

Report sulla caratterizzazione delle emissioni lungo l'autostrada A22

Anno 2021



Indice

1	Introduzione	3
2	Metodologia e basi dati utilizzate	4
2.1	Le sezioni selezionate	4
2.2	Il modello COPERT	4
2.3	La classificazione dei veicoli	5
2.4	Il parco circolante	5
3	Sezioni di misura	7
3.1	Sezione di misura al km 47+700	7
3.1.1	Analisi dei dati di transito	7
3.1.2	Calcolo delle emissioni annuali prodotte	10
3.1.3	Confronto con gli anni precedenti	13
3.2	Sezione di misura al km 81+200	15
3.2.1	Analisi dei dati di transito	15
3.2.2	Calcolo delle emissioni annuali prodotte	18
3.2.3	Confronto con gli anni precedenti	21
3.3	Sezione di misura al km 103+000	23
3.3.1	Analisi dei dati di transito	23
3.3.2	Calcolo delle emissioni annuali prodotte	26
3.3.3	Confronto con gli anni precedenti	29
3.4	Sezione di misura al km 123+960	31
3.4.1	Analisi dei dati di transito	31
3.4.2	Calcolo delle emissioni annuali prodotte	34
3.4.3	Confronto con gli anni precedenti	37
3.5	Sezione di misura al km 156+595	39
3.5.1	Analisi dei dati di transito	39
3.5.2	Calcolo delle emissioni annuali prodotte	42
3.5.3	Confronto con gli anni precedenti	45

1 Introduzione

Questo documento illustra i risultati delle elaborazioni effettuate per stimare le emissioni da traffico prodotte lungo l'asse autostradale dell'A22. Questa tipologia di analisi, ripetuta annualmente, è stata introdotta all'interno del progetto Life BrennerLEC ¹ e continua a essere svolta anche all'interno del piano After-Life attualmente in vigore, dal momento che solo con una stima accurata delle emissioni è possibile valutare correttamente l'efficacia delle azioni intraprese.

La metodologia di analisi così come il presente report è stato sviluppato dalla società CISMA, che si è avvalsa dell'aiuto di A22 per quello che riguarda i dati messi a disposizione sperimentalmente nell'ambito del piano After-Life del BrennerLEC e degli altri partner di progetto per quello che riguarda il raffinamento e la finalizzazione della metodologia elaborata.

¹BrennerLEC - Low Emission Corridor : progetto Europeo finanziato dal programma LIFE 2014-2020 per l'ambiente e il clima della Commissione Europea - www.brennerlec.life

2 Metodologia e basi dati utilizzate

In questo rapporto, sono presentati i risultati delle elaborazioni effettuate per valutare le emissioni derivanti dal traffico autostradale in alcune sezioni di riferimento. In particolare si è calcolato in ciascuna sezione il contributo in termini di emissioni di inquinanti di ciascuna macro-categoria di veicoli e di ciascuna classe Euro. Il risultato dipende fortemente dalla composizione del traffico, cioè dalla suddivisione tra traffico leggero e traffico pesante, e dalla velocità dei veicoli. Poiché il tracciato autostradale presenta caratteristiche diverse da Nord a Sud, in termini sia geometrici che di limiti di velocità e di composizione del traffico, sono state selezionate alcune sezioni di riferimento che possano descrivere e caratterizzare le diverse tipologie di tratti stradali esistenti.

Per ciascuna sezione è stata effettuata una caratterizzazione dei dati di traffico e di velocità, il calcolo emissivo e un confronto con i risultati degli anni precedenti. La valutazione sulle emissioni è fatta considerando un intero anno solare e utilizzando i dati di traffico disponibili, che sono aggregati a 10 minuti.

2.1 Le sezioni selezionate

L'analisi delle emissioni da traffico prodotte è stata effettuata nelle seguenti sezioni, utilizzando le spire corrispondenti:

- km 47.7: a Bressanone, zona industriale, caratterizzato da pendenza non trascurabile e limite dei leggeri pari a 110 km/h;
- km 81.2: a Bolzano Nord, con limite dei leggeri pari a 110 km/h;
- km 103.7: nella tratta della Bassa Atesina, a sud di Egna;
- km 123.96: a San Michele all'Adige, a nord della città di Trento;
- km 156.595: nel tratto a nord della città di Rovereto.

2.2 Il modello COPERT

Per il calcolo delle emissioni, è stato utilizzato il modello COPERT 5, ², attualmente uno standard europeo "de facto" per il calcolo delle emissioni del trasporto su strada. 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]
- i coefficienti da A a F variano per ogni classe di veicolo e ogni sostanza inquinante

²COPERT: a European road transport emission inventory model, Ntziachristos et al, Information technologies in environmental engineering, 491-504, 2009

³EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook, 2016

2.3 La classificazione dei veicoli

- EF è il fattore di emissione [espresso in g / km].

I fattori di emissione possono quindi essere calcolati per tutti gli inquinanti regolamentati. In questo report sono stati considerati gli ossidi di azoto, NO_x, che sono i principali inquinanti prodotti dal traffico veicolare. Inoltre è stata calcolata l'anidride carbonica prodotta, CO₂, il cui calcolo si basa sul consumo di carburante, in funzione del peso molecolare di benzina, diesel, GPL e metano e il rapporto di combustione quasi stechiometrico.

2.3 La classificazione dei veicoli

I veicoli sono stati classificati secondo tre macro-categorie, sulla base del limite di velocità a cui sono soggette:

- veicoli leggeri, comprendenti autovetture, furgoni e motocicli, che possono viaggiare, dove consentito, a 130 km/h;
- veicoli pesanti, comprendenti autocarri con massa superiore a 7.5 tonnellate e autotreni, con limite massimo di velocità pari a 80 km/h;
- autobus e camion medi, con massa compresa tra 3.5 e 7.5 tonnellate, che possono viaggiare a 100 km/h.

2.4 Il parco circolante

Per il calcolo delle emissioni da traffico si è considerato il parco circolante medio annuo lungo l'autostrada A22, riportato nel report annuale "Studio del parco circolante sull'autostrada A22"⁴. La distribuzione media dei veicoli leggeri e dei veicoli pesanti a seconda della classe Euro è riportata in Figura 1 dove viene mostrata l'evoluzione degli ultimi anni. In Figura 2 è riportata invece la tipologia di alimentazione stimata nei veicoli leggeri e pesanti.

⁴Disponibile sul sito www.brennerlec.life

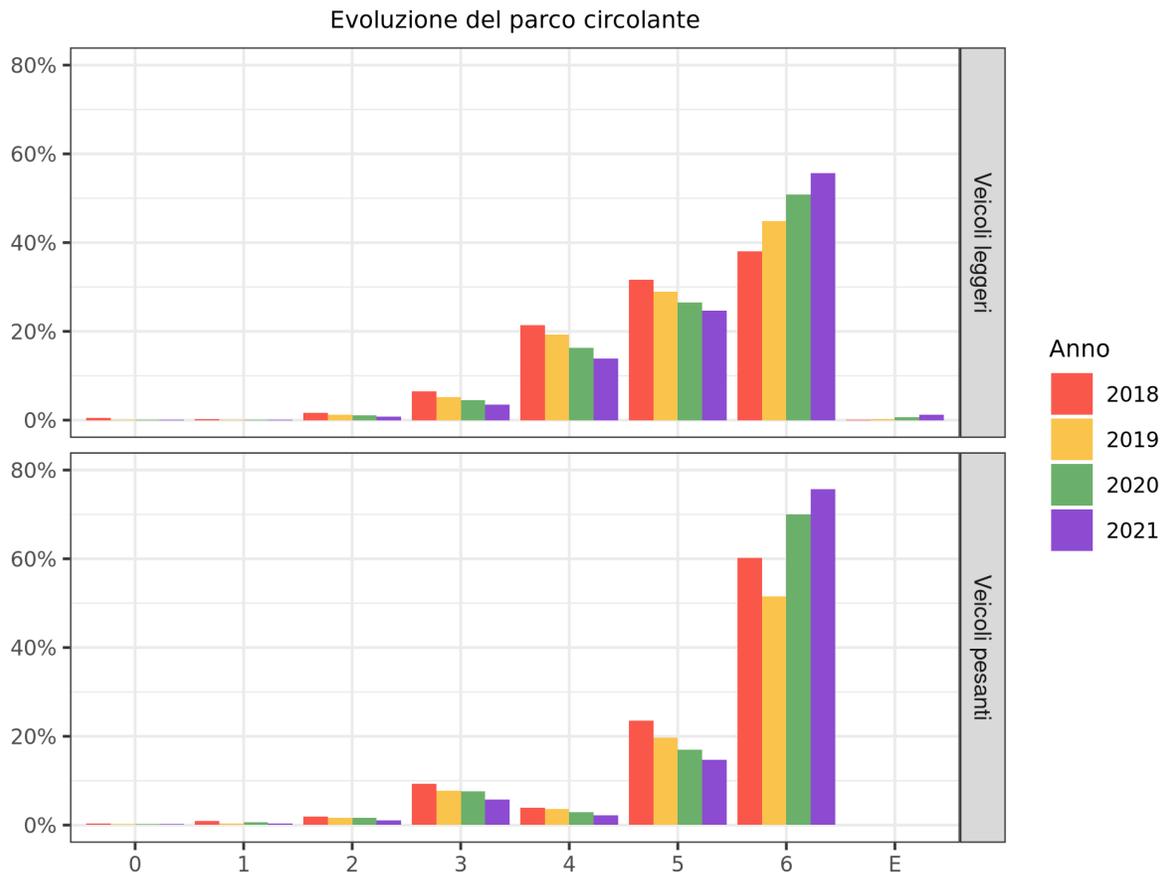


Figura 1: Evoluzione della distribuzione media annua della classe EURO dei veicoli leggeri e dei veicoli pesanti circolanti in autostrada.

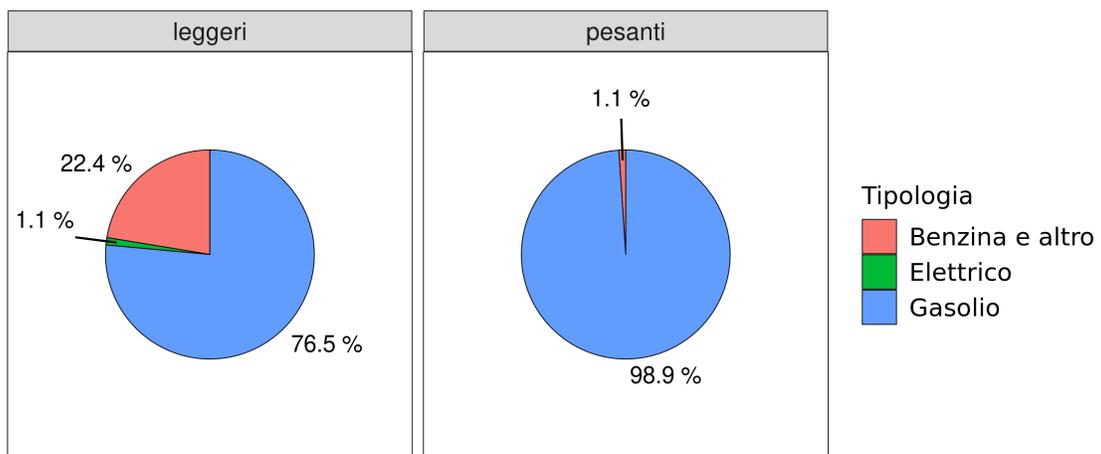


Figura 2: Distribuzione media annua della tipologia di alimentazione dei veicoli leggeri e dei veicoli pesanti circolanti in autostrada.

3 Sezioni di misura

3.1 Sezione di misura al km 47+700

3.1.1 Analisi dei dati di transito

In corrispondenza della sezione al km 47+700 sono stati analizzati i dati di transito e di velocità dei veicoli, registrati ogni 10 minuti, relativi all'anno 2021. In Tabella 13 è riportato un breve riassunto dei dati misurati nella stazione considerata.

Tabella 1: Percentuale di dati validi e valori medi annui del TGM e della velocità per ciascuna macro-classe di veicoli e per ciascuna carreggiata.

Carreggiata	Nord	Sud
TGM Autobus [veh/d]	620	588
TGM_Leggeri [veh/d]	10196	9972
TGM_Pesanti [veh/d]	3553	3548
Dati validi [%]	98.5%	98.7%
Vel. Autobus [km/h]	92.9	92.3
Vel. Leggeri [km/h]	114.4	108.8
Vel. Pesanti [km/h]	82.6	83.4

In Figura 27 e in Figura 28 sono mostrati gli andamenti temporali del traffico giornaliero medio (TGM) e della velocità media giornaliera per le tre macro-categorie di veicoli. Come si può osservare, il traffico pesante è caratterizzato da un andamento poco variabile durante l'anno, mentre il traffico leggero mostra un sensibile aumento durante i mesi estivi. Rispetto agli anni precedenti alla pandemia di COVID-19, i valori di traffico leggero durante i primi mesi dell'anno risultano essere molto inferiori.

3.1 Sezione di misura al km 47+700

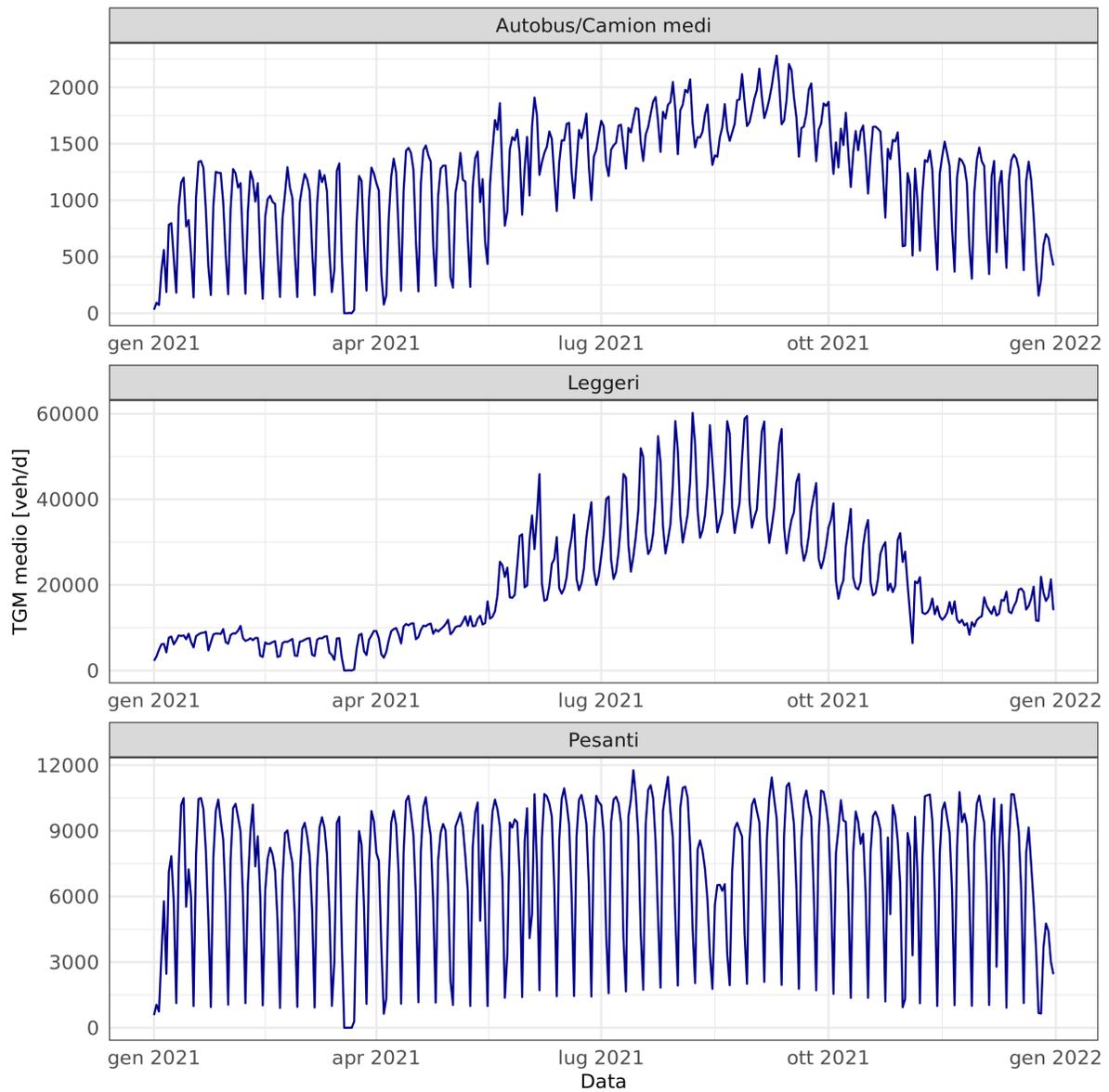


Figura 3: Andamento temporale dei transiti medi giornalieri (TGM) durante l'anno per le tre macro-classi di veicoli considerate.

3.1 Sezione di misura al km 47+700

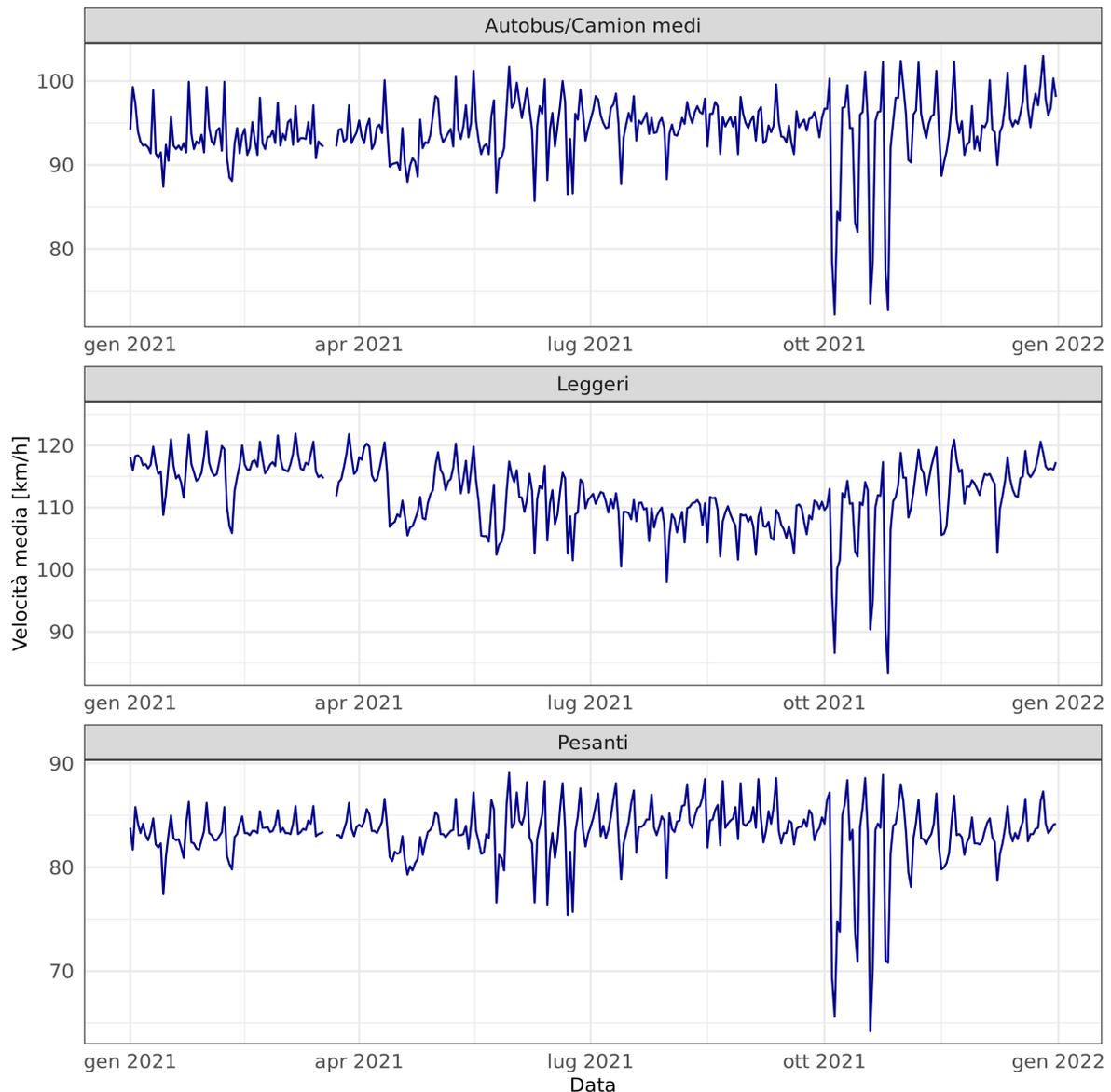


Figura 4: Andamento temporale delle velocità medie giornalieri durante l'anno per le tre diverse macro-categorie di veicoli.

La classificazione dei transiti media mensile, utilizzando le tre macro-classi precedentemente descritte, è riportata in Figura 29. Come si può osservare, il sabato e la domenica la percentuale dei veicoli pesanti è minore, così come nei mesi estivi, dove i volumi di traffico leggero assumono valori molto più elevati. Rispetto agli anni precedenti alla pandemia di COVID-19, i bassi valori di traffico leggero durante i primi mesi dell'anno comportano anche una maggiore percentuale di veicoli pesanti.

3.1 Sezione di misura al km 47+700

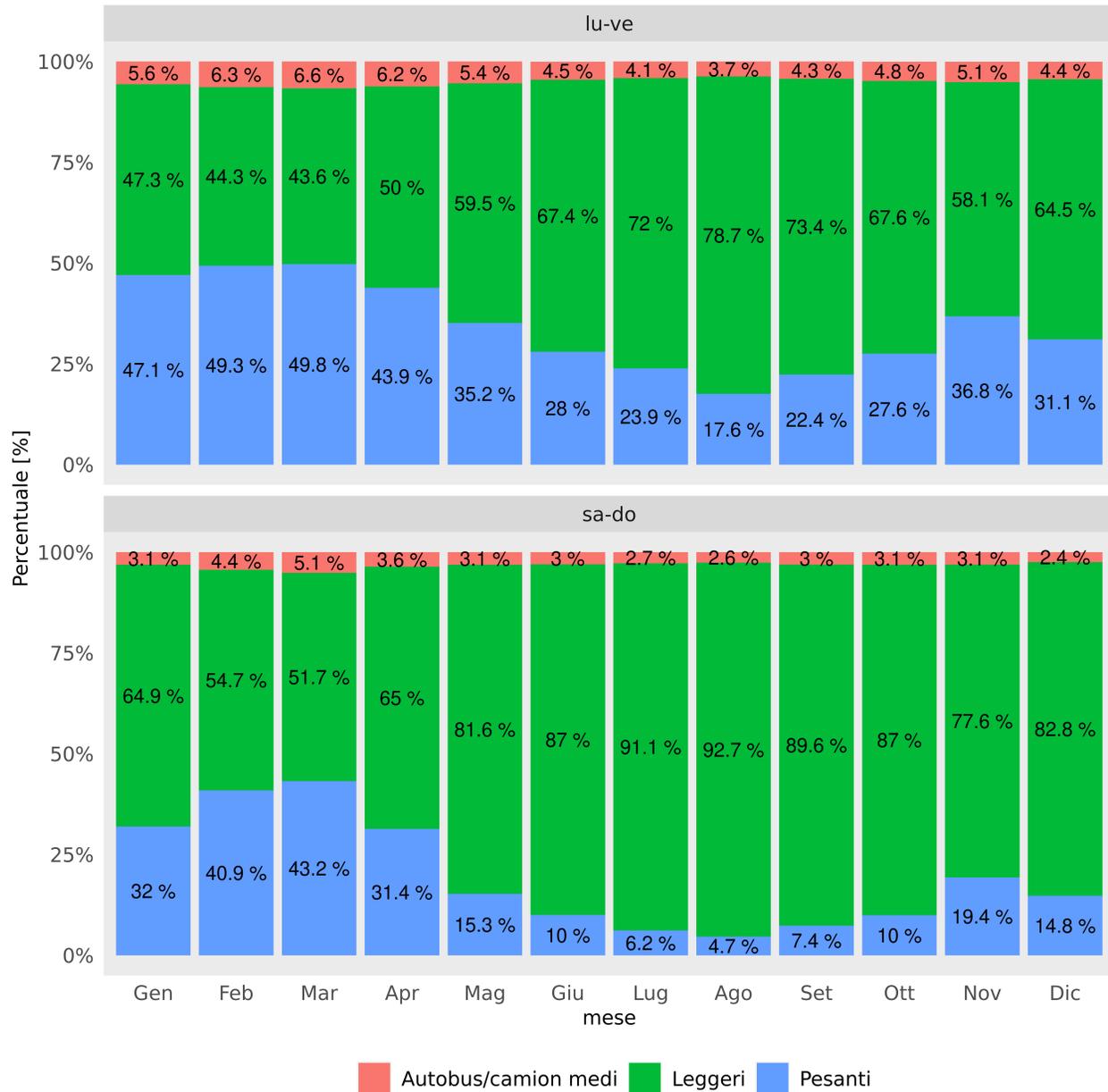


Figura 5: Distribuzione media mensile della tipologia di veicolo (leggeri, pesanti, autobus/camion medi) nei diversi mesi dell'anno, per i giorni dal lunedì al venerdì e per sabato e domenica.

3.1.2 Calcolo delle emissioni annuali prodotte

Partendo dai dati di traffico misurati ogni 10 minuti, è possibile stimare le emissioni da traffico prodotte attraverso il modello COPERT. Sommando tutte le emissioni prodotte durante l'anno, è possibile individuare quali classi Euro e quali macro-classi di veicoli contribuiscono maggiormente all'emissione totale presso la spira considerata. I risultati dell'elaborazione sono riportati in Figura 30 e in Tabella 14.

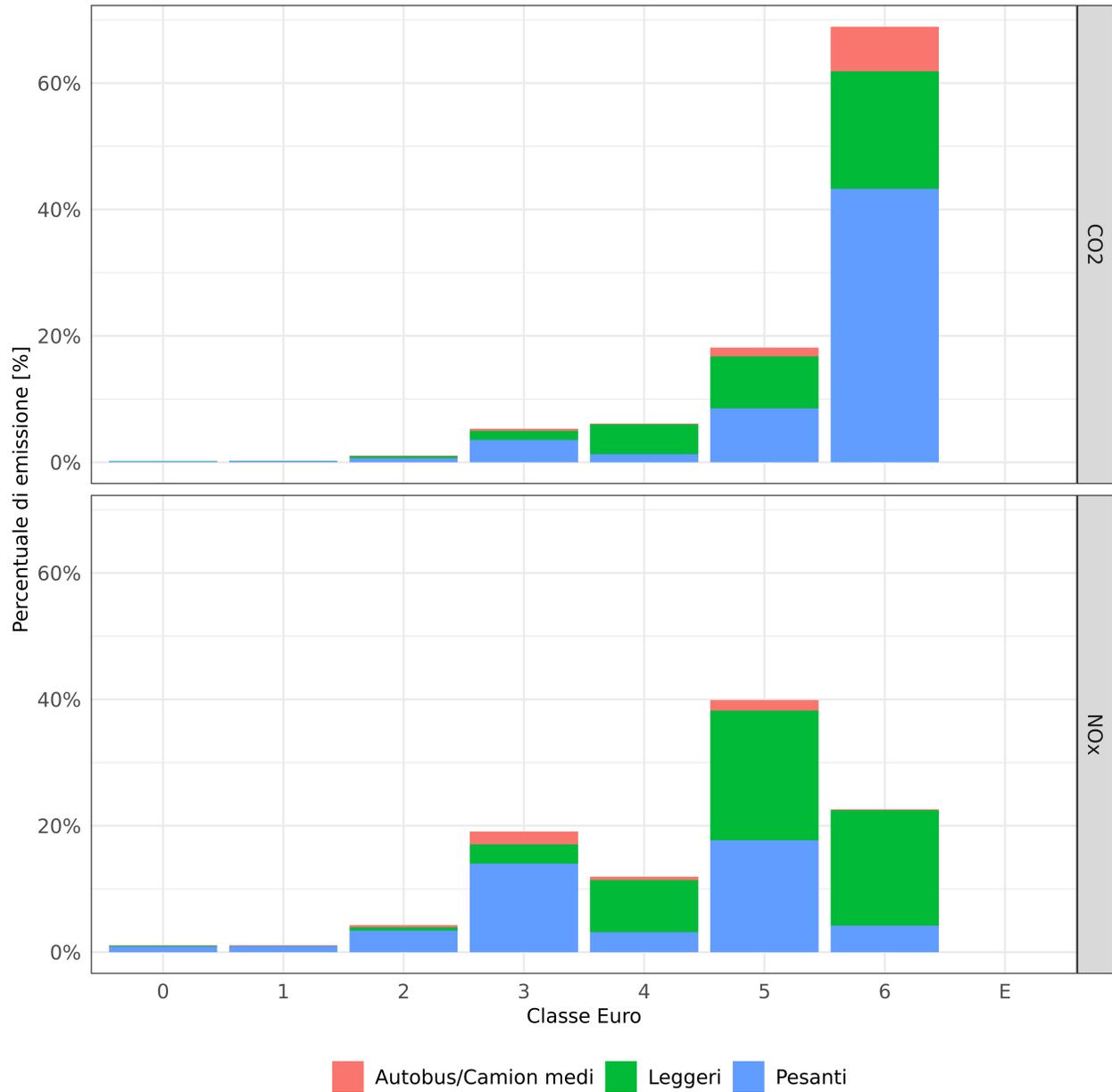


Figura 6: Percentuali di emissione di NOx e CO2 per classe Euro e per macro-classe di veicolo durante l'intero anno analizzato.

3.1 Sezione di misura al km 47+700

Tabella 2: Emissione percentuale di NOx e CO2 per classe Euro e per macro-classe di veicolo durante l'intero anno analizzato.

Euro	Autobus	Pesanti	Leggeri	Totale
NOx				
0	0.1%	0.9%	0.1%	1.1%
1	0.1%	0.9%	0.1%	1.1%
2	0.4%	3.4%	0.5%	4.3%
3	2%	14%	3%	19.1%
4	0.5%	3.1%	8.3%	11.9%
5	1.7%	17.7%	20.5%	39.9%
6	0.2%	4.2%	18.2%	22.6%
E	0%	0%	0%	0%
Totale	4.9%	44.3%	50.8%	100%
CO2				
0	0%	0.2%	0%	0.2%
1	0%	0.2%	0%	0.2%
2	0.1%	0.7%	0.3%	1%
3	0.3%	3.5%	1.4%	5.3%
4	0.1%	1.3%	4.7%	6.1%
5	1.4%	8.5%	8.2%	18.2%
6	7%	43.3%	18.6%	68.9%
E	0%	0%	0%	0%
Totale	9%	57.6%	33.4%	100%

In termini assoluti, le emissioni prodotte da ciascuna classe Euro e da ciascuna macro-classe di veicoli sono riportati in Tabella 15.

3.1 Sezione di misura al km 47+700

Tabella 3: Emissione totale di NOx e CO2 per classe Euro e per macro-classe di veicolo durante l'intero anno analizzato [t/km/anno].

Euro	Autobus	Pesanti	Leggeri	Totale
NOx				
0	0.006	0.056	0.006	0.068
1	0.006	0.057	0.003	0.066
2	0.022	0.211	0.031	0.264
3	0.125	0.860	0.187	1.172
4	0.032	0.193	0.509	0.734
5	0.102	1.088	1.263	2.453
6	0.010	0.260	1.121	1.391
E	0.000	0.000	0.000	0.000
Totale	0.303	2.724	3.121	6.147
CO2				
0	0.513	5.039	0.571	6.123
1	0.528	5.947	0.842	7.317
2	1.832	19.852	10.133	31.817
3	10.276	107.509	44.035	161.820
4	4.042	39.590	143.709	187.341
5	42.609	260.233	251.000	553.841
6	214.821	1319.599	567.677	2102.097
E	0.000	0.000	0.000	0.000
Totale	274.621	1757.768	1017.967	3050.357

3.1.3 Confronto con gli anni precedenti

Il totale delle emissioni da traffico prodotte presso la spira in esame è stato confrontato con lo stesso valore stimato negli anni precedenti. Il risultato per gli NOx e per la CO₂ è riportato in Figura 31 e in Figura 32. Come si può osservare, le emissioni di NOx dovute ai veicoli leggeri, dopo il calo del 2020 dovuto alla diminuzione dei transiti in seguito alla pandemia da COVID-19, globalmente non salgono, grazie al rinnovamento del parco circolante. Le emissioni totali di CO₂ aumentano rispetto al 2020 perché il rinnovamento del parco circolante non comporta una riduzione rilevante delle emissioni mentre il maggior numero di veicoli transitati implica emissioni maggiori.

3.1 Sezione di misura al km 47+700

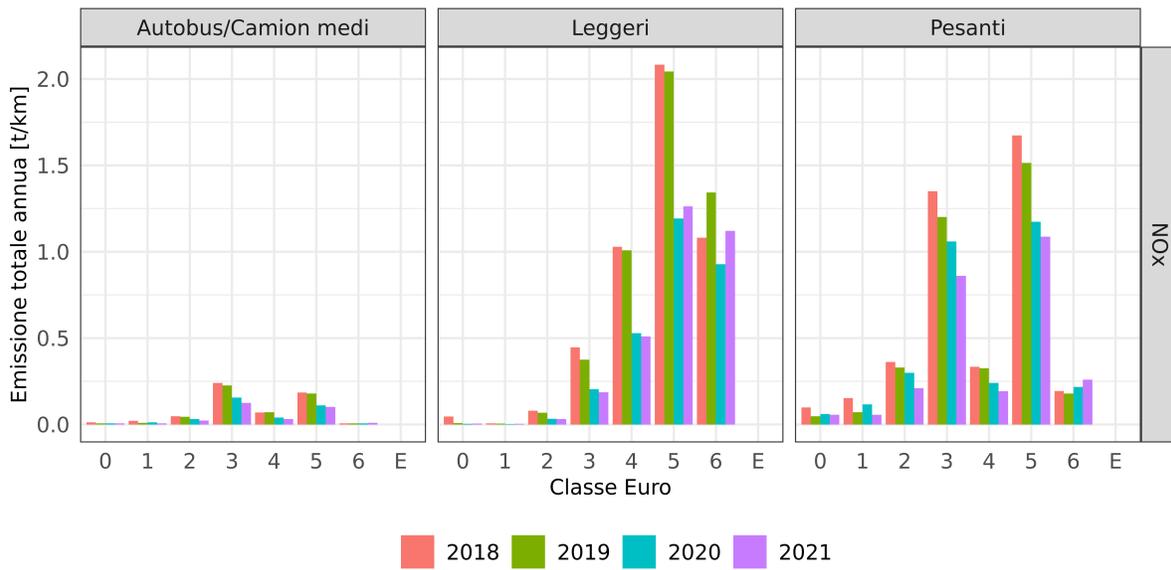


Figura 7: Emissione totale annua di NOx [t/anno/km] per classe Euro e per macro-classe di veicolo durante l'intero anno analizzato.

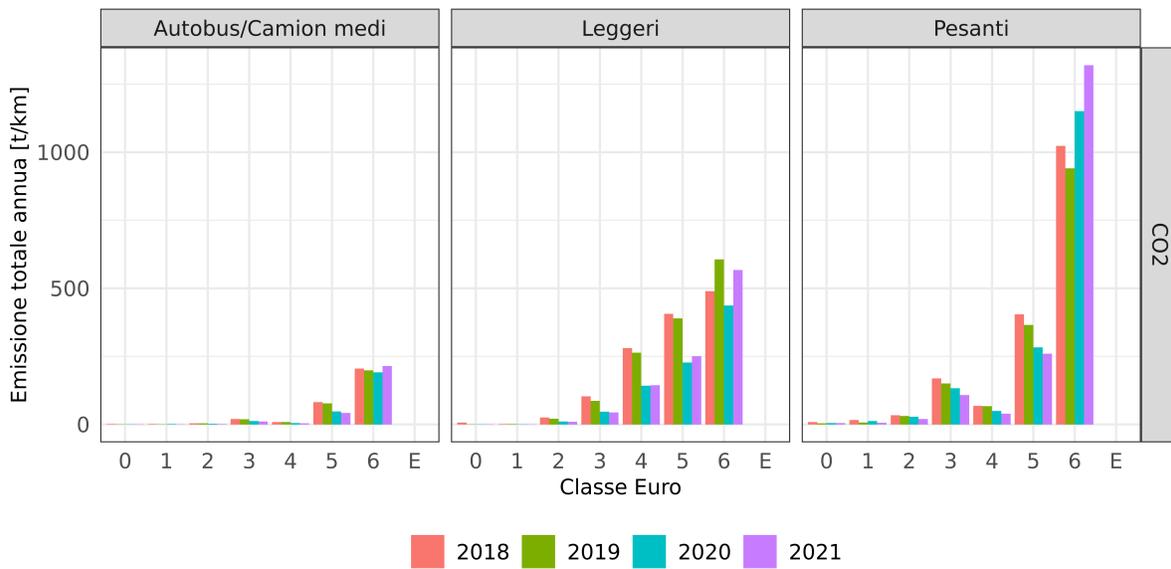


Figura 8: Emissione totale annua di CO2 [t/anno/km] per classe Euro e per macro-classe di veicolo durante l'intero anno analizzato.

3.2 Sezione di misura al km 81+200

3.2.1 Analisi dei dati di transito

In corrispondenza della sezione al km 81+200 sono stati analizzati i dati di transito e di velocità dei veicoli, registrati ogni 10 minuti, relativi all'anno 2021. In Tabella 13 è riportato un breve riassunto dei dati misurati nella stazione considerata.

Tabella 4: Percentuale di dati validi e valori medi annui del TGM e della velocità per ciascuna macro-classe di veicoli e per ciascuna carreggiata.

Carreggiata	Nord	Sud
TGM Autobus [veh/d]	620	910
TGM_Leggeri [veh/d]	11320	11166
TGM_Pesanti [veh/d]	3657	3647
Dati validi [%]	98.3%	98.7%
Vel. Autobus [km/h]	86.7	87.1
Vel. Leggeri [km/h]	105.4	103.6
Vel. Pesanti [km/h]	71.0	69.8

In Figura 27 e in Figura 28 sono mostrati gli andamenti temporali del traffico giornaliero medio (TGM) e della velocità media giornaliera per le tre macro-categorie di veicoli. Come si può osservare, il traffico pesante è caratterizzato da un andamento poco variabile durante l'anno, mentre il traffico leggero mostra un sensibile aumento durante i mesi estivi. Rispetto agli anni precedenti alla pandemia di COVID-19, i valori di traffico leggero durante i primi mesi dell'anno risultano essere molto inferiori.

3.2 Sezione di misura al km 81+200



Figura 9: Andamento temporale dei transiti medi giornalieri (TGM) durante l'anno per le tre macro-classi di veicoli considerate.

3.2 Sezione di misura al km 81+200

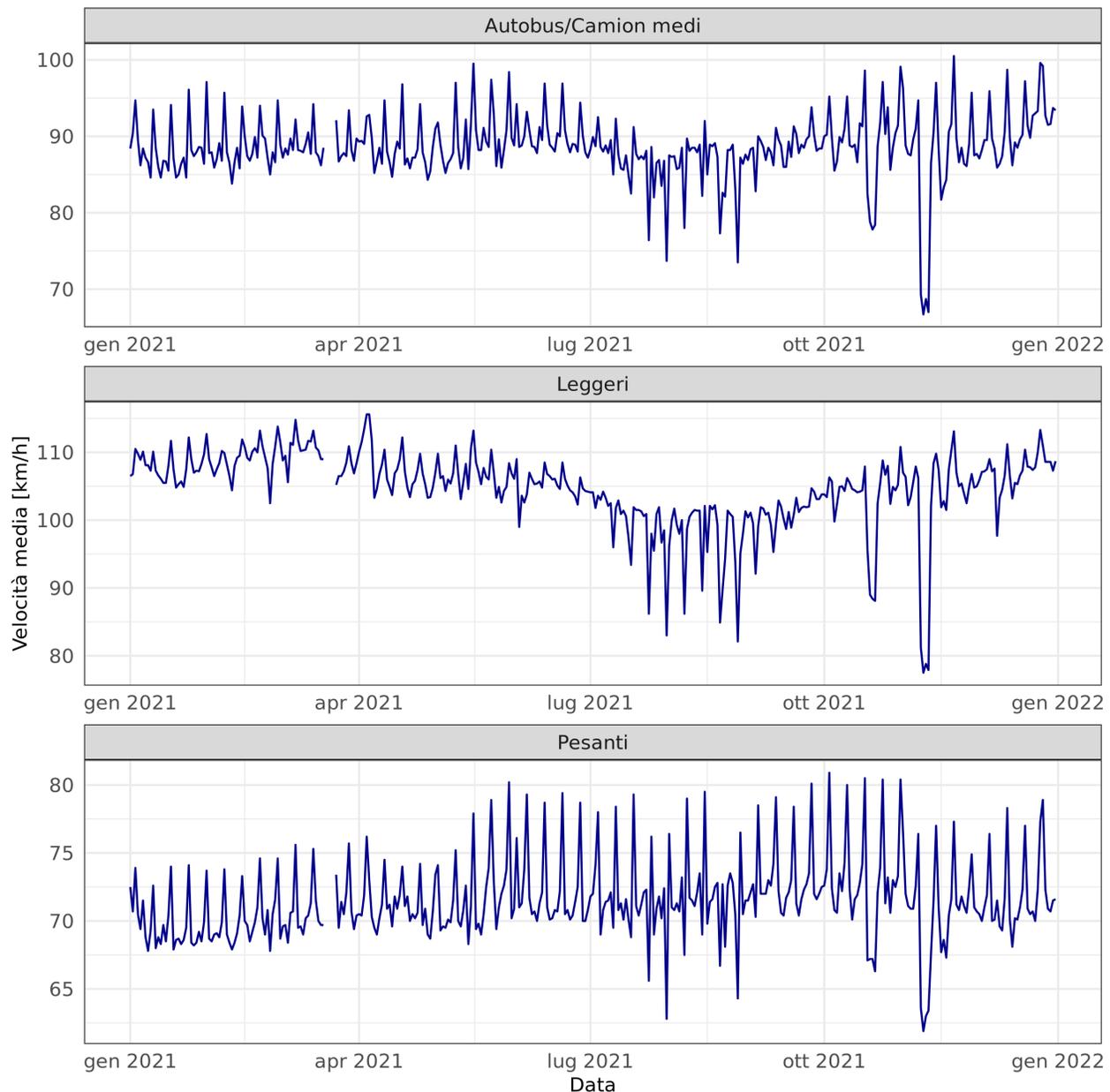


Figura 10: Andamento temporale delle velocità medie giornaliere durante l'anno per le tre diverse macro-categorie di veicoli.

La classificazione dei transiti medi mensili, utilizzando le tre macro-classi precedentemente descritte, è riportata in Figura 29. Come si può osservare, il sabato e la domenica la percentuale dei veicoli pesanti è minore, così come nei mesi estivi, dove i volumi di traffico leggero assumono valori molto più elevati. Rispetto agli anni precedenti alla pandemia di COVID-19, i valori di traffico leggero durante i primi mesi dell'anno risultano essere molto inferiori.

3.2 Sezione di misura al km 81+200

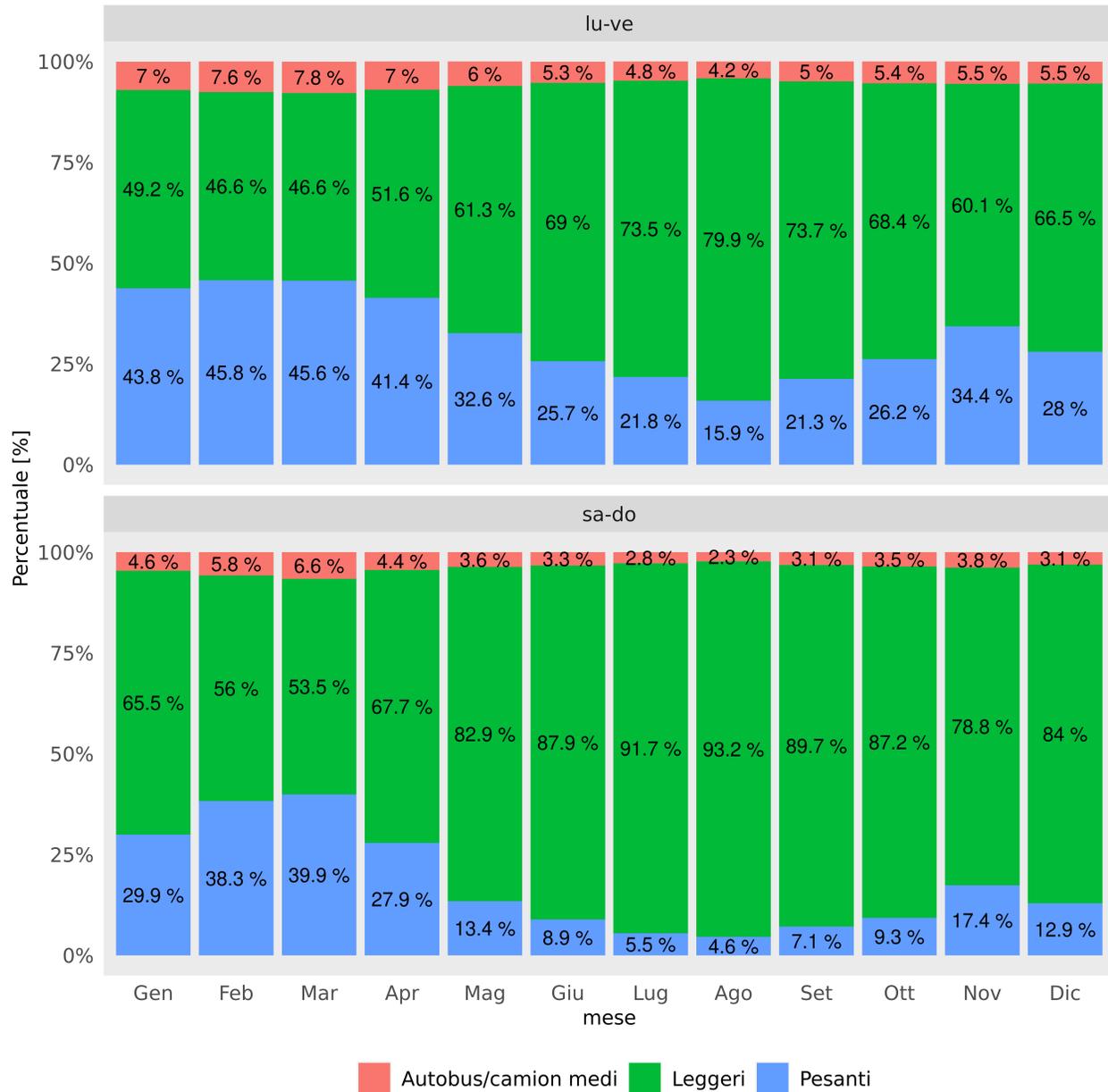


Figura 11: Distribuzione media mensile della tipologia di veicolo (leggeri, pesanti, autobus/camion medi) nei diversi mesi dell'anno, per i giorni dal lunedì al venerdì e per sabato e domenica.

3.2.2 Calcolo delle emissioni annuali prodotte

Partendo dai dati di traffico misurati ogni 10 minuti, è possibile stimare le emissioni da traffico prodotte attraverso il modello COPERT. Sommando tutte le emissioni prodotte durante l'anno, è possibile individuare quali classi Euro e quali macro-classi di veicoli contribuiscono maggiormente all'emissione totale presso la spira considerata. I risultati dell'elaborazione sono riportati in Figura 30 e in Tabella 14.

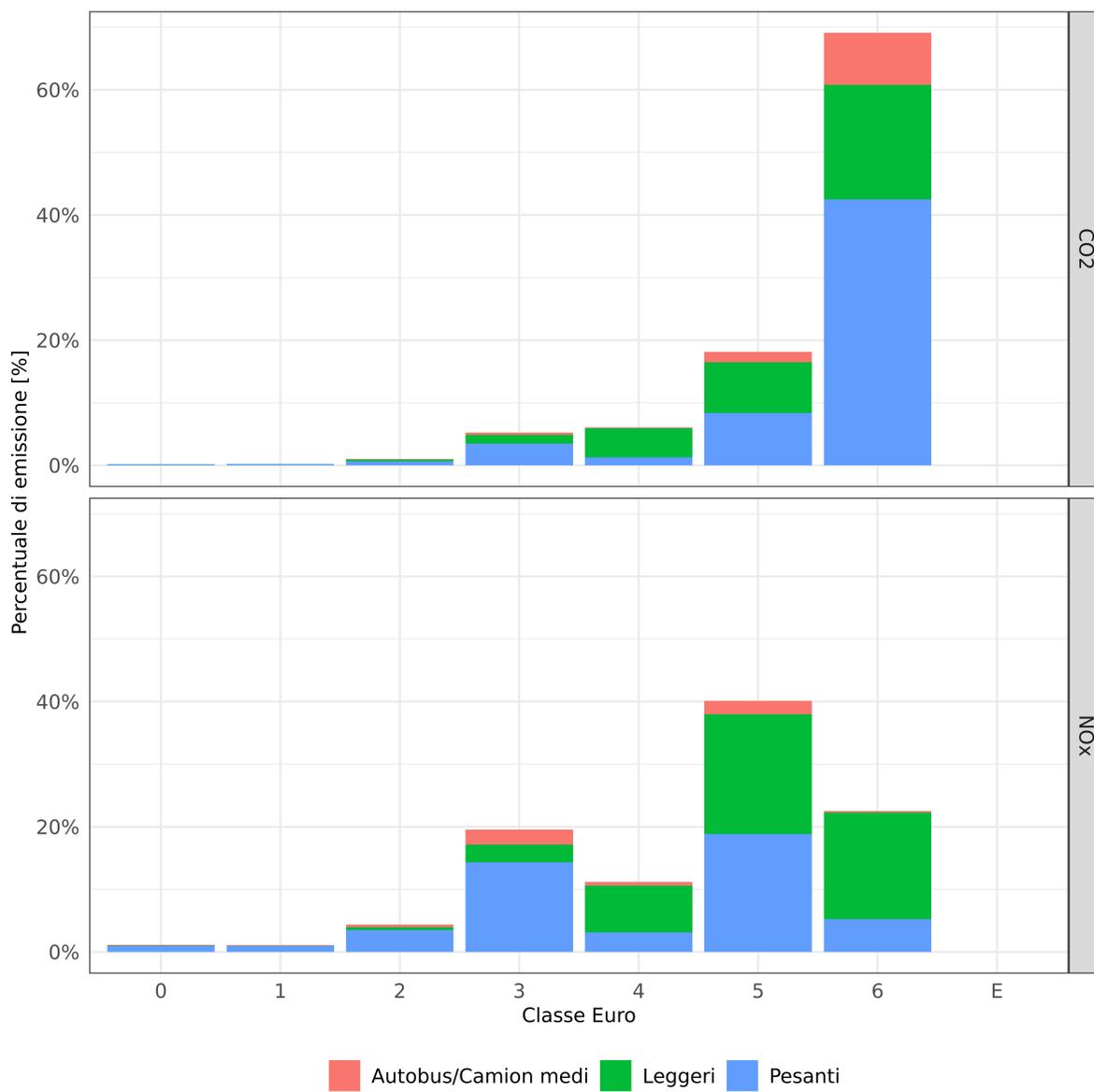


Figura 12: Percentuali di emissione di NOx e CO2 per classe Euro e per macro-classe di veicolo durante l'intero anno analizzato.

Tabella 5: Emissione percentuale di NOx e CO2 per classe Euro e per macro-classe di veicolo durante l'intero anno analizzato.

Euro	Autobus	Pesanti	Leggeri	Totale
NOx				
0	0.1%	0.9%	0.1%	1.1%
1	0.1%	0.9%	0%	1.1%
2	0.4%	3.5%	0.5%	4.4%
3	2.4%	14.3%	2.8%	19.5%
4	0.6%	3.1%	7.5%	11.2%
5	2.1%	18.8%	19.2%	40.1%
6	0.3%	5.2%	17%	22.5%
E	0%	0%	0%	0%
Totale	6.1%	46.8%	47.1%	100%
CO2				
0	0%	0.2%	0%	0.2%
1	0%	0.2%	0%	0.2%
2	0.1%	0.6%	0.3%	1%
3	0.4%	3.5%	1.4%	5.3%
4	0.1%	1.3%	4.6%	6.1%
5	1.6%	8.4%	8.1%	18.1%
6	8.3%	42.5%	18.3%	69.1%
E	0%	0%	0%	0%
Totale	10.6%	56.6%	32.8%	100%

In termini assoluti, le emissioni prodotte da ciascuna classe Euro e da ciascuna macro-classe di veicoli sono riportati in Tabella 15.

3.2 Sezione di misura al km 81+200

Tabella 6: Emissione totale di NOx e CO2 per classe Euro e per macro-classe di veicolo durante l'intero anno analizzato [t/km/anno].

Euro	Autobus	Pesanti	Leggeri	Totale
NOx				
0	0.007	0.062	0.006	0.075
1	0.007	0.062	0.003	0.073
2	0.027	0.232	0.031	0.290
3	0.160	0.948	0.187	1.295
4	0.040	0.207	0.496	0.743
5	0.142	1.248	1.270	2.661
6	0.018	0.347	1.130	1.494
E	0.000	0.000	0.000	0.000
Totale	0.402	3.106	3.123	6.632
CO2				
0	0.653	5.511	0.572	6.736
1	0.650	6.387	0.880	7.917
2	2.280	21.185	10.681	34.146
3	12.685	116.343	46.295	175.323
4	4.953	42.908	154.260	202.121
5	54.708	279.547	270.151	604.406
6	277.308	1418.402	610.426	2306.136
E	0.000	0.000	0.000	0.000
Totale	353.237	1890.283	1093.265	3336.785

3.2.3 Confronto con gli anni precedenti

Il totale delle emissioni da traffico prodotte presso la spira in esame è stato confrontato con lo stesso valore stimato negli anni precedenti. Il risultato per gli NOx e per la CO₂ è riportato in Figura 31 e in Figura 32. Come si può osservare, le emissioni di NOx dovute ai veicoli leggeri, dopo il calo del 2020 dovuto alla diminuzione dei transiti in seguito alla pandemia da COVID-19, globalmente non salgono, grazie al rinnovamento del parco circolante. Le emissioni totali di CO₂ aumentano rispetto al 2020 perché il rinnovamento del parco circolante non comporta una riduzione rilevante delle emissioni mentre il maggior numero di veicoli transitati implica emissioni maggiori.

3.2 Sezione di misura al km 81+200

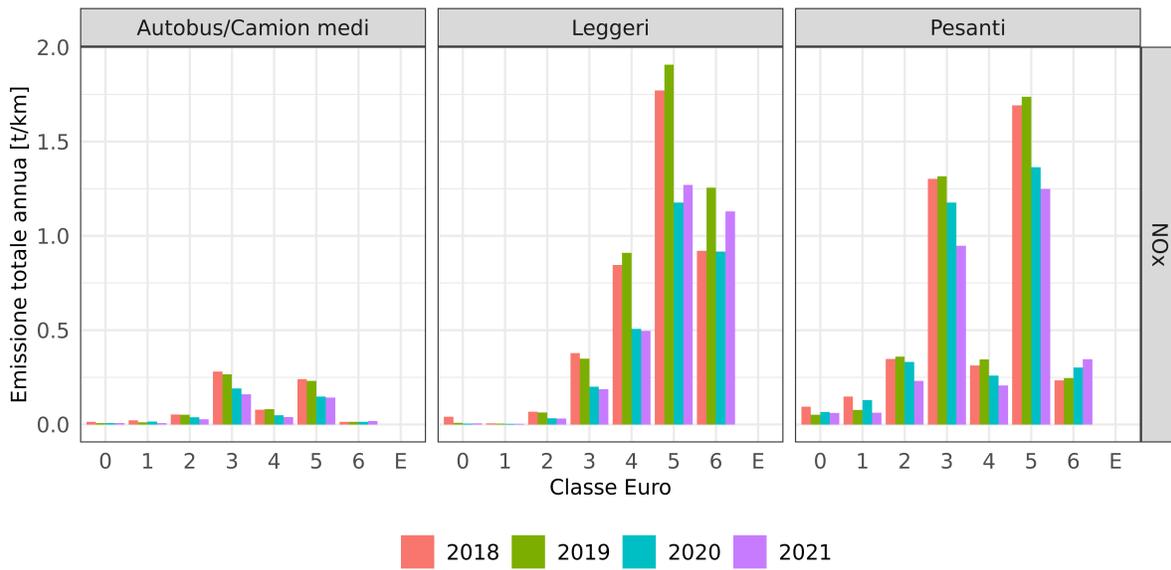


Figura 13: Emissione totale annua di NOx [t/anno/km] per classe Euro e per macro-classe di veicolo durante l'intero anno analizzato.

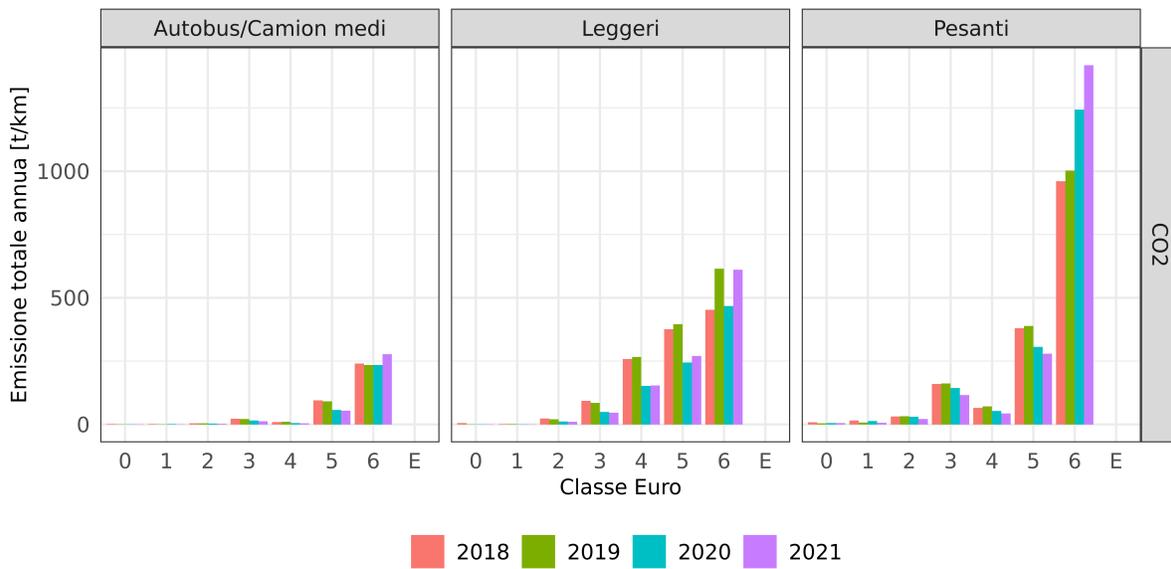


Figura 14: Emissione totale annua di CO2 [t/anno/km] per classe Euro e per macro-classe di veicolo durante l'intero anno analizzato.

3.3 Sezione di misura al km 103+000

3.3.1 Analisi dei dati di transito

In corrispondenza della sezione al km 103+000 sono stati analizzati i dati di transito e di velocità dei veicoli, registrati ogni 10 minuti, relativi all'anno 2021. In Tabella 13 è riportato un breve riassunto dei dati misurati nella stazione considerata.

Tabella 7: Percentuale di dati validi e valori medi annui del TGM e della velocità per ciascuna macro-classe di veicoli e per ciascuna carreggiata.

Carreggiata	Nord	Sud
TGM Autobus [veh/d]	657	664
TGM_Leggeri [veh/d]	11217	11025
TGM_Pesanti [veh/d]	3110	3150
Dati validi [%]	84.8%	84.8%
Vel. Autobus [km/h]	96.0	96.1
Vel. Leggeri [km/h]	122.5	119.4
Vel. Pesanti [km/h]	85.4	85.6

In Figura 27 e in Figura 28 sono mostrati gli andamenti temporali del traffico giornaliero medio (TGM) e della velocità media giornaliera per le tre macro-categorie di veicoli. Come si può osservare, il traffico pesante è caratterizzato da un andamento poco variabile durante l'anno, mentre il traffico leggero mostra un sensibile aumento durante i mesi estivi. Rispetto agli anni precedenti alla pandemia di COVID-19, i valori di traffico leggero durante i primi mesi dell'anno risultano essere molto inferiori. Inoltre da ottobre fino a fine anno, non sono stati registrati dati, per cui la serie risulta incompleta.

3.3 Sezione di misura al km 103+000



Figura 15: Andamento temporale dei transiti medi giornalieri (TGM) durante l'anno per le tre macro-classi di veicoli considerate.

3.3 Sezione di misura al km 103+000

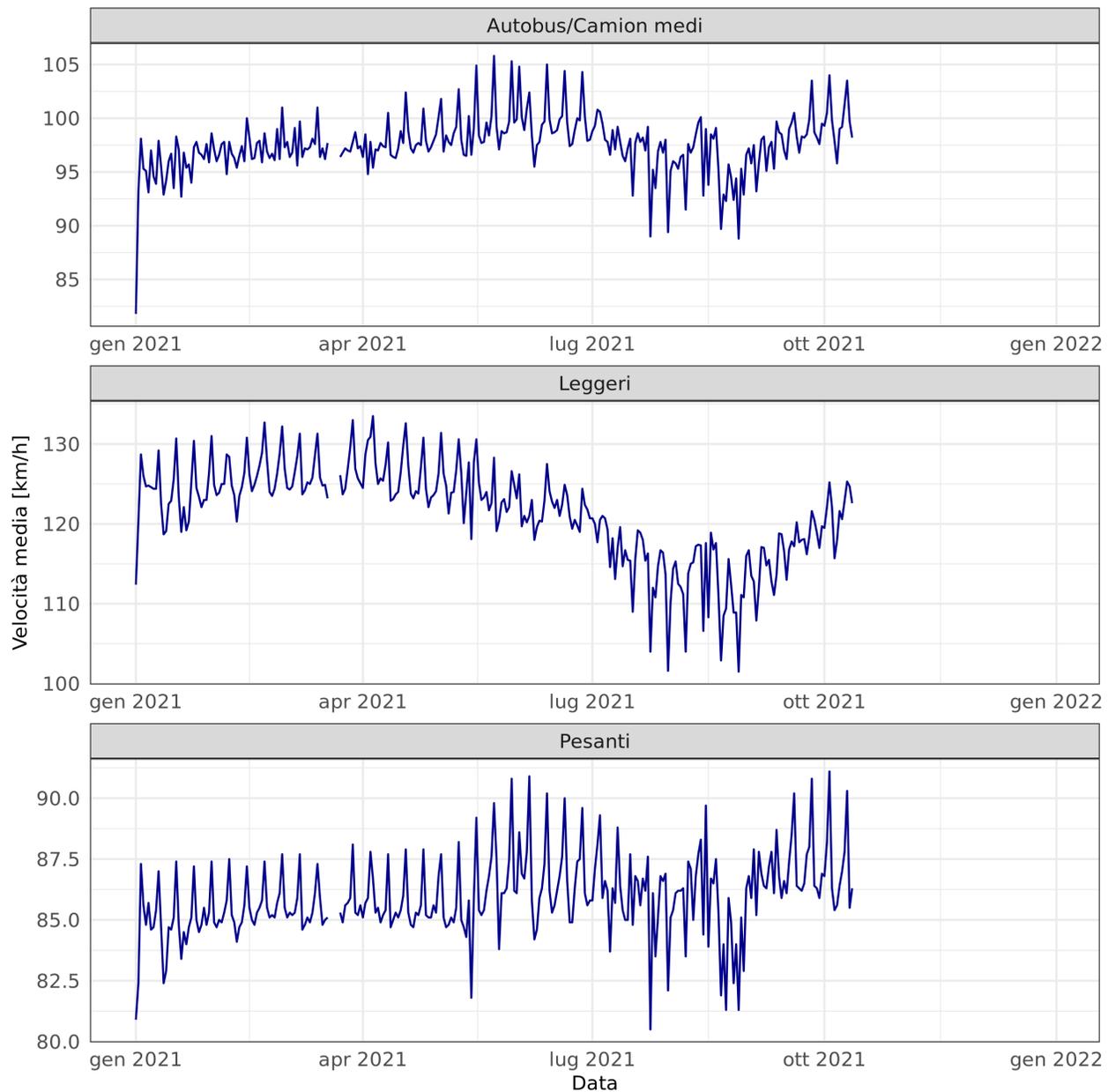


Figura 16: Andamento temporale delle velocità medie giornalieri durante l'anno per le tre diverse macro-categorie di veicoli.

La classificazione dei transiti media mensile, utilizzando le tre macro-classi precedentemente descritte, è riportata in Figura 29. Come si può osservare, il sabato e la domenica la percentuale dei veicoli pesanti è minore, così come nei mesi estivi, dove i volumi di traffico leggero assumono valori molto più elevati. Rispetto agli anni precedenti alla pandemia di COVID-19, i valori di traffico leggero durante i primi mesi dell'anno risultano essere molto inferiori.

3.3 Sezione di misura al km 103+000

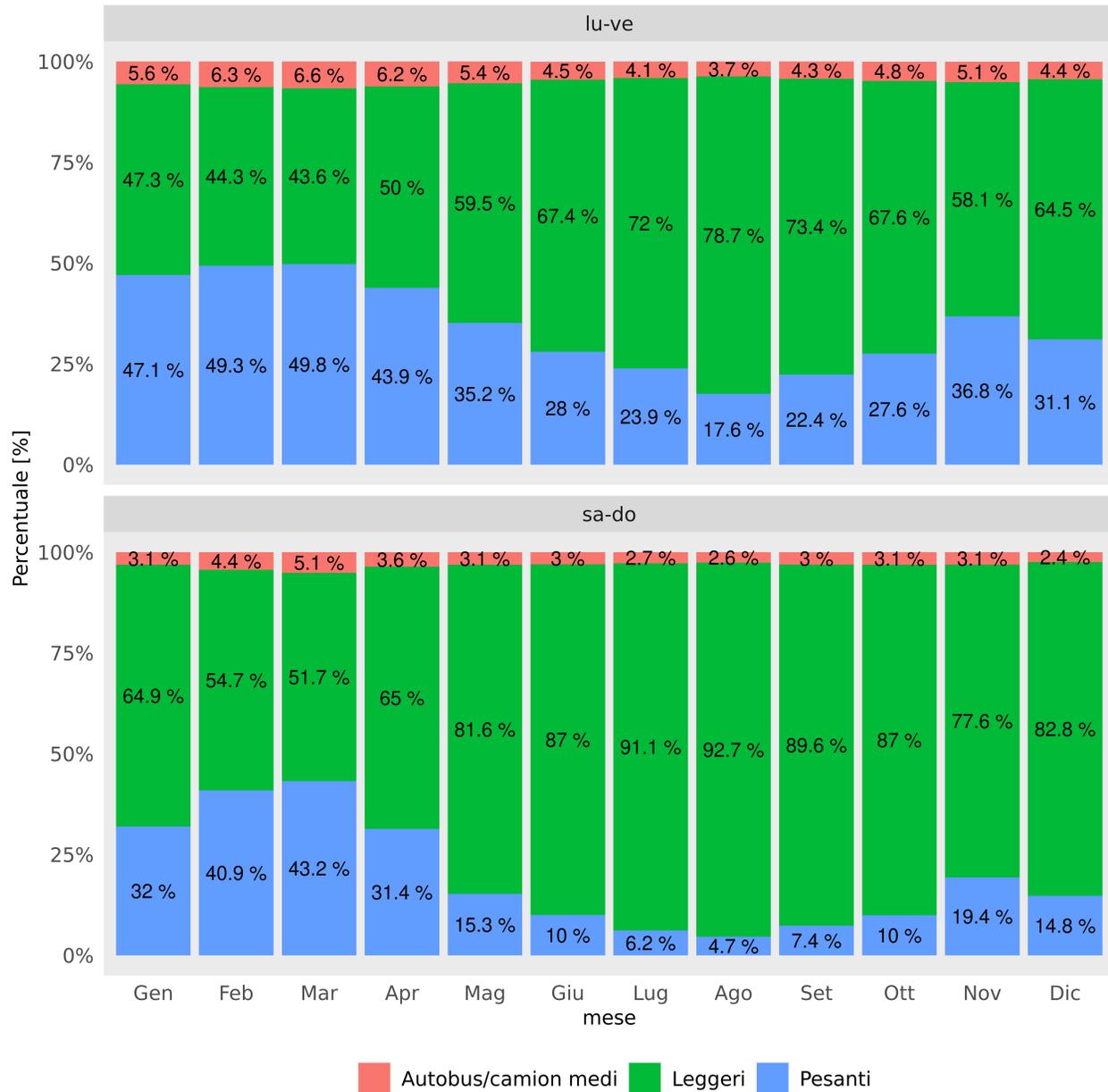


Figura 17: Distribuzione media mensile della tipologia di veicolo (leggeri, pesanti, autobus/camion medi) nei diversi mesi dell'anno, per i giorni dal lunedì al venerdì e per sabato e domenica.

3.3.2 Calcolo delle emissioni annuali prodotte

Partendo dai dati di traffico misurati ogni 10 minuti, è possibile stimare le emissioni da traffico prodotte attraverso il modello COPERT. Sommando tutte le emissioni prodotte durante l'anno, è possibile individuare quali classi Euro e quali macro-classi di veicoli contribuiscono maggiormente all'emissione totale presso la spira considerata. I risultati dell'elaborazione sono riportati in Figura 30 e in Tabella 14 .

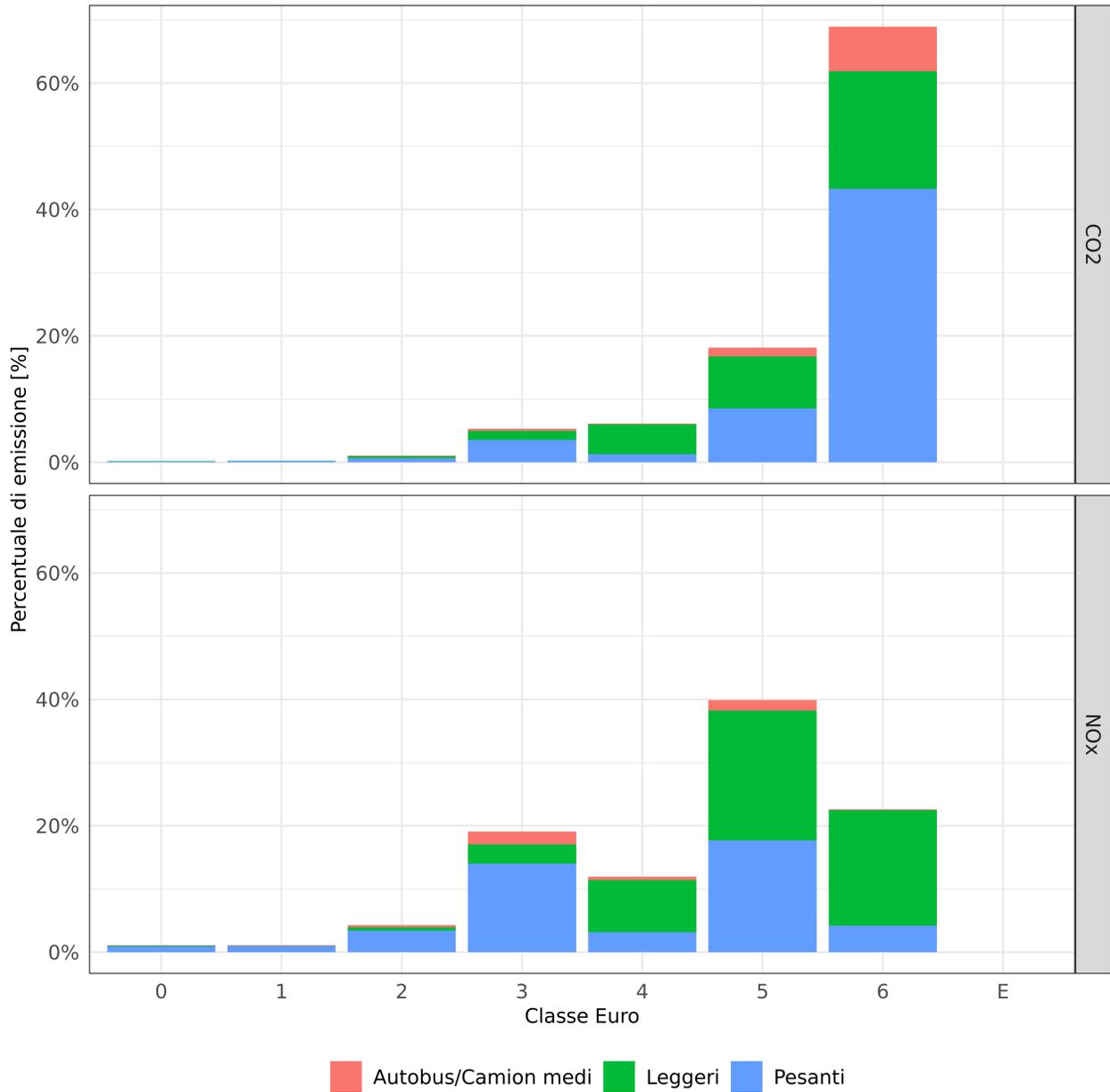


Figura 18: Percentuali di emissione di NOx e CO2 per classe Euro e per macro-classe di veicolo durante l'intero anno analizzato.

3.3 Sezione di misura al km 103+000

Tabella 8: Emissione percentuale di NOx e CO2 per classe Euro e per macro-classe di veicolo durante l'intero anno analizzato.

Euro	Autobus	Pesanti	Leggeri	Totale
NOx				
0	0.1%	0.8%	0.1%	1%
1	0.1%	0.8%	0.1%	0.9%
2	0.4%	2.8%	0.6%	3.8%
3	2.1%	11.5%	3.6%	17.2%
4	0.5%	2.6%	9.6%	12.8%
5	1.6%	14.5%	23.7%	39.8%
6	0.1%	3.3%	21.1%	24.5%
E	0%	0%	0%	0%
Totale	4.9%	36.3%	58.8%	100%
CO2				
0	0%	0.1%	0%	0.2%
1	0%	0.2%	0%	0.2%
2	0.1%	0.6%	0.4%	1%
3	0.4%	3.1%	1.7%	5.2%
4	0.1%	1.2%	5.5%	6.8%
5	1.5%	7.6%	9.5%	18.7%
6	7.8%	38.5%	21.6%	67.9%
E	0%	0%	0%	0%
Totale	10%	51.3%	38.7%	100%

In termini assoluti, le emissioni prodotte da ciascuna classe Euro e da ciascuna macro-classe di veicoli sono riportati in Tabella 15.

3.3 Sezione di misura al km 103+000

Tabella 9: Emissione totale di NOx e CO2 per classe Euro e per macro-classe di veicolo durante l'intero anno analizzato [t/km/anno].

Euro	Autobus	Pesanti	Leggeri	Totale
NOx				
0	0.006	0.049	0.006	0.062
1	0.007	0.049	0.004	0.060
2	0.024	0.184	0.038	0.246
3	0.135	0.750	0.236	1.120
4	0.035	0.169	0.627	0.831
5	0.107	0.941	1.544	2.592
6	0.008	0.217	1.370	1.595
E	0.000	0.000	0.000	0.000
Totale	0.322	2.359	3.825	6.506
CO2				
0	0.556	4.399	0.693	5.648
1	0.579	5.205	0.983	6.767
2	2.003	17.387	11.751	31.141
3	11.260	94.006	51.155	156.421
4	4.441	34.628	163.894	202.963
5	46.314	227.586	285.459	559.358
6	232.931	1153.909	646.236	2033.076
E	0.000	0.000	0.000	0.000
Totale	298.085	1537.119	1160.169	2995.373

3.3.3 Confronto con gli anni precedenti

Il totale delle emissioni da traffico prodotte presso la spira in esame è stato confrontato con lo stesso valore stimato negli anni precedenti. Il risultato per gli NOx e per la CO₂ è riportato in Figura 31 e in Figura 32. Come si può osservare, sia le emissioni di NOx che quelle di CO₂ mostrano un calo rispetto al 2020, dovuto sia al rinnovamento del parco circolante ma soprattutto alla serie incompleta di dati di dati di traffico.

3.3 Sezione di misura al km 103+000

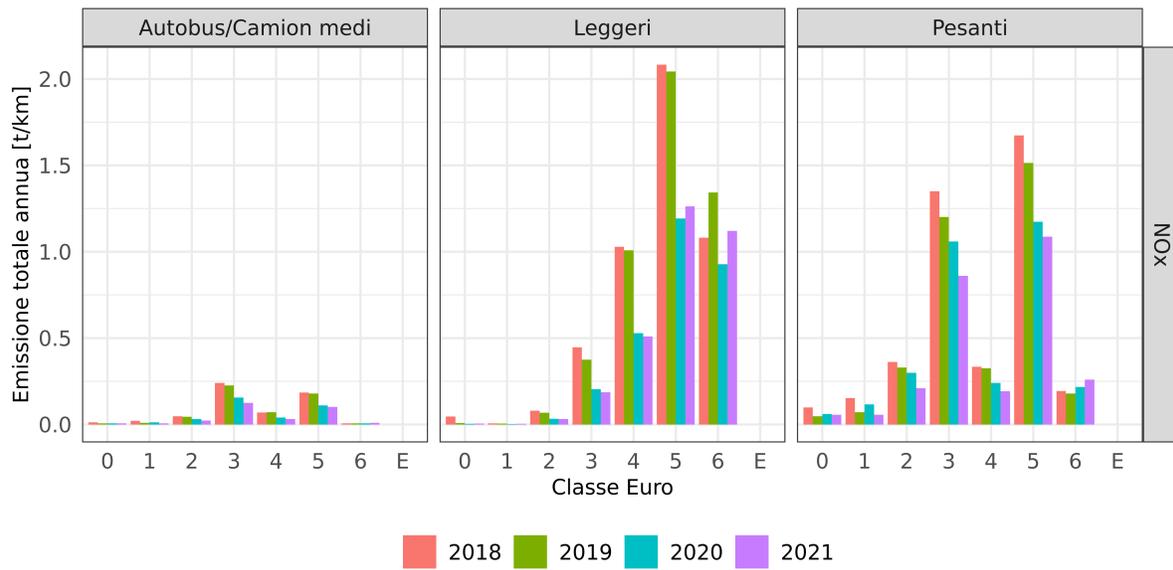


Figura 19: Emissione totale annua di NOx [t/anno/km] per classe Euro e per macro-classe di veicolo durante l'intero anno analizzato.

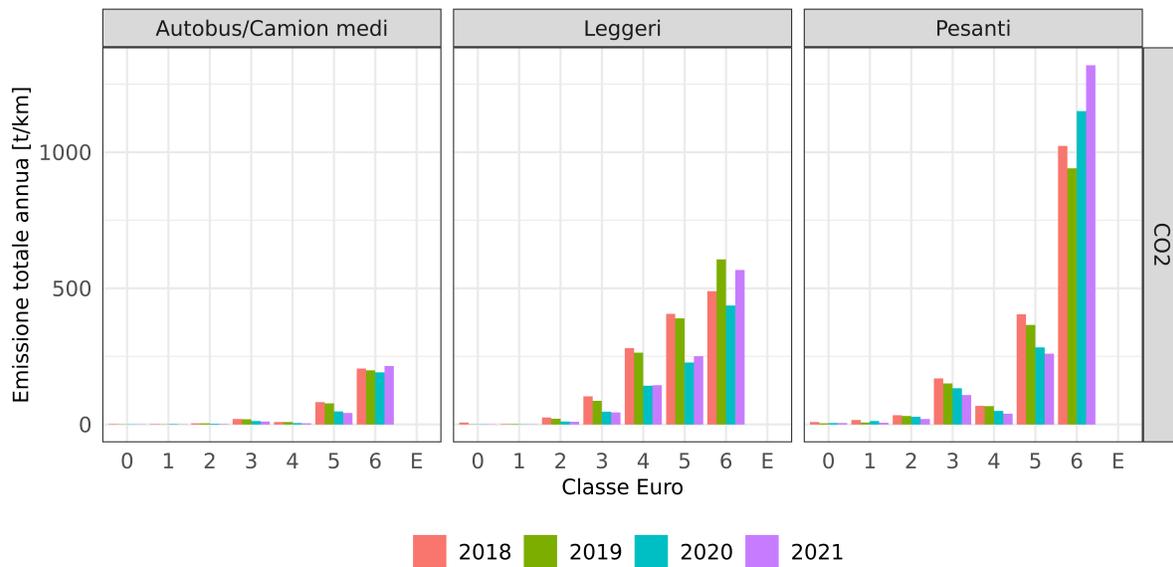


Figura 20: Emissione totale annua di CO2 [t/anno/km] per classe Euro e per macro-classe di veicolo durante l'intero anno analizzato.

3.4 Sezione di misura al km 123+960

3.4.1 Analisi dei dati di transito

In corrispondenza della sezione al km 123+960 sono stati analizzati i dati di transito e di velocità dei veicoli, registrati ogni 10 minuti, relativi all'anno 2021. In Tabella 13 è riportato un breve riassunto dei dati misurati nella stazione considerata.

Tabella 10: Percentuale di dati validi e valori medi annui del TGM e della velocità per ciascuna macro-classe di veicoli e per ciascuna carreggiata.

Carreggiata	Nord	Sud
TGM Autobus [veh/d]	807	773
TGM_Leggeri [veh/d]	14107	13700
TGM_Pesanti [veh/d]	4054	4094
Dati validi [%]	98.8%	98.8%
Vel. Autobus [km/h]	96.0	95.5
Vel. Leggeri [km/h]	123.0	122.2
Vel. Pesanti [km/h]	85.8	85.2

In Figura 27 e in Figura 28 sono mostrati gli andamenti temporali del traffico giornaliero medio (TGM) e della velocità media giornaliera per le tre macro-categorie di veicoli. Come si può osservare, il traffico pesante è caratterizzato da un andamento poco variabile durante l'anno, mentre il traffico leggero mostra un sensibile aumento durante i mesi estivi. Rispetto agli anni precedenti alla pandemia di COVID-19, i valori di traffico leggero durante i primi mesi dell'anno risultano essere molto inferiori.

3.4 Sezione di misura al km 123+960



Figura 21: Andamento temporale dei transiti medi giornalieri (TGM) durante l'anno per le tre macro-classi di veicoli considerate.

3.4 Sezione di misura al km 123+960

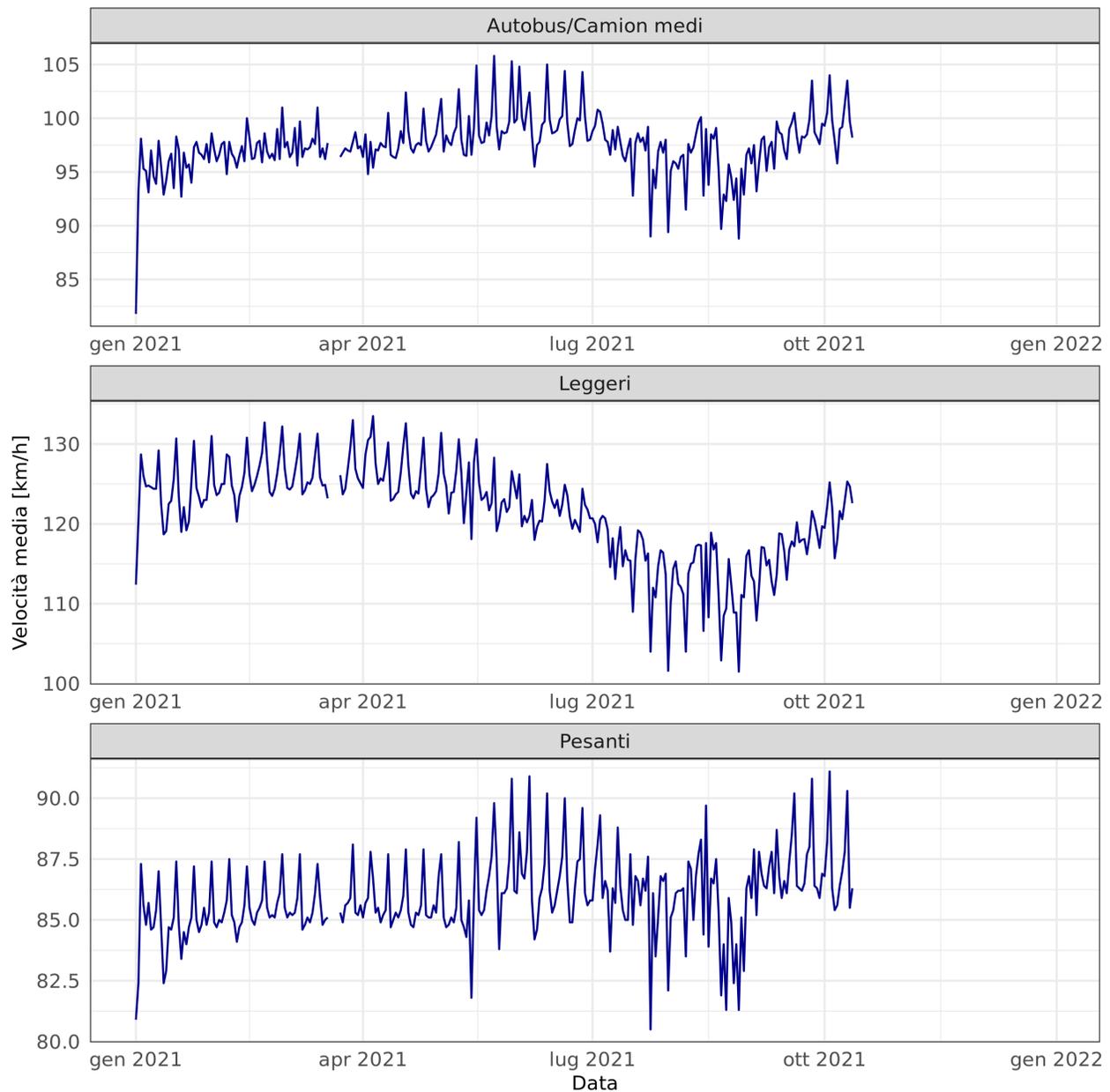


Figura 22: Andamento temporale delle velocità medie giornalieri durante l'anno per le tre diverse macro-categorie di veicoli.

La classificazione dei transiti media mensile, utilizzando le tre macro-classi precedentemente descritte, è riportata in Figura 29. Come si può osservare, il sabato e la domenica la percentuale dei veicoli pesanti è minore, così come nei mesi estivi, dove i volumi di traffico leggero assumono valori molto più elevati. Rispetto agli anni precedenti alla pandemia di COVID-19, i valori di traffico leggero durante i primi mesi dell'anno risultano essere molto inferiori.

3.4 Sezione di misura al km 123+960

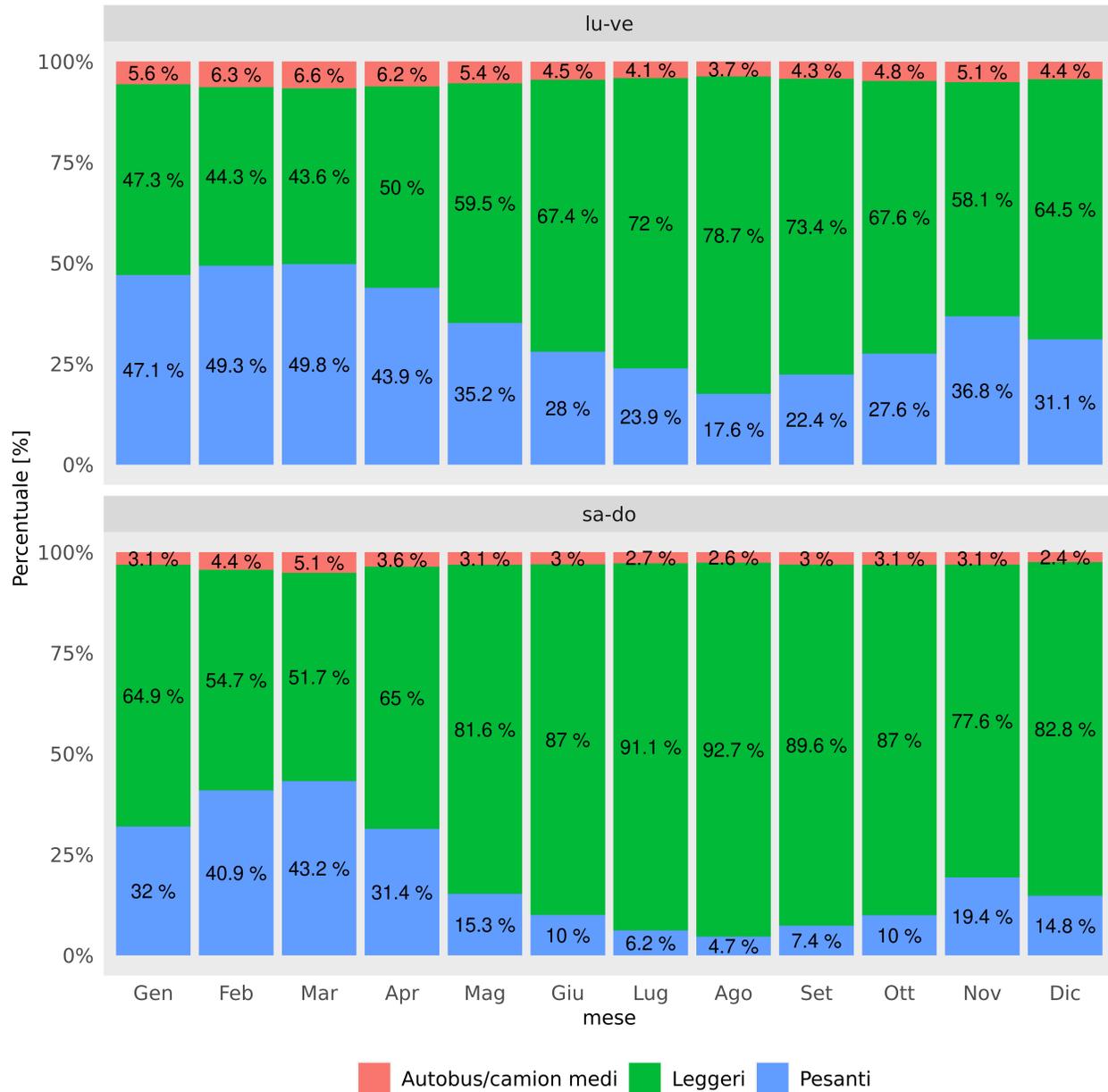


Figura 23: Distribuzione media mensile della tipologia di veicolo (leggeri, pesanti, autobus/camion medi) nei diversi mesi dell'anno, per i giorni dal lunedì al venerdì e per sabato e domenica.

3.4.2 Calcolo delle emissioni annuali prodotte

Partendo dai dati di traffico misurati ogni 10 minuti, è possibile stimare le emissioni da traffico prodotte attraverso il modello COPERT. Sommando tutte le emissioni prodotte durante l'anno, è possibile individuare quali classi Euro e quali macro-classi di veicoli contribuiscono maggiormente all'emissione totale presso la spira considerata. I risultati dell'elaborazione sono riportati in Figura 30 e in Tabella 14 .

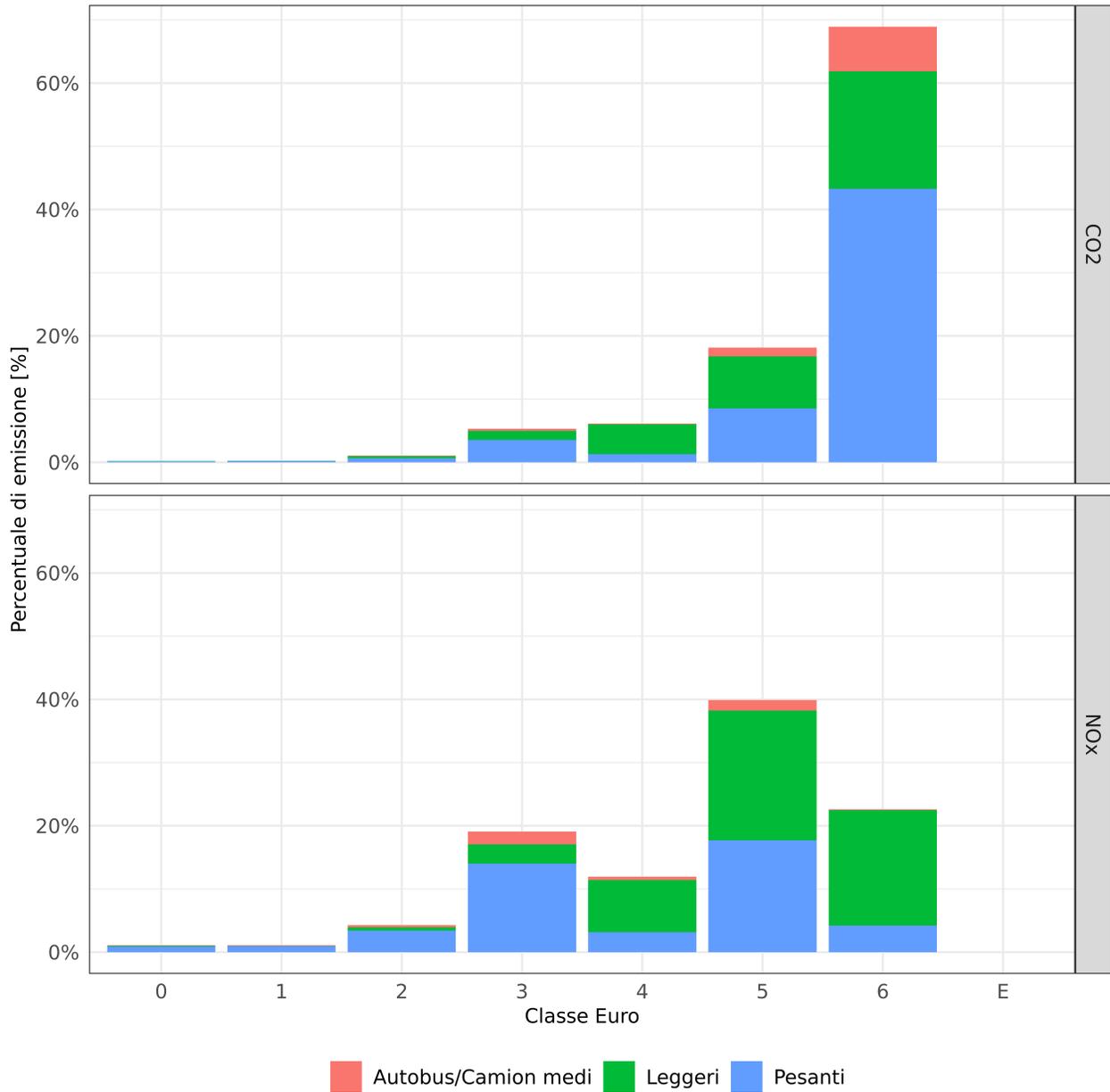


Figura 24: Percentuali di emissione di NOx e CO2 per classe Euro e per macro-classe di veicolo durante l'intero anno analizzato.

3.4 Sezione di misura al km 123+960

Tabella 11: Emissione percentuale di NOx e CO2 per classe Euro e per macro-classe di veicolo durante l'intero anno analizzato.

Euro	Autobus	Pesanti	Leggeri	Totale
NOx				
0	0.1%	0.8%	0.1%	1%
1	0.1%	0.8%	0.1%	0.9%
2	0.4%	2.8%	0.6%	3.8%
3	2.1%	11.5%	3.6%	17.2%
4	0.5%	2.6%	9.6%	12.8%
5	1.6%	14.5%	23.7%	39.8%
6	0.1%	3.3%	21.1%	24.5%
E	0%	0%	0%	0%
Totale	4.9%	36.3%	58.8%	100%
CO2				
0	0%	0.1%	0%	0.2%
1	0%	0.2%	0%	0.2%
2	0.1%	0.6%	0.4%	1%
3	0.4%	3.1%	1.7%	5.2%
4	0.1%	1.2%	5.5%	6.8%
5	1.5%	7.6%	9.5%	18.7%
6	7.8%	38.5%	21.6%	67.9%
E	0%	0%	0%	0%
Totale	10%	51.3%	38.7%	100%

In termini assoluti, le emissioni prodotte da ciascuna classe Euro e da ciascuna macro-classe di veicoli sono riportati in Tabella 15.

3.4 Sezione di misura al km 123+960

Tabella 12: Emissione totale di NOx e CO2 per classe Euro e per macro-classe di veicolo durante l'intero anno analizzato [t/km/anno].

Euro	Autobus	Pesanti	Leggeri	Totale
NOx				
0	0.008	0.064	0.008	0.080
1	0.008	0.064	0.005	0.077
2	0.029	0.239	0.050	0.317
3	0.161	0.975	0.310	1.446
4	0.042	0.220	0.817	1.078
5	0.128	1.223	2.008	3.359
6	0.009	0.282	1.779	2.071
E	0.000	0.000	0.000	0.000
Totale	0.384	3.067	4.977	8.428
CO2				
0	0.665	5.722	0.897	7.284
1	0.693	6.771	1.256	8.720
2	2.396	22.621	14.978	39.995
3	13.466	122.297	65.248	201.011
4	5.312	45.050	207.605	257.968
5	55.407	296.069	361.214	712.690
6	278.594	1501.126	818.032	2597.753
E	0.000	0.000	0.000	0.000
Totale	356.533	1999.658	1469.230	3825.420

3.4.3 Confronto con gli anni precedenti

Il totale delle emissioni da traffico prodotte presso la spira in esame è stato confrontato con lo stesso valore stimato negli anni precedenti. Il risultato per gli NOx e per la CO₂ è riportato in Figura 31 e in Figura 32. Come si può osservare, le emissioni di NOx dovute ai veicoli leggeri, dopo il calo del 2020 dovuto alla diminuzione dei transiti in seguito alla pandemia da COVID-19, globalmente non salgono, grazie al rinnovamento del parco circolante. Le emissioni totali di CO₂ aumentano rispetto al 2020 perché il rinnovamento del parco circolante non comporta una riduzione rilevante delle emissioni mentre il maggior numero di veicoli transitati implica emissioni maggiori. I valori del 2018 risultano invece così bassi perché di fatto la spira contatraffico ha registrato dati validi soltanto nel mese di dicembre.

3.4 Sezione di misura al km 123+960

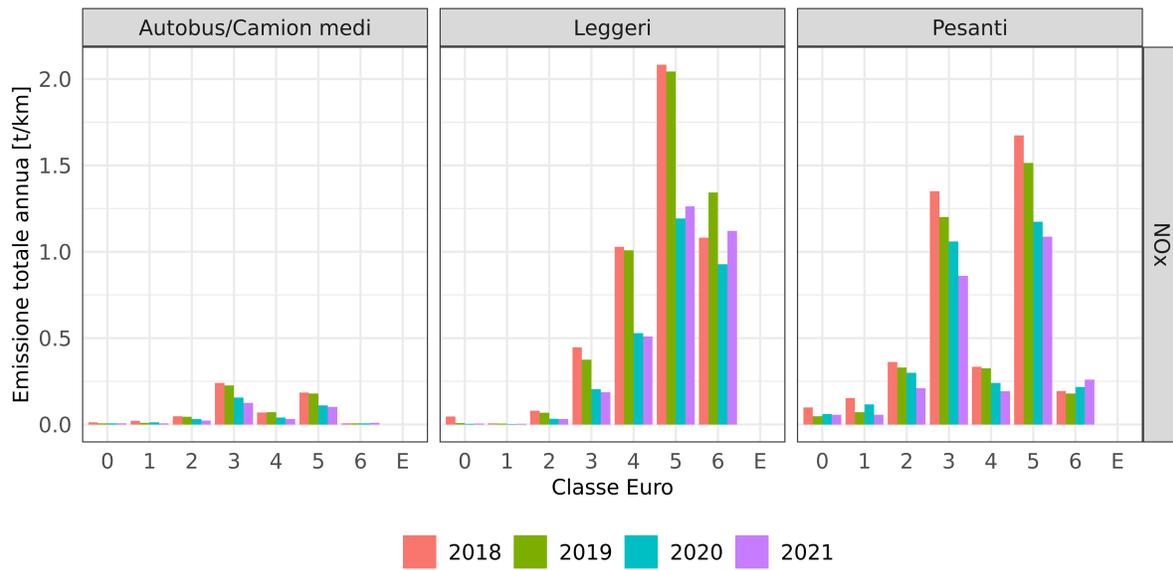


Figura 25: Emissione totale annua di NOx [t/anno/km] per classe Euro e per macro-classe di veicolo durante l'intero anno analizzato.

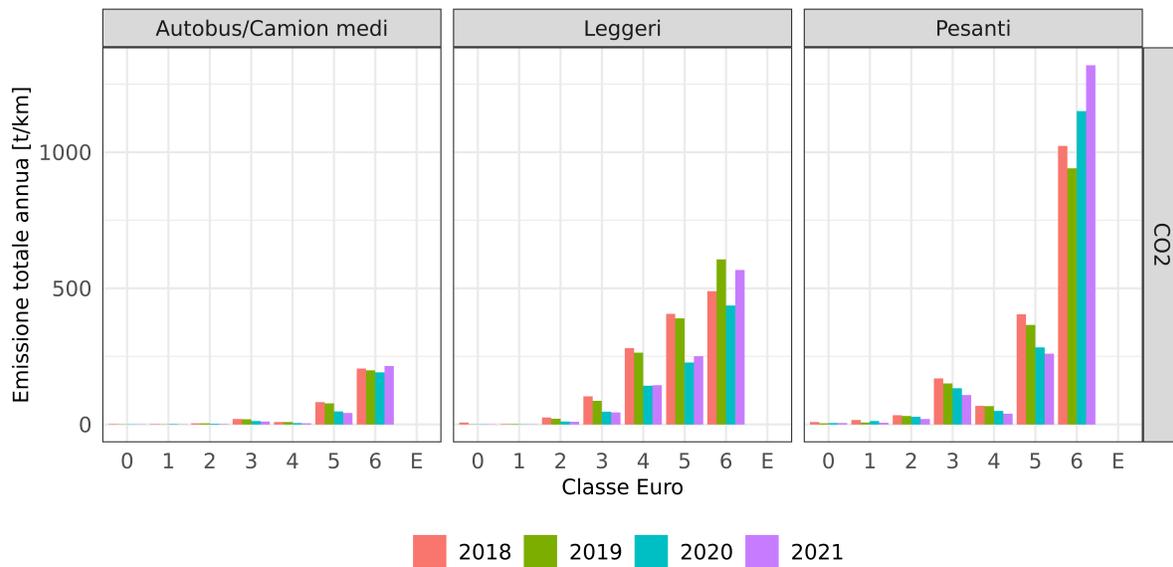


Figura 26: Emissione totale annua di CO2 [t/anno/km] per classe Euro e per macro-classe di veicolo durante l'intero anno analizzato.

3.5 Sezione di misura al km 156+595

3.5.1 Analisi dei dati di transito

In corrispondenza della sezione al km 156+595 sono stati analizzati i dati di transito e di velocità dei veicoli, registrati ogni 10 minuti, relativi all'anno 2021. In Tabella 13 è riportato un breve riassunto dei dati misurati nella stazione considerata.

Tabella 13: Percentuale di dati validi e valori medi annui del TGM e della velocità per ciascuna macro-classe di veicoli e per ciascuna carreggiata.

Carreggiata	Nord	Sud
TGM Autobus [veh/d]	800	747
TGM_Leggeri [veh/d]	15641	15159
TGM_Pesanti [veh/d]	3898	3903
Dati validi [%]	98.8%	98.7%
Vel. Autobus [km/h]	95.6	94.4
Vel. Leggeri [km/h]	123.4	119.0
Vel. Pesanti [km/h]	85.5	84.3

In Figura 27 e in Figura 28 sono mostrati gli andamenti temporali del traffico giornaliero medio (TGM) e della velocità media giornaliera per le tre macro-categorie di veicoli. Come si può osservare, il traffico pesante è caratterizzato da un andamento poco variabile durante l'anno, mentre il traffico leggero mostra un sensibile aumento durante i mesi estivi. Rispetto agli anni precedenti alla pandemia di COVID-19, i valori di traffico leggero durante i primi mesi dell'anno risultano essere molto inferiori.

3.5 Sezione di misura al km 156+595



Figura 27: Andamento temporale dei transiti medi giornalieri (TGM) durante l'anno per le tre macro-classi di veicoli considerate.

3.5 Sezione di misura al km 156+595

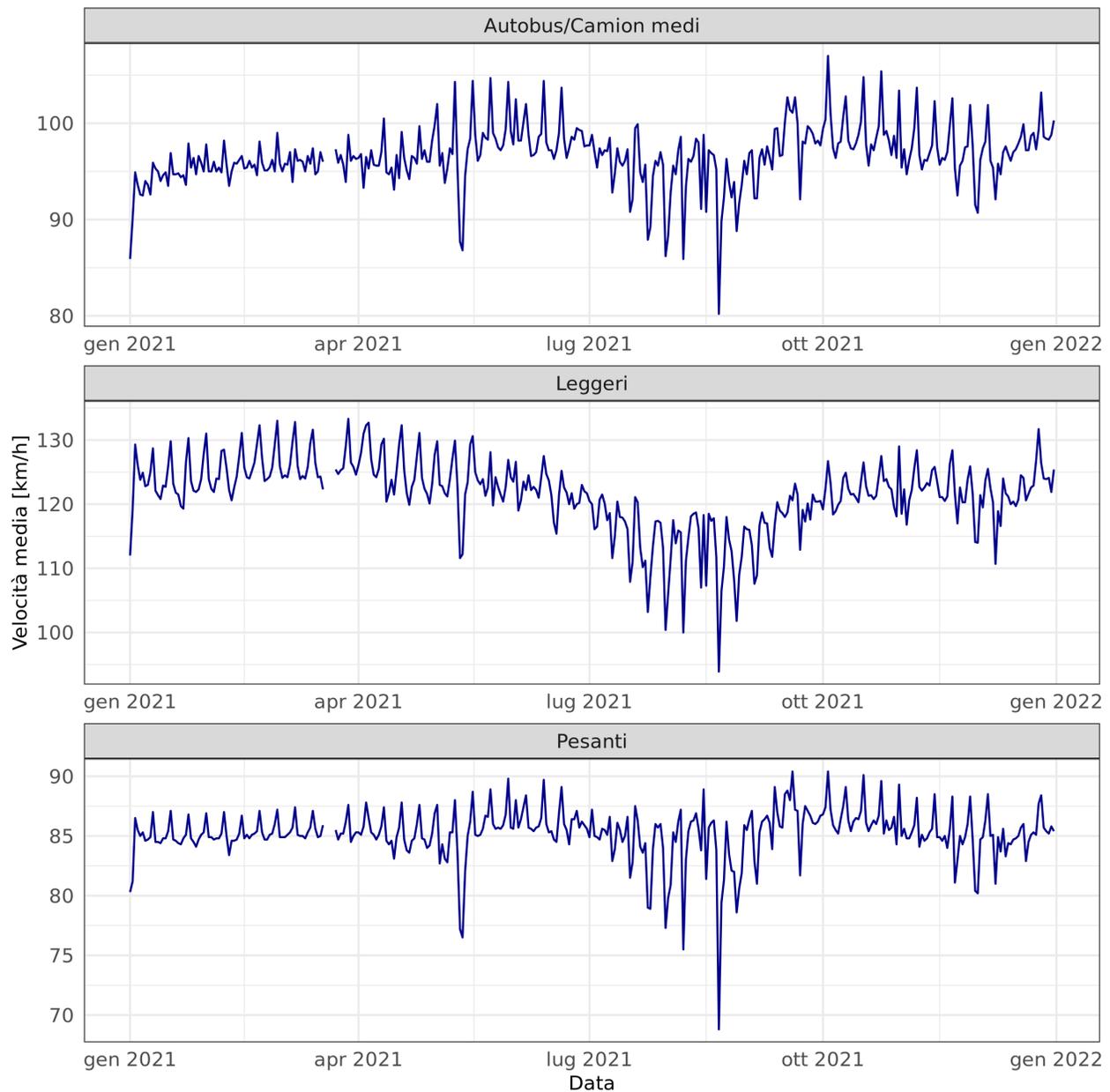


Figura 28: Andamento temporale delle velocità medie giornaliere durante l'anno per le tre diverse macro-categorie di veicoli.

La classificazione dei transiti media mensile, utilizzando le tre macro-classi precedentemente descritte, è riportata in Figura 29. Come si può osservare, il sabato e la domenica la percentuale dei veicoli pesanti è minore, così come nei mesi estivi, dove i volumi di traffico leggero assumono valori molto più elevati.

3.5 Sezione di misura al km 156+595

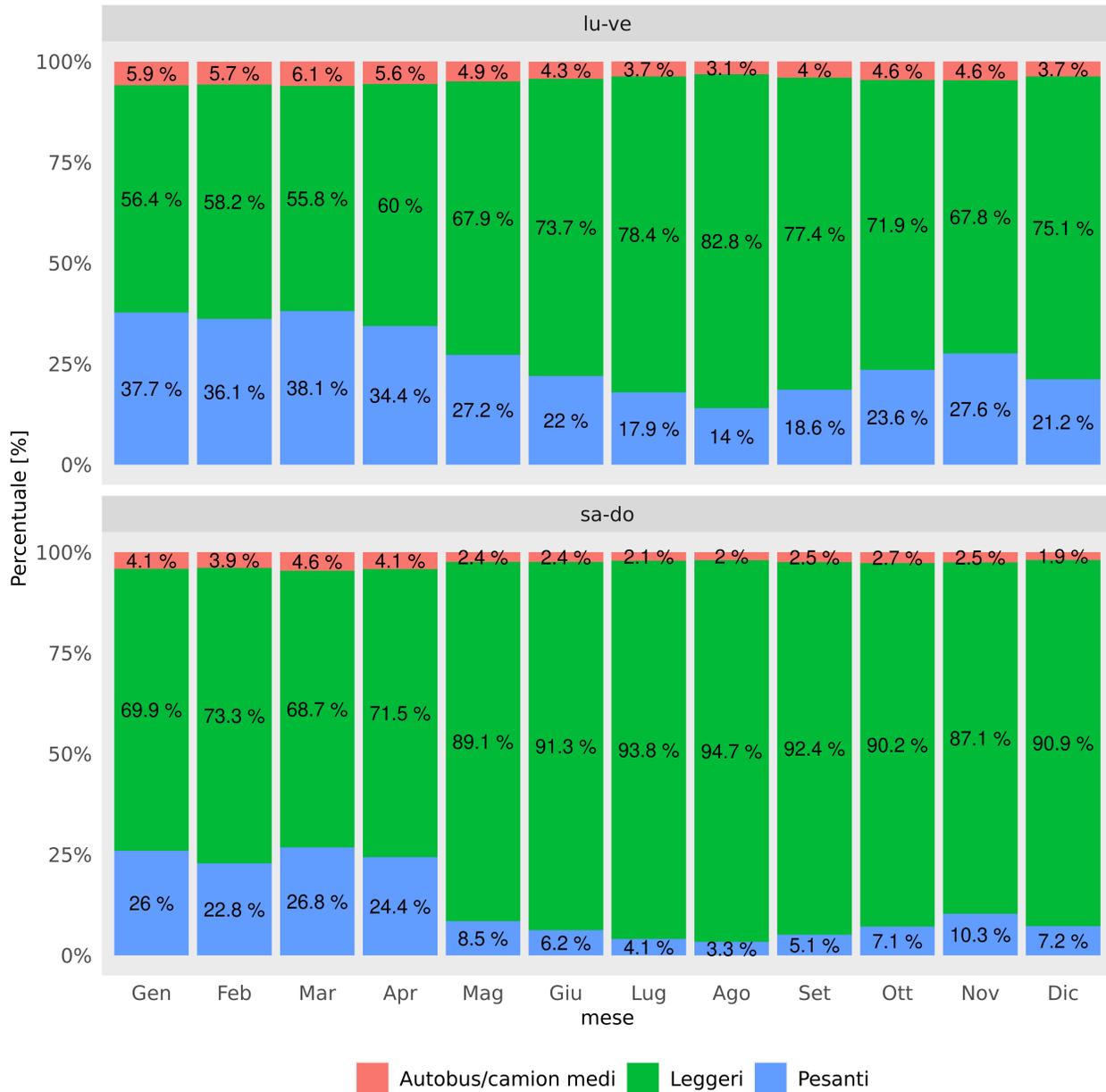


Figura 29: Distribuzione media mensile della tipologia di veicolo (leggeri, pesanti, autobus/camion medi) nei diversi mesi dell’anno, per i giorni dal lunedì al venerdì e per sabato e domenica.

3.5.2 Calcolo delle emissioni annuali prodotte

Partendo dai dati di traffico misurati ogni 10 minuti, è possibile stimare le emissioni da traffico prodotte attraverso il modello COPERT. Sommando tutte le emissioni prodotte durante l’anno, è possibile individuare quali classi Euro e quali macro-classi di veicoli contribuiscono maggiormente all’emissione totale presso la spira considerata. I risultati dell’elaborazione sono riportati in Figura 30 e in Tabella 14 .

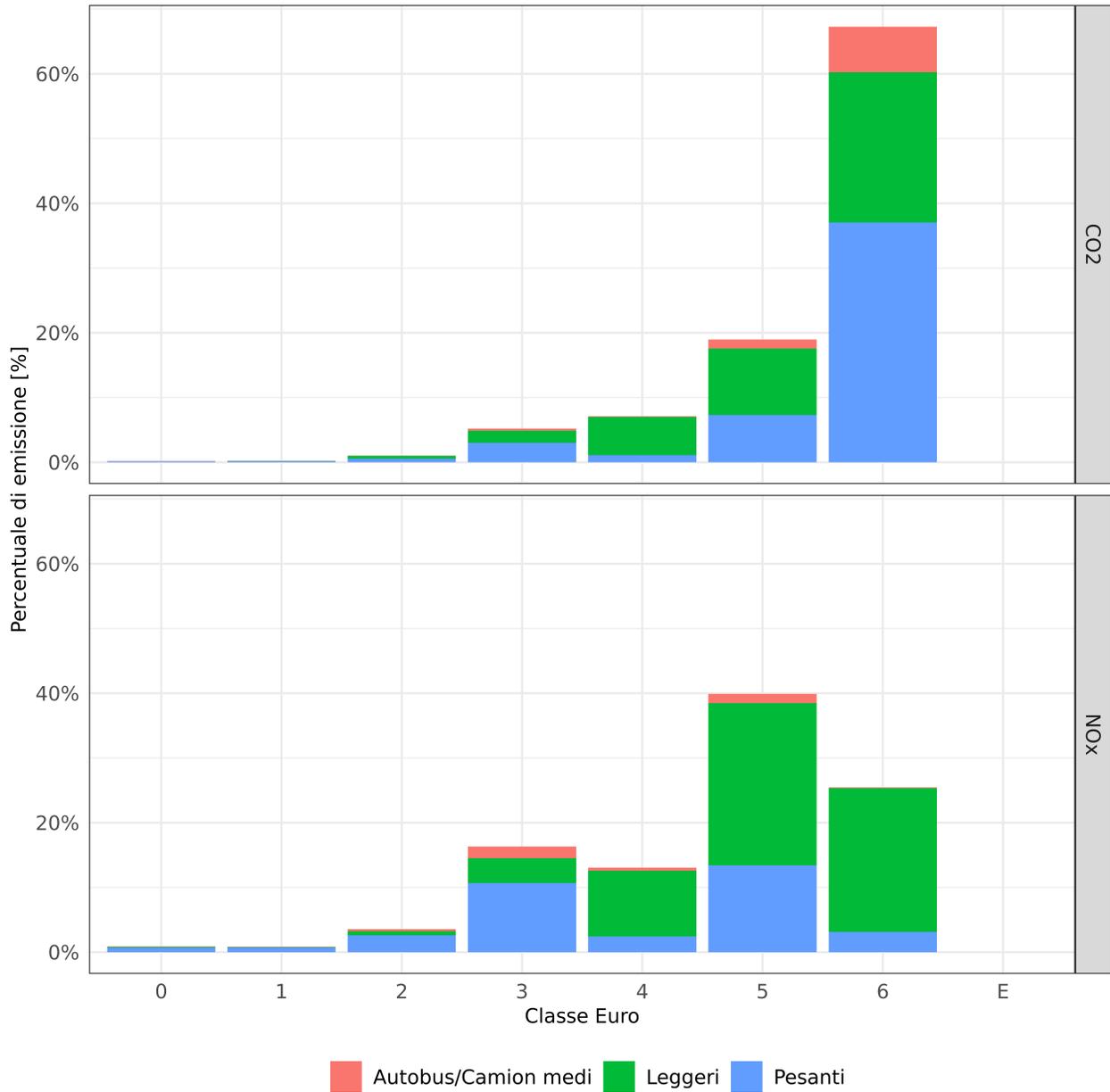


Figura 30: Percentuali di emissione di NOx e CO2 per classe Euro e per macro-classe di veicolo durante l'intero anno analizzato.

Tabella 14: Emissione percentuale di NOx e CO2 per classe Euro e per macro-classe di veicolo durante l'intero anno analizzato.

Euro	Autobus	Pesanti	Leggeri	Totale
NOx				
0	0.1%	0.7%	0.1%	0.9%
1	0.1%	0.7%	0.1%	0.9%
2	0.3%	2.6%	0.6%	3.6%
3	1.8%	10.7%	3.9%	16.3%
4	0.5%	2.4%	10.2%	13%
5	1.4%	13.4%	25%	39.9%
6	0.1%	3.1%	22.2%	25.4%
E	0%	0%	0%	0%
Totale	4.3%	33.6%	62%	100%
CO2				
0	0%	0.1%	0%	0.2%
1	0%	0.2%	0%	0.2%
2	0.1%	0.6%	0.4%	1%
3	0.3%	3%	1.8%	5.2%
4	0.1%	1.1%	5.9%	7.1%
5	1.4%	7.3%	10.2%	18.9%
6	7%	37%	23.2%	67.3%
E	0%	0%	0%	0%
Totale	9%	49.4%	41.7%	100%

In termini assoluti, le emissioni prodotte da ciascuna classe Euro e da ciascuna macro-classe di veicoli sono riportati in Tabella 15.

Tabella 15: Emissione totale di NOx e CO2 per classe Euro e per macro-classe di veicolo durante l'intero anno analizzato [t/km/anno].

Euro	Autobus	Pesanti	Leggeri	Totale
NOx				
0	0.008	0.061	0.009	0.078
1	0.008	0.062	0.005	0.075
2	0.028	0.229	0.054	0.312
3	0.158	0.936	0.338	1.432
4	0.041	0.211	0.892	1.144
5	0.127	1.177	2.196	3.500
6	0.010	0.274	1.947	2.231
E	0.000	0.000	0.000	0.000
Totale	0.379	2.950	5.442	8.771
CO2				
0	0.651	5.493	0.983	7.126
1	0.675	6.495	1.380	8.550
2	2.337	21.693	16.484	40.514
3	13.119	117.345	71.780	202.245
4	5.170	43.226	228.912	277.308
5	54.227	284.070	398.395	736.692
6	272.866	1440.327	902.140	2615.333
E	0.000	0.000	0.000	0.000
Totale	349.044	1918.650	1620.074	3887.768

3.5.3 Confronto con gli anni precedenti

Il totale delle emissioni da traffico prodotte presso la spira in esame è stato confrontato con lo stesso valore stimato negli anni precedenti. Il risultato per gli NOx e per la CO2 è riportato in Figura 31 e in Figura 32. Il totale delle emissioni da traffico prodotte presso la spira in esame è stato confrontato con lo stesso valore stimato negli anni precedenti. Il risultato per gli NOx e per la CO2 è riportato in Figura 31 e in Figura 32. Come si può osservare, le emissioni di NOx dovute ai veicoli leggeri, dopo il calo del 2020 dovuto alla diminuzione dei transiti in seguito alla pandemia da COVID-19, mostrano un leggero aumento; il rinnovamento del parco circolante in parte compensa i maggiori valori di traffico. Le emissioni totali di CO2 aumentano rispetto al 2020 perché il rinnovamento del parco circolante non comporta una riduzione rilevante delle emissioni mentre il maggior numero di veicoli transitati implica emissioni maggiori. I valori del 2018 risultano invece così bassi perché di fatto la spira contatraffico ha registrato dati validi soltanto nel mese di dicembre.

3.5 Sezione di misura al km 156+595

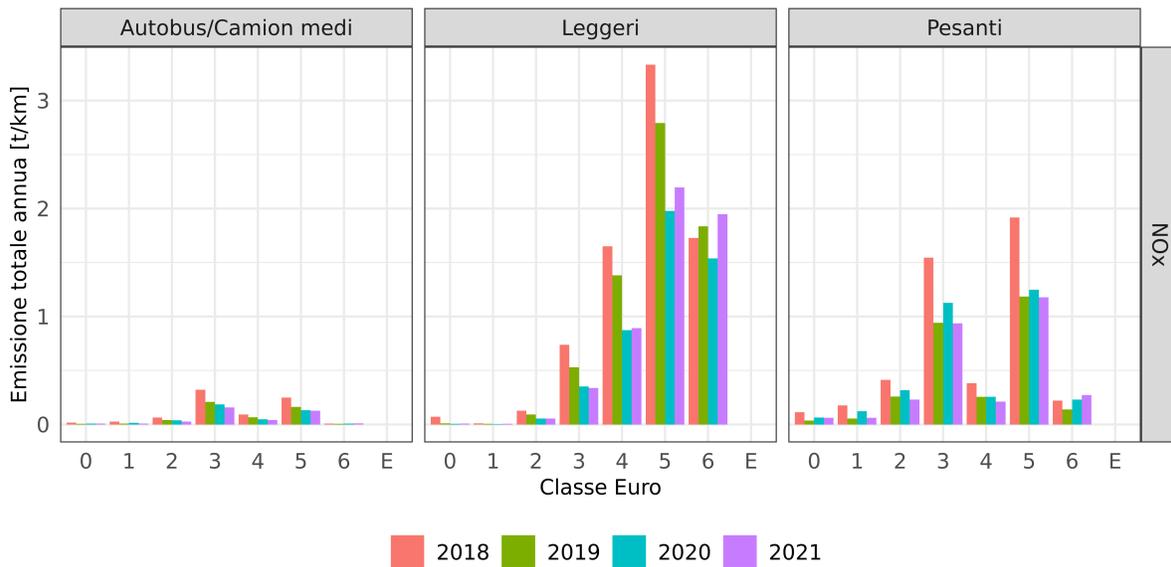


Figura 31: Emissione totale annua di NOx [t/anno/km] per classe Euro e per macro-classe di veicolo durante l'intero anno analizzato.

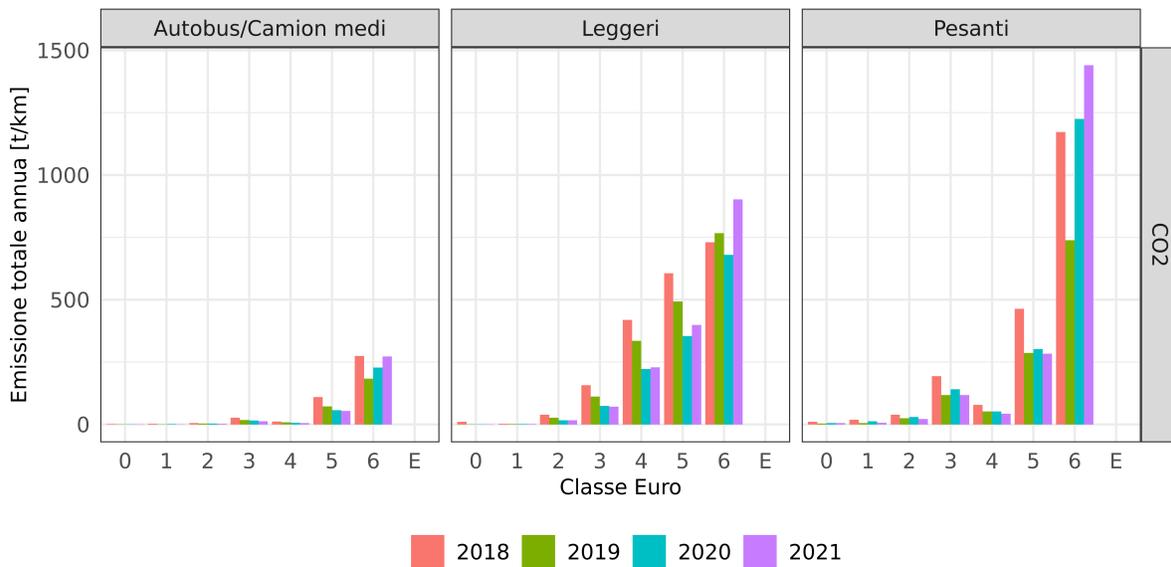


Figura 32: Emissione totale annua di CO2 [t/anno/km] per classe Euro e per macro-classe di veicolo durante l'intero anno analizzato.