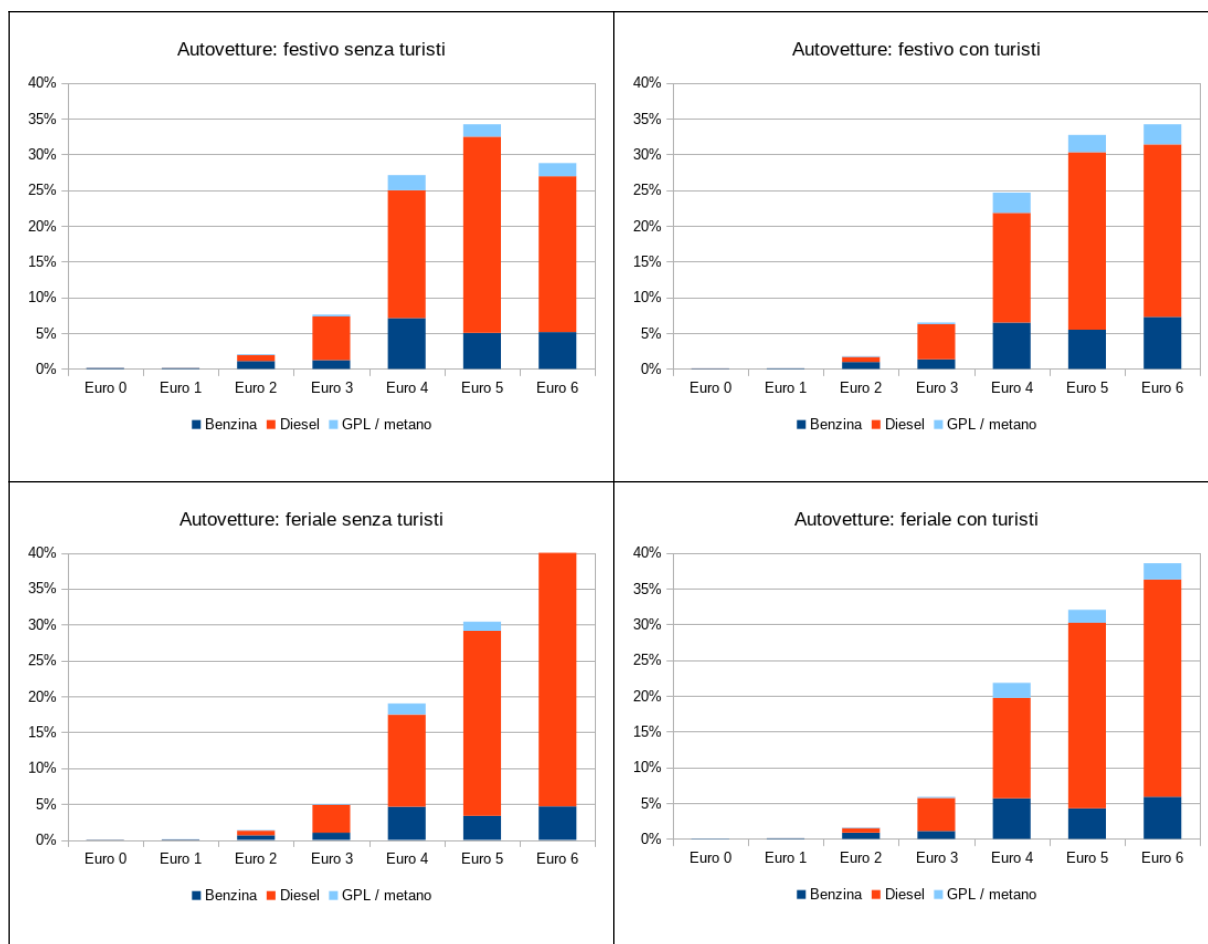


Figura 7: Distribuzione delle tipologie di alimentazione per classe EURO delle sole autovetture nelle diverse tipologie di giornate esaminate transanti in A22 nella tratta BrennerLEC.

c. Analisi aggiuntive: approfondimento sulla classe Euro dei mezzi pesanti

Analogamente a quanto fatto per i veicoli leggeri, anche per i veicoli pesanti è stata effettuata una caratterizzazione del parco transitante relativamente alla classe EURO. Quello che emerge subito è che per i veicoli pesanti, la percentuale di mezzi stranieri è ancora più rilevante che nel caso dei veicoli leggeri (Tabella 2). Questo fa sì che la il set di veicoli di cui conosciamo la targa non sia rappresentativo per tutti i veicoli stranieri (che rappresentano oltre la metà dei passaggi).



Tabella 2: Percentuale di veicoli stranieri transitati nelle giornate del 2018 esaminate, suddivisi per macroclassi di veicoli leggeri e pesanti.

Classe di veicoli	Percentuale veicoli italiani	Percentuale veicoli stranieri
Veicoli leggeri	68.6%	31.4%
Veicoli pesanti	44.7%	55.3%

Inoltre, molte targhe disponibili (sia ottenute dall'interrogazione fornita da ACI che dall'interrogazione dei database regionali forniti da Trentino e Alto Adige Riscossioni) sono relative ai soli rimorchi, per cui non è possibile attribuire correttamente a questi passaggi una classe EURO.

La distribuzione delle classi EURO ottenuta è stata confrontata con quella fornita da ASFINAG e relativa ad un'indagine effettuata al confine del Brennero sui mezzi pesanti in entrata e in uscita nel mese di gennaio 2019 (Figura 8). Come si può notare, il parco circolante relativo ai mezzi pesanti passanti per il Brennero risulta molto più nuovo rispetto a quello dedotto sulla base delle targhe fornite da ACI e da Alto Adige e Trentino Riscossioni. Va sottolineato che l'indagine condotta da ASFINAG considera i veicoli di tutte le nazionalità, quindi anche i veicoli stranieri. Inoltre i veicoli che attraversano il Brennero effettuano ragionevolmente dei internazionali molto lunghi, per cui è logico attendersi un parco veicoli locale più vecchio rispetto a quello del traffico di lungo raggio.

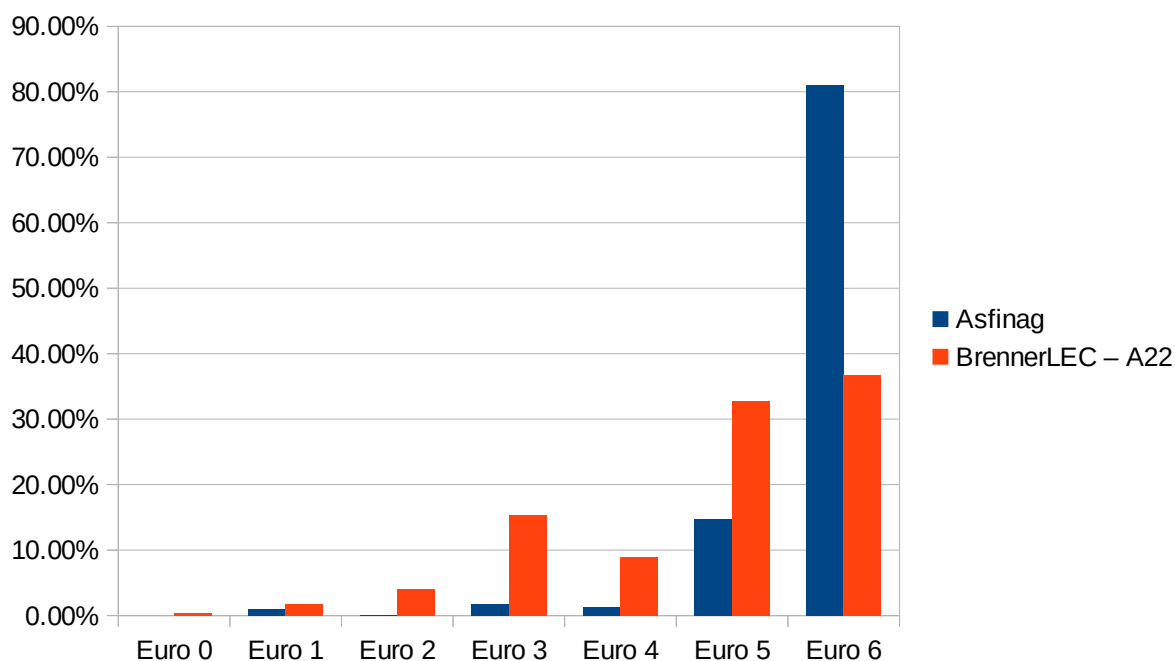


Figura 8: Distribuzione in classi EURO dei veicoli pesanti transitanti sull'autostrada A22 nella tratta BrennerLEC e dei veicoli pesanti passanti per il confine del Brennero e rilevati da ASFAG nel mese di gennaio 2019.

Per la corretta determinazione del contenuto emissivo della macroclasse dei veicoli pesanti, è però fondamentale conoscere la composizione del parco circolante. Per questa ragione, sulla base dei passaggi registrati nelle 8 giornate esaminate, è stata stimata la percentuale di traffico pesante "locale", cioè che attraversa la tratta interessata dalle sperimentazioni del progetto BrennerLEC almeno parzialmente senza passare dal Brennero e la percentuale di traffico di attraversamento, che invece passa dal Brennero. Queste percentuali sono stati stimati separatamente per ciascuna tipologia di giornata esaminata e i valori ottenuti sono riportati in Tabella 3.



Tabella 3: Percentuale di traffico di veicoli pesanti di attraversamento e locale, nelle diverse tipologie di giornate esaminate.

Mezzi pesanti	Traffico di attraversamento	Traffico "locale"
Festivo senza turisti	62.4%	37.6%
Festivo con turisti	70.0%	30.0%
Feriale senza turisti	49.3%	50.7%
Feriale con turisti	51.8%	48.2%

Pesando opportunamente le diverse tipologie di giornate, si è potuto ricalcolare un parco circolare medio considerando per la parte locale quello ottenuto dall'analisi di targhe a disposizione mentre per quello di attraversamento si è utilizzato il parco macchine fornito da ASFINAG. Il risultato finale è riportato in Figura 9.

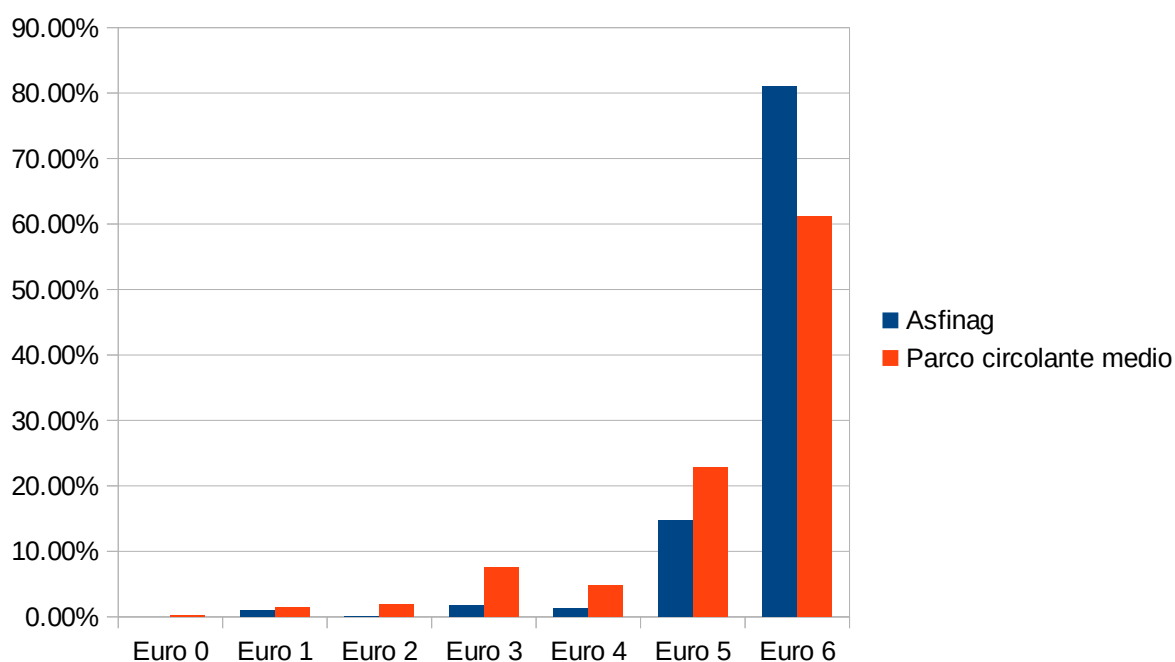


Figura 9: Distribuzione in classi EURO del parco veicoli pesanti medio transitante sull'autostrada A22 nella tratta BrennerLEC confrontata con quella dei veicoli pesanti passanti per il confine del Brennero e rilevati da ASFINAG nel mese di gennaio 2019.



2. Calcolo delle emissioni

Applicando la metodologia sopra esposta è stato possibile calcolare le emissioni dei veicoli transitanti in autostrada con un elevato grado di accuratezza, grazie alla combinazione dei due database messi a disposizione per le finalità del progetto.

Le emissioni possono essere calcolate sulla base temporale di interesse, dalla media annuale fino al dettaglio dei 10 min ed è possibile effettuare valutazioni sull'efficienza, in termini emissivi, dei test di riduzione della velocità condotti.

Complessivamente si può stimare che il contributo alle emissioni di NO_x sia da attribuirsi per il 54% ai mezzi pesanti e per il 46% ai mezzi leggeri (di cui il 2% ai leggeri a benzina e il 44% ai leggeri diesel).

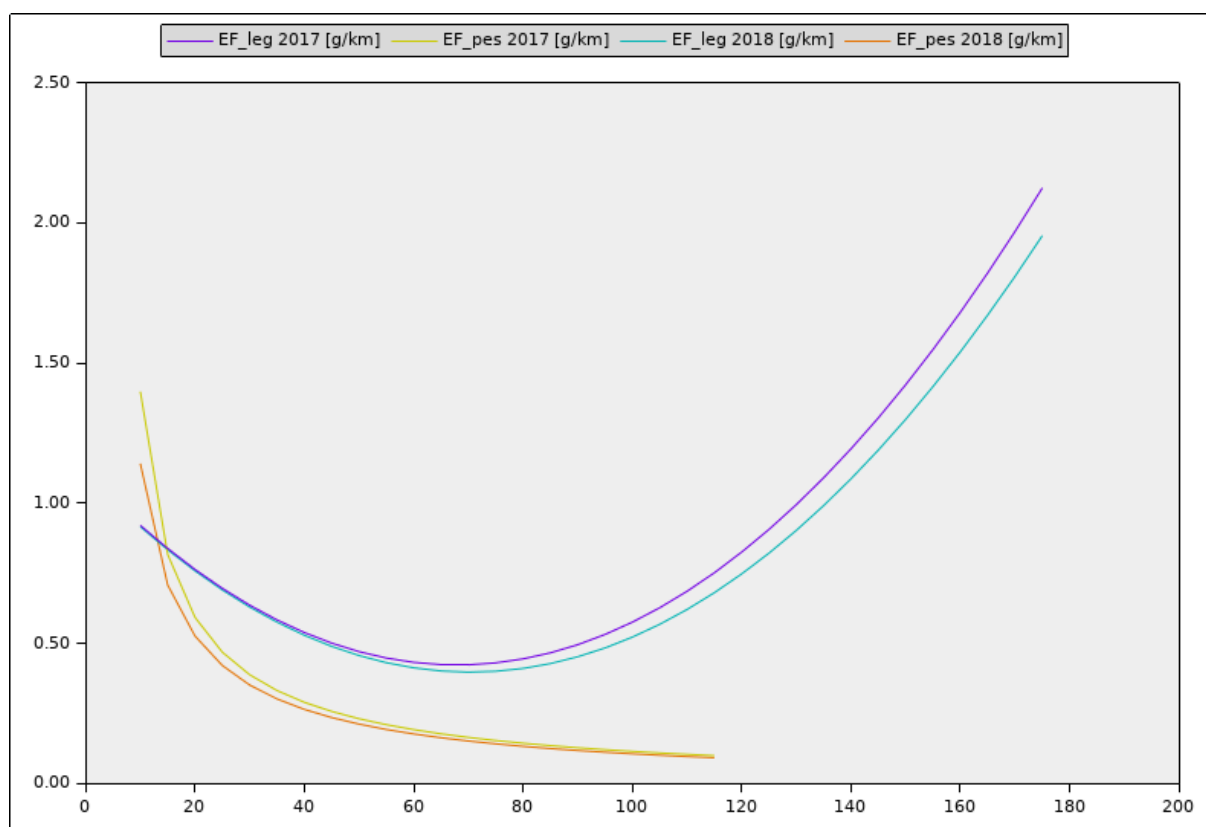


Figura 10: Fattori di emissione di NO_x medi relativi ai veicoli leggeri e pesanti transitanti in A22: confronto tra il 2017 e il 2018.



La valutazione accurata del parco macchine circolante ha una rilevante importanza nella valutazione dell'efficienza delle misure di riduzione dinamica della velocità: infatti per alcune tipologie di veicoli essa risulta molto elevata (es. autovetture a gasolio), mentre è molto ridotta per altre categorie di veicoli (es. autovetture a benzina). La valutazione corretta della composizione del parco macchine transitante consente di stimare in modo realistico i fattori di emissione medi per veicoli leggeri e pesanti, che a loro volta permettono di stimare le emissioni e l'efficacia in termini emissivi e ambientali delle misure di riduzione della velocità.

In Figura 10 sono riportati i fattori di emissione medi di ossidi di azoto per il parco circolante 2018 relativi ai veicoli leggeri e ai veicoli leggeri, confrontati con quelli ottenuti nel 2017. Come si può osservare, il rinnovamento dei veicoli leggeri transitanti in A22 ha permesso un abbassamento dei fattori di emissione, che è tanto più rilevante quanto più è elevata la velocità del veicolo. Per i veicoli pesanti invece le riduzioni di emissioni sono apprezzabili solo alle basse velocità.

Oltre agli ossidi di azoto, inquinanti tipici delle emissioni veicolari, viene calcolata anche l'emissione di CO₂. Si specifica che quest'ultimo è da considerarsi gas serra ad effetto globale e non inquinante locale. La sua emissione è calcolata come proporzionale al consumo di combustibile (sulla base del rapporto stechiometrico combustibile / comburente); vale comunque anche per l'anidride carbonica la valutazione che a minor velocità corrisponde minore emissione.

Per quanto riguarda la CO₂ fattori di emissione variano in maniera ridotta fra le classi EURO più recenti (da Euro 4 in poi) che sono quelle dominanti nel parco macchine autostradale. Si stima quindi una riduzione dell'ordine dello 0,5% rispetto ai fattori di emissione pesati sul parco macchine; questo è dovuto al fatto che l'emissione di anidride carbonica, come sopra accennato, dipende sostanzialmente dal carburante consumato e in misura trascurabile dalla classe Euro.