

**CISMA Srl Società di Ingegneria**

sede legale e operativa - NOI Techpark
via Ipazia 2, I-39100 Bolzano
+39 0471.1727086
P. IVA 02453250215

www.cisma.it - info@cisma.it

sede operativa - Palazzo Stella
via Degasperi 77, I-38123 Trento
+39 0461.1637648
cisma@pec.cisma.bz.it

Analisi di dati relativi a traffico e inquinamento nei comuni di Bolzano e Merano per gli anni 2018-2021

Committente	Descrizione
Provincia Autonoma di Bolzano – Agenzia provinciale per l’ambiente e la tutela del clima.	Analisi annuale di dati relativi a traffico e inquinamento nei comuni di Bolzano e Merano per gli anni 2018-2021, con focus sul comune capoluogo e politiche di riduzione delle emissioni di ossidi di azoto.

Documento	Data	Autori
2021_05_EMI	18 agosto 2022	Dott. Ing. Marco Falocchi Ing. Ilaria Todeschini Dott. Ing. Nicola Del Ben Ing. Gianluca Antonacci
		Responsabile Ing. Gianluca Antonacci

Indice

Introduzione	1
1 Aree studio e base dati	4
1.1 Aree studio e grafo stradale	4
1.2 Dati di qualità dell'aria	7
1.3 Dati di traffico	9
1.3.1 Traffico su rete stradale urbana da stazioni contatraffico comunali	9
1.3.2 Traffico su rete stradale urbana da sensori bluetooth	12
1.3.3 Traffico su rete stradale urbana da campagna di rilievo	14
1.3.4 Traffico su rete stradale extraurbana	17
1.3.5 Traffico autostradale	19
1.4 Dati meteorologici	20
2 Metodologia	21
2.1 Conversione delle catture bluetooth in TGM	21
2.2 Determinazione del TGM da rilievi di traffico	22
2.3 Parco circolante medio provinciale	24
2.3.1 Parco circolante in area urbana	25
2.3.2 Parco circolante provinciale lungo la MEBO	36
2.3.3 Parco circolante autostradale	44
2.4 Fattori di emissione ed emissioni da traffico	53
2.4.1 Aggregazione delle emissioni lungo gli archi stradali	54
2.5 Stima delle concentrazioni di NO ₂ da altre sorgenti: modello CALPUFF a scala locale	54
3 Simulazioni di dispersione	56
3.1 Dispersione degli inquinanti da traffico lungo le strade principali: mo- dello R-LINE per screening	56
3.2 Area di calcolo e grafo stradale	57
3.3 Input meteorologico	58

3.4	Calibrazione del modello	59
4	Risultati: Comune di Bolzano	61
4.1	Analisi dei dati di qualità dell'aria	61
4.2	Analisi dei dati di traffico	64
4.2.1	Traffico all'interno della rete stradale della città	64
4.2.2	Traffico lungo strade extraurbane di accesso alla città	69
4.2.3	Traffico autostradale	74
4.3	Aggiornamento del grafo stradale	78
4.4	Analisi degli scenari emissivi	81
4.5	Conclusioni	89
5	Risultati: Comune di Merano	97
5.1	Analisi dei dati di qualità dell'aria	97
5.2	Analisi dei dati di traffico	99
5.2.1	Traffico all'interno della rete stradale della città	99
5.2.2	Traffico lungo strade extraurbane di accesso alla città	102
5.2.3	Aggiornamento del grafo stradale	107
5.3	Analisi degli scenari emissivi	110
5.4	Analisi degli scenari di dispersione simulati	118
5.5	Conclusioni	132
6	Considerazioni conclusive	139
A	Tabelle di consistenza dei dati di traffico da reti di monitoraggio	142
B	Elenco delle tavole allegate	151
B.1	Comune di Bolzano	151
B.2	Comune di Merano	152
	Bibliografia	155

Elenco delle figure

Figura 1:	Grafo stradale e rete di monitoraggio del traffico e di qualità dell'aria (NO ₂) a Bolzano. Per maggiori dettagli si rimanda alla Tavola allegata.	5
Figura 2:	Grafo stradale e rete di monitoraggio del traffico e di qualità dell'aria (NO ₂) a Merano. Si riporta il contorno dell'area di calcolo in cui valutare la dispersione delle emissioni veicolari mediante modellazione numerica.	6
Figura 3:	Posizione delle stazioni di misura durante la campagna di rilievo del traffico condotta a febbraio 2020. Per maggiori dettagli si rimanda alla Tavola allegata.	15
Figura 4:	Parco circolante 2018 in area urbana. Distribuzione percentuale delle classi EURO per tipologia di veicolo e carburante.	30
Figura 5:	Parco circolante 2019 in area urbana. Distribuzione percentuale delle classi EURO per tipologia di veicolo e carburante.	31
Figura 6:	Parco circolante 2020 in area urbana. Distribuzione percentuale delle classi EURO per tipologia di veicolo e carburante.	32
Figura 7:	Parco circolante 2021 in area urbana. Distribuzione percentuale delle classi EURO per tipologia di veicolo e carburante.	33
Figura 8:	Parco circolante in area urbana. Evoluzione della distribuzione percentuale delle classi EURO per i veicoli leggeri (autovetture e furgoni) e i veicoli pesanti.	34
Figura 9:	Parco circolante in area urbana. Evoluzione della distribuzione percentuale delle classi EURO per i veicoli leggeri (autovetture e furgoni) e i veicoli pesanti in funzione della tipologia di alimentazione.	35
Figura 10:	Parco circolante 2018 lungo la MEBO. Distribuzione percentuale delle classi EURO per tipologia di veicolo e carburante.	38
Figura 11:	Parco circolante 2019 lungo la MEBO. Distribuzione percentuale delle classi EURO per tipologia di veicolo e carburante.	39

Figura 12:	Parco circolante 2020 lungo la MEBO. Distribuzione percentuale delle classi EURO per tipologia di veicolo e carburante.	40
Figura 13:	Parco circolante 2021 lungo la MEBO. Distribuzione percentuale delle classi EURO per tipologia di veicolo e carburante.	41
Figura 14:	Parco circolante lungo la MEBO. Evoluzione della distribuzione percentuale delle classi EURO per i veicoli leggeri (autovetture e furgoni) e i veicoli pesanti.	42
Figura 15:	Parco circolante in area urbana. Evoluzione della distribuzione percentuale delle classi EURO per i veicoli leggeri (autovetture e furgoni) e i veicoli pesanti in funzione della tipologia di alimentazione.	43
Figura 16:	Parco circolante 2018 in A22. Distribuzione percentuale delle classi EURO per tipologia di veicolo e carburante.	47
Figura 17:	Parco circolante 2019 in A22. Distribuzione percentuale delle classi EURO per tipologia di veicolo e carburante.	48
Figura 18:	Parco circolante 2020 in A22. Distribuzione percentuale delle classi EURO per tipologia di veicolo e carburante.	49
Figura 19:	Parco circolante 2021 in A22. Distribuzione percentuale delle classi EURO per tipologia di veicolo e carburante.	50
Figura 20:	Parco circolante lungo l'autostrada. Evoluzione della distribuzione percentuale delle classi EURO per i veicoli leggeri (autovetture e furgoni) e i veicoli pesanti.	51
Figura 21:	Parco circolante in area urbana. Evoluzione della distribuzione percentuale delle classi EURO per i veicoli leggeri (autovetture e furgoni) e i veicoli pesanti in funzione della tipologia di alimentazione.	52
Figura 22:	Setup del modello numerico per la simulazione della dispersione delle emissioni veicolari a Merano. Si riportano: l'area di calcolo, il grafo stradale con gli archi classificati per tipologia di superficie stradale e collocazione dei punti di misura della rete di monitoraggio di qualità dell'aria.	58
Figura 23:	Evoluzione delle concentrazioni medie mensili di NO ₂ misurate a Bolzano dalle centraline di qualità dell'aria nel periodo 2018-2021. Le bande colorate sullo sfondo identificano il ciclo stagionale: inverno (dicembre-febbraio, azzurro), primavera (marzo-maggio, verde), estate (giugno-agosto, giallo), autunno (settembre-novembre, arancio).	62

Figura 24:	Evoluzione delle concentrazioni medie annue di NO ₂ misurate a Bolzano dalle centraline di qualità dell'aria (AQS) e dai campionatori passivi (FERM) nel periodo 2018-2021.	64
Figura 25:	Evoluzione mensile del TGM totale ottenuto elaborando i transiti rilevati dalla rete di stazioni contatraffico comunale. Nel grafico si riportano i soli valori di TGM stimati su di un numero di giorni pari almeno al 50% dei giorni disponibili di ciascun mese, ossia con almeno due settimane di dati disponibili. . . .	65
Figura 26:	Evoluzione mensile del TGM totale ottenuto elaborando le catture dei sensori bluetooth dislocati a Bolzano nel periodo 2019-2021. Come riportato in Sez. 2.1, i valori di TGM sono stati ottenuti moltiplicando per 5 le catture bluetooth giornaliere medie mensili.	67
Figura 27:	(a) TGM riferiti all'anno 2019 stimati dall'elaborazione dei rilievi di traffico condotti da TPS Pro srl e (b) distribuzione percentuale delle classi veicolari in corrispondenza di ciascuna stazione di monitoraggio del traffico.	69
Figura 28:	Evoluzione mensile del TGM misurato dalle stazioni contatraffico provinciali nel periodo 2018-2021 lungo le extraurbane di accesso alla città di Bolzano. Si riportano i valori mensili delle stazioni per cui si ha a disposizione almeno 15 giorni di misurazioni.	71
Figura 29:	Evoluzione percentuale del TGM totale annuo rilevato dalle stazioni contatraffico provinciali rispetto ai valori osservati nel 2018. I valori numerici indicati alla base degli istogrammi rappresentano il valore di TGM effettivamente osservati.	72
Figura 30:	Distribuzione percentuale annua della composizione del traffico lungo ciascuna strada extra-urbana di accesso a Bolzano. . . .	73
Figura 31:	Evoluzione mensile del TGM misurato nel periodo 2018-2021 dalle stazioni contatraffico collocate lungo l'Autostrada del Brennero in corrispondenza delle tratte Bolzano Nord-Bolzano Sud e Bolzano Sud-Egna/Ora.	75

Figura 32:	Evoluzione annuale del TGM totale misurato dalle stazioni contatraffico collocate lungo l'Autostrada del Brennero in corrispondenza delle tratte Bolzano Nord-Bolzano Sud e Bolzano Sud-Egna/Ora. In ordinata si riporta il rapporto percentuale tra il TGM annuo ed il TGM osservato nel 2018, mentre i valori numerici indicati alla base degli istogrammi rappresentano il valore di TGM effettivamente osservato.	76
Figura 33:	Composizione percentuale annua del traffico circolante in A22, suddiviso tra veicoli leggeri e pesanti lungo le tratte tra i caselli Bolzano Nord-Bolzano Sud e tra Bolzano Sud-Egna/Ora.	77
Figura 34:	Distribuzione del TGM relativo all'anno 2018 all'interno del grafo stradale di Bolzano. Per ulteriori dettagli e la mappatura del TGM per gli anni 2019, 2020 e 2021 si rimanda alle Tavole allegate.	82
Figura 35:	Distribuzione delle emissioni di NO _x relativo all'anno 2018 e generate dal traffico veicolare all'interno del grafo stradale di Bolzano. Per ulteriori dettagli e la mappatura delle emissioni per gli anni 2019, 2020 e 2021 si rimanda alle Tavole allegate.	83
Figura 36:	Evoluzione annua delle concentrazioni di NO ₂ , TGM, emissioni e fattori di emissione di NO _x a Bolzano.	87
Figura 37:	Variazione percentuale annua delle concentrazioni di NO ₂ , TGM, emissioni e fattori di emissione di NO _x rispetto ai valori osservati nel 2018 a Bolzano.	88
Figura 38:	Evoluzione delle concentrazioni medie mensili di NO ₂ misurate a Merano dalla centralina di qualità dell'aria nel periodo 2018-2021. Le bande colorate sullo sfondo identificano il ciclo stagionale: inverno (dicembre-febbraio, azzurro), primavera (marzo-maggio, verde), estate (giugno-agosto, giallo), autunno (settembre-novembre, arancio).	98
Figura 39:	Evoluzione delle concentrazioni medie annue di NO ₂ misurate a Merano dalle centraline di qualità dell'aria (AQS) e dai campionatori passivi (FERM) nel periodo 2018-2021.	100
Figura 40:	Evoluzione mensile del TGM durante l'anno 2020 misurato dalle stazioni contatraffico gestite dal Comune di Merano.	101

Figura 41:	Evoluzione mensile del TGM totale ottenuto elaborando le catture dei sensori bluetooth dislocati a Merano nel periodo 2020-2021. Come riportato in Sez. 2.1, i valori di TGM sono stati ottenuti moltiplicando per 5 le catture bluetooth giornaliere medie mensili.	102
Figura 42:	Evoluzione mensile del TGM misurato dalle stazioni contatraffico provinciali nel periodo 2018-2021 lungo le extraurbane di accesso alla città di Merano. Si riportano i valori mensili delle stazioni per cui si ha a disposizione almeno 15 giorni di misurazioni.	103
Figura 43:	Evoluzione annuale del TGM totale misurato dalle stazioni contatraffico provinciali nel periodo 2018-2021 distinguendo tra strade extraurbane di accesso alla città di Merano e MEBO. . .	105
Figura 44:	Distribuzione percentuale annua della composizione del traffico lungo ciascuna strada extra-urbana di accesso a Merano. . . .	106
Figura 45:	Distribuzione del TGM relativo all'anno 2018 all'interno del grafo stradale di Merano. Per ulteriori dettagli e la mappatura del TGM per gli anni 2019, 2020 e 2021 si rimanda alle Tavole allegate.	111
Figura 46:	Distribuzione delle emissioni di NO _x relativo all'anno 2018 e generate dal traffico veicolare all'interno del grafo stradale di Merano. Per ulteriori dettagli e la mappatura delle emissioni per gli anni 2019, 2020 e 2021 si rimanda alle Tavole allegate. . .	112
Figura 47:	Evoluzione annua delle concentrazioni di NO ₂ , TGM, emissioni e fattori di emissione di NO _x a Merano.	116
Figura 48:	Variazione percentuale annua delle concentrazioni di NO ₂ , TGM, emissioni e fattori di emissione di NO _x rispetto ai valori osservati nel 2018 a Merano.	117
Figura 49:	Mappa delle concentrazioni medie annue di NO ₂ generate dalle sole emissioni veicolari lungo il grafo stradale di Merano relative all'anno 2018.	120
Figura 50:	Mappa delle concentrazioni medie annue di NO ₂ generate da altre fonti emissive diverse dal traffico veicolare a Merano relative all'anno 2018.	121
Figura 51:	Mappa delle concentrazioni medie annue totali di NO ₂ (sorgenti lineari e altre sorgenti) a Merano e relative all'anno 2018. . . .	122

Figura 52:	Mappa del contributo percentuale delle concentrazioni medie annue di NO ₂ da traffico veicolare sulle concentrazioni totali a Merano, relative all'anno 2018.	123
Figura 53:	Mappa delle variazioni percentuali delle concentrazioni medie annue di NO ₂ generate dalle sole emissioni veicolari nel 2019 rispetto alle corrispondenti concentrazioni simulate nel 2018 (baseline).	124
Figura 54:	Evoluzione annua delle concentrazioni di NO ₂ misurato in aria ambiente e distribuzioni annue dei valori di TGM, emissioni di NO _x e di concentrazioni di NO ₂ simulate (totali e generate dal traffico) in corrispondenza dei punti selezionati lungo il grafo stradale di Merano.	126
Figura 55:	Variazione percentuale annua rispetto ai valori osservati nel 2018 delle emissioni di NO _x e delle corrispondenti concentrazioni di NO ₂ simulate (totali e generate dal traffico) in corrispondenza dei punti selezionati lungo il grafo stradale di Merano. Si riportano inoltre le variazioni delle concentrazioni di NO ₂ misurate in aria ambiente.	127
Figura 56:	Tabella di consistenza dei dati di traffico a Bolzano per l'anno 2018.	143
Figura 57:	Tabella di consistenza dei dati di traffico a Bolzano per l'anno 2019.	144
Figura 58:	Tabella di consistenza dei dati di traffico a Bolzano per l'anno 2020.	145
Figura 59:	Tabella di consistenza dei dati di traffico a Bolzano per l'anno 2021.	146
Figura 60:	Tabella di consistenza dei dati di traffico a Merano per l'anno 2018.	147
Figura 61:	Tabella di consistenza dei dati di traffico a Merano per l'anno 2019.	148
Figura 62:	Tabella di consistenza dei dati di traffico a Merano per l'anno 2020.	149
Figura 63:	Tabella di consistenza dei dati di traffico a Merano per l'anno 2021.	150

Elenco delle tabelle

Tabella 1:	Stazioni di qualità dell'aria (AQS) e campionatori passivi (FERM) operativi nelle città di Bolzano e di Merano nel periodo 2018-2021.	8
Tabella 2:	Elenco di tutte delle stazioni contatraffico della rete di monitoraggio gestita dal Comune di Bolzano. Nella colonna "Traffico" si indica la tipologia del flusso di traffico (urbano o transito) che transita lungo la strada monitorata. Le stazioni da "Piazza Gries" a "Via Torricelli-Uscita A22" non dispongono di alcuna osservazione nel periodo 2018-2021.	9
Tabella 3:	Elenco delle stazioni contatraffico della rete di monitoraggio gestita dal Comune di Merano. Le stazioni sono raggruppate per strada ("Collocazione") mentre in colonna "ID" si riportano gli identificativi dei sensori. La colonna "Traffico" riporta la tipologia del flusso di traffico (urbano o transito) atteso lungo la strada monitorata.	10
Tabella 4:	Elenco dei sensori bluetooth dislocati nella città di Bolzano e tipologia di traffico misurato. La maggior parte delle serie ha inizio da settembre-ottobre 2019. Si indicano con (†) le serie disponibili da marzo 2019.	13
Tabella 5:	Elenco dei sensori bluetooth dislocati nella città di Merano e tipologia di traffico misurato. Tutte le serie hanno inizio a maggio 2020.	14
Tabella 6:	Elenco dei punti di misura del traffico durante la campagna di rilievo condotta a Bolzano dalla ditta TPS Pro srl nel periodo 5-7 febbraio 2020. Le ultime tre stazioni sono state escluse dallo studio in quanto non appartengono al grafo stradale selezionato.	16

Tabella 7:	Elenco delle stazioni contatraffico provinciali selezionate per caratterizzare il traffico extraurbano. La stazione denominata MEBO-Merano Centro (id: 87-88-89) è una stazione “virtuale” definita aggregando i dati forniti dalle stazioni contatraffico con identificativo 87, 88 e 89.	17
Tabella 8:	Stazioni contatraffico lungo l’Autostrada del Brennero utilizzate nello studio	19
Tabella 9:	Coefficienti medi annui di conversione catture bluetooth-TGM determinati per la città di Merano.	22
Tabella 10:	Stazioni di rilievo del traffico selezionate per la determinazione del coefficiente di conversione traffico rilevato-TGM (coeff. TGM). Si riportano gli identificativi delle stazioni di misura utilizzate relative a: campagna di rilevamento del traffico, stazioni contatraffico provinciali e sensori bluetooth ed i corrispondenti valori numerici utilizzati.	23
Tabella 11:	Confronto tra TGM riferito all’anno 2019, misurato presso le stazioni contatraffico provinciali, ed il TGM stimato dalle serie di transiti osservate durante la campagna di rilievo del traffico.	24
Tabella 12:	Numero totale di veicoli immatricolati e numero di veicoli a noleggio in Provincia di Bolzano dal 2018 al 2020.	25
Tabella 13:	Distribuzione delle classi EURO dei veicoli immatricolati in Provincia di Bolzano per l’anno 2018 in ciascuna macroclasse per le diverse tipologie di alimentazione.	26
Tabella 14:	Distribuzione delle classi EURO dei veicoli immatricolati in Provincia di Bolzano per l’anno 2019 in ciascuna macroclasse per le diverse tipologie di alimentazione.	27
Tabella 15:	Distribuzione delle classi EURO dei veicoli immatricolati in Provincia di Bolzano per l’anno 2020 in ciascuna macroclasse per le diverse tipologie di alimentazione.	28
Tabella 16:	Distribuzione delle classi EURO dei veicoli immatricolati in Provincia di Bolzano per l’anno 2021 in ciascuna macroclasse per le diverse tipologie di alimentazione.	29
Tabella 17:	Distribuzione delle classi EURO dei veicoli commerciali pesanti utilizzata per la MEBO dal 2018 al 2021 per le diverse tipologie di alimentazione.	37
Tabella 18:	Distribuzione delle classi EURO dei veicoli leggeri e pesanti per l’anno 2018 utilizzata per l’autostrada del Brennero per le diverse tipologie di alimentazione.	45

Tabella 19:	Distribuzione delle classi EURO dei veicoli leggeri e pesanti per l'anno 2019 utilizzata per l'autostrada del Brennero per le diverse tipologie di alimentazione.	45
Tabella 20:	Distribuzione delle classi EURO dei veicoli leggeri e pesanti per l'anno 2020 utilizzata per l'autostrada del Brennero per le diverse tipologie di alimentazione.	46
Tabella 21:	Distribuzione delle classi EURO dei veicoli leggeri e pesanti per l'anno 2021 utilizzata per l'autostrada del Brennero per le diverse tipologie di alimentazione.	46
Tabella 22:	Concentrazioni medie annue di NO ₂ misurate dalle stazioni di qualità dell'aria (AQS) e dai campionatori passivi (FERM) operativi a Bolzano nel periodo 2018-2021. Per ciascun anno si riporta la media d'insieme con i corrispondenti valori di deviazione standard e di errore standard.	63
Tabella 23:	TGM annui [veh/d] misurati dalle stazioni contatraffico provinciali dislocate a Bolzano. Per ciascun anno si riporta il numero (num) di giorni disponibile per le analisi.	70
Tabella 24:	Dati disponibili per aggiornare il grafo di Bolzano in corrispondenza di ciascun anno investigato.	78
Tabella 25:	Trend evolutivi del TGM rispetto alla baseline 2018 utilizzati per gli archi stradali della città di Bolzano (esclusi MEBO e A22).	79
Tabella 26:	Valori di velocità media per le diverse categorie di veicoli utilizzati per il calcolo delle emissioni di A22 e MEBO nel comune di Bolzano.	80
Tabella 27:	Distribuzione percentuale annua della composizione del traffico utilizzata per il calcolo delle emissioni nel comune di Bolzano	81
Tabella 28:	Valori annui di TGM, emissione (E-NO _x) e fattori di emissione (EF-NO _x) di NO _x con relative variazioni percentuali (Δ) dal 2018 lungo alcuni punti selezionati del del grafo stradale di Bolzano e mediati sulle strade urbane.	85
Tabella 29:	TGM ed emissioni di NO _x (E-NO _x) all'interno del grafo stradale di Bolzano dal 2018 al 2021. Per ciascuna grandezza si riportano le variazioni percentuali (Δ) rispetto ai valori di baseline (anno 2018).	91
Tabella 30:	Concentrazioni medie annue di NO ₂ misurate dalla stazione di qualità dell'aria (AQS) e dai campionatori passivi (FERM) operativi a Merano nel periodo 2018-2021.	99

Tabella 31:	TGM annui [veh/d] misurati dalle stazioni contatraffico provinciali dislocate a Merano. Per ciascun anno si riporta il numero (num) di giorni disponibile per le analisi.	104
Tabella 32:	Dati di traffico disponibili per aggiornare il grafo di Merano in corrispondenza di ciascun anno investigato.	107
Tabella 33:	Trend evolutivi del TGM rispetto alla baseline 2018 utilizzati per gli archi stradali della città di Merano (esclusa la MEBO) .	109
Tabella 34:	Distribuzione percentuale annua della composizione del traffico utilizzata per il calcolo delle emissioni nel comune di Merano	109
Tabella 35:	Valori di velocità media per le diverse categorie di veicoli utilizzati per il calcolo delle emissioni della MEBO nel comune di Merano.	110
Tabella 36:	Valori annui di TGM, emissione (E-NO _x) e fattori di emissione (EF-NO _x) di NO _x con relative variazioni percentuali (Δ) dal 2018 lungo la MEBO ed aggregati sulle strade urbane della città di Merano.	113
Tabella 37:	Confronto tra le concentrazioni medie annue di NO ₂ misurate a Merano dalla stazione di qualità dell'aria ME1 e simulate dal modello R-LINE per screening nell'intorno della stazione. . . .	118
Tabella 38:	Valori annui di TGM, emissione (E-NO _x) e fattori di emissione (EF-NO _x) di NO _x con relative variazioni percentuali (Δ) dal 2018 lungo la MEBO ed aggregati sulle strade urbane della città di Merano.	128
Tabella 39:	TGM ed emissioni di NO _x (E-NO _x) all'interno del grafo stradale di Merano dal 2018 al 2021. Per ciascuna grandezza si riportano le variazioni percentuali (Δ) rispetto ai valori di baseline (anno 2018).	135
Tabella 40:	Valori annui di TGM, emissione (E-NO _x) e fattori di emissione (EF-NO _x) di NO _x con relative variazioni percentuali (Δ) dal 2018 lungo la MEBO ed aggregati sulle strade urbane delle città di Bolzano e di Merano.	140

Introduzione

Il presente studio ha lo scopo di valutare l'evoluzione delle emissioni da traffico di biossido di azoto (NO_2) all'interno del tessuto urbano delle città di Bolzano e di Merano dal 2018 al 2021.

Al fine di contestualizzare e delineare le motivazioni che hanno stimolato lo studio è necessario effettuare una premessa di carattere generale relativa alle emissioni da traffico. Le emissioni veicolari hanno origine al livello del suolo, all'interno della cosiddetta *canopy urbana*, al contrario delle emissioni industriali e da riscaldamento che, invece, sono emesse a quote superiori, tipicamente al di sopra della linea dei tetti. All'interno della canopy urbana, infatti, la presenza di edifici ai lati della strada determina un effetto di "canyon urbano" che riduce la capacità di ricircolo e di diluizione degli inquinanti contenuti nella massa d'aria presente in sede stradale. Questo effetto non è invece presente per le emissioni poste al di sopra della città, il cui fato è più direttamente controllato dalle condizioni meteorologiche locali (in particolare vento e stabilità atmosferica). Ne segue quindi che gli edifici posti fronte strada si configurano come recettori (abitanti) posti in diretta prossimità degli emettitori (traffico veicolare).

L'inquinamento da traffico è caratterizzato, tra le altre sostanze, da emissioni di ossidi di azoto (NO e NO_2). Attualmente, le emissioni di biossido di azoto costituiscono uno dei temi principali per quanto riguarda l'impatto sulla qualità dell'aria in area urbana.

Lo studio dell'impatto dei flussi veicolari sulla qualità dell'aria richiede la conoscenza di diverse informazioni, tra cui:

1. Il grafo della rete viaria principale dell'area di studio che definisce la posizione e l'estensione delle sorgenti lineari lungo cui le emissioni veicolari sono immesse in atmosfera.
2. I transiti all'interno del grafo stradale espressi in termini di traffico giornaliero medio (TGM) e di velocità media.

3. La caratterizzazione del parco mezzi circolante suddivisa per tipologia di veicoli (e.g. motocicli, autovetture, furgoni, mezzi pesanti e pullman), carburante e classi EURO.
4. Una metodologia univoca per il calcolo delle emissioni degli inquinanti, noti i transiti e le caratteristiche del parco mezzi circolante.
5. Dati di qualità dell'aria per confrontare l'andamento delle concentrazioni misurate ed il regime emissivo da traffico veicolare.
6. Dati meteorologici per caratterizzare i processi fisici che regolano la diluizione ed il ristagno delle sostanze inquinanti in atmosfera.

Una stima realistica dei regimi emissivi può quindi essere condotta solo a fronte di una base dati sufficientemente estesa nel tempo, completa e distribuita nello spazio. Quanto più i dati a disposizione soddisfano le precedenti condizioni, tanto più saranno rappresentativi gli scenari ottenuti dalle analisi.

Nell'ambito del presente studio si è reperito il maggior numero di informazioni utili a valutare l'evoluzione annua delle concentrazioni di biossido di azoto (NO_2) connesse al traffico veicolare nelle città di Bolzano e di Merano. Si ritiene opportuno evidenziare fin d'ora la maggiore criticità riscontrata nel corso dello studio, ossia la presenza di serie di dati di traffico lacunose, affette da errori di misura o completamente assenti. La presenza di errori di misura ha reso necessario la rimozione e, solo laddove possibile, la sostituzione delle osservazioni formulando di volta in volta ipotesi *ad hoc* ritenute realistiche. Le lacune di dati hanno invece contribuito ad indebolire la rappresentatività e la robustezza statistica delle stime. La disponibilità di una base osservativa poco robusta impedisce l'utilizzo di tecniche sofisticate di analisi del dato, porta a formulare ipotesi operative sia in fase di armonizzazione dei dati sia in fase di definizione ed implementazione di metodologie di calcolo che siano indipendenti dal caso studio e globalmente indebolisce la rappresentatività dei risultati ottenuti.

Oltre alle analisi dei dati e al calcolo delle emissioni, per la città di Merano sono state condotte simulazioni numeriche di qualità dell'aria allo scopo di valutare la dispersione delle emissioni veicolari all'interno della struttura urbana della città in presenza di una forzante meteorologica rappresentativa per l'area di studio. La fusione di modelli di calcolo e di misure dirette rappresenta lo *state-of-the-art* della valutazione di qualità dell'aria. Infatti, il dato misurato rappresenta localmente un dato "certo" (o comunque un riferimento affidabile), mentre un modello di calcolo consente di ottenere una estensione nello spazio e nel tempo dello stato dell'inquinamento ambientale. Per questo studio le concentrazioni di NO_2 disponibili nell'area

di Merano sono state utilizzate anche per calibrare il modello di calcolo, ottenendo un miglioramento della prestazione.

La presente relazione tecnica si articola nei seguenti capitoli e sezioni.

Il Capitolo 1 contestualizza le due aree di studio (Sez. 1.1) e descrive i dati di qualità dell'aria (Sez. 1.2), di traffico (Sez. 1.3) e meteorologici (Sez. 1.4) reperiti per le analisi.

Il Capitolo 2 è invece dedicato ai metodi implementati: (i) elaborare i dati di transito disponibili (Sez. 2.1 e 2.2); (ii) caratterizzare il parco circolante per ciascun anno investigato all'interno delle diverse tipologie di strade che ricadono nelle aree studio (Sez. 2.3); (iii) stimare i fattori di emissione da traffico veicolare (Sez. 2.4); (iv) stimare le concentrazioni di NO₂ derivanti da altre fonti (Sez. 2.5), tra cui traffico diffuso, impianti di riscaldamento, attività produttive e trasporto di grande scala.

Il Capitolo 3 è dedicato alla modellazione numerica di dispersione degli inquinanti da traffico veicolare attraverso la descrizione del modello R-LINE per screening (Sez. 3.1). All'interno del capitolo si descrivono i dati in input al modello (Sez. 3.2 e 3.3) e la calibrazione degli scenari simulati sulla base dati osservativa disponibile (Sez. 3.4).

I Capitoli 4 e 5 raccolgono e commentano i risultati ottenuti rispettivamente per la città di Bolzano e di Merano. Sulla base della risoluzione temporale dei dati a disposizione, in entrambi i capitoli sono presenti sezioni dedicate all'analisi dell'evoluzione media mensile o media annuale dei dati di qualità dell'aria (Sez. 4.1 per Bolzano e Sez. 5.1 per Merano) e dei dati di traffico (Sez. 4.2 per Bolzano e Sez. 5.2 per Merano). Vengono inoltre commentate inoltre l'evoluzione annuale degli scenari emissivi calcolati (Sez. 4.4 per Bolzano e Sez. 5.3 per Merano) e, per la città di Merano, la distribuzione delle concentrazioni di NO₂ simulate numericamente con il modello di dispersione R-LINE (Sez. 5.4).

Infine, nel capitolo conclusivo (Capitolo 6) si delineano le conclusioni dello studio.

A completamento della relazione sono state aggiunte due appendici che riportano le tabelle di consistenza dei dati di traffico utilizzati (App. A) e l'elenco delle Tavole (App. B) in cui, per ciascuna città, sono mappate le reti di monitoraggio ed i valori annui di: TGM, emissioni (calcolate) di NO_x e concentrazioni (simulate) di NO₂.

1. Aree studio e base dati

1.1 Aree studio e grafo stradale

Le aree investigate nello studio sono mappate in Fig. 1 per la città di Bolzano e in Fig. 2 per la città di Merano. Nelle mappe sono tracciati i grafi stradali relativi alla rete viaria principale delle due città. In particolare, il grafo stradale di Bolzano deriva dal Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (PUMS) ed entrato in vigore nella primavera del 2019¹. Il grafo stradale di Merano deriva invece dal Piano Urbano del Traffico (PUT) adottato nella primavera 2019.

Oltre al reticolo stradale, in Fig. 1 e in Fig. 2 sono rappresentate le posizioni dei diversi punti di misura appartenenti alle reti di monitoraggio di qualità dell'aria e del traffico.

La rete di monitoraggio della qualità dell'aria è costituita dalle centraline fisse e dai campionatori passivi FERM (Sez. 1.2) gestiti dall'Agenzia provinciale per l'ambiente e la tutela del clima (APPABZ).

I dati di traffico derivano da tre reti di monitoraggio:

1. la rete delle stazioni contatraffico comunali, che monitora i transiti lungo le principali strade all'interno del tessuto urbano delle due città (Sez. 1.3.1);
2. la rete dei sensori bluetooth, che affianca ed estende la rete di stazioni contatraffico comunali (Sez. 1.3.2);
3. la rete delle stazioni contatraffico provinciali, che insiste sulle principali strade extra-urbane di accesso alle due città investigate (Sez. 1.3.4);

Inoltre, per la città di Bolzano sono stati reperiti i dati di traffico misurati in occasione di una campagna di rilievo condotta a febbraio 2020 (Sez. 1.3.3) ed i transiti autostradali lungo le tratte di A22 che attraversano la città (Sez. 1.3.5).

Nelle seguenti sezioni si descrivono i dati utilizzati, unitamente alle elaborazioni preliminari necessarie per generare una base dati "armonizzata" su cui condurre le analisi previste dallo studio.

¹Delibera della Giunta Comunale di Bolzano Nr. 232 del 15/05/2019.

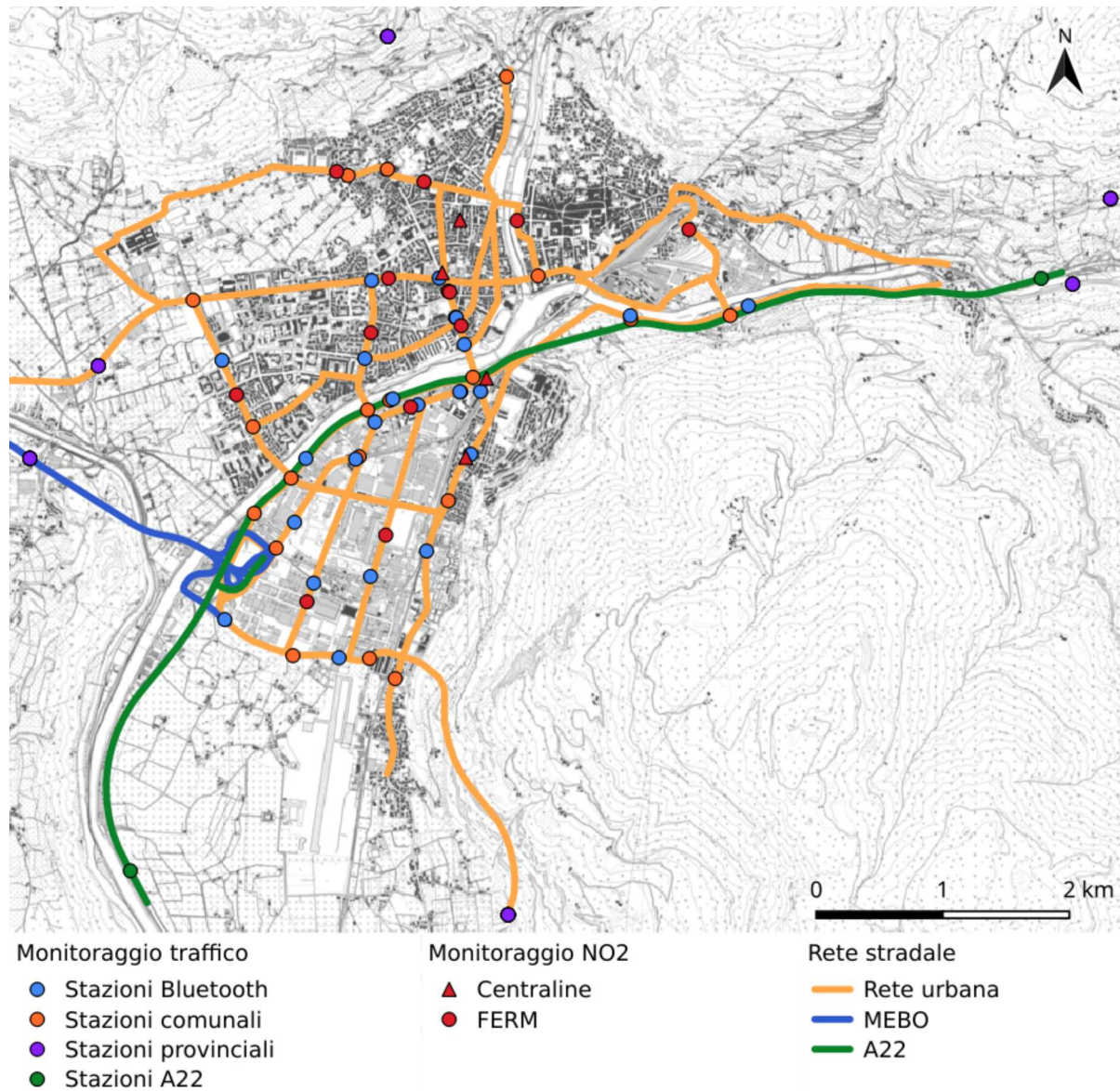


Figura 1: Grafo stradale e rete di monitoraggio del traffico e di qualità dell'aria (NO₂) a Bolzano. Per maggiori dettagli si rimanda alla Tavola allegata.

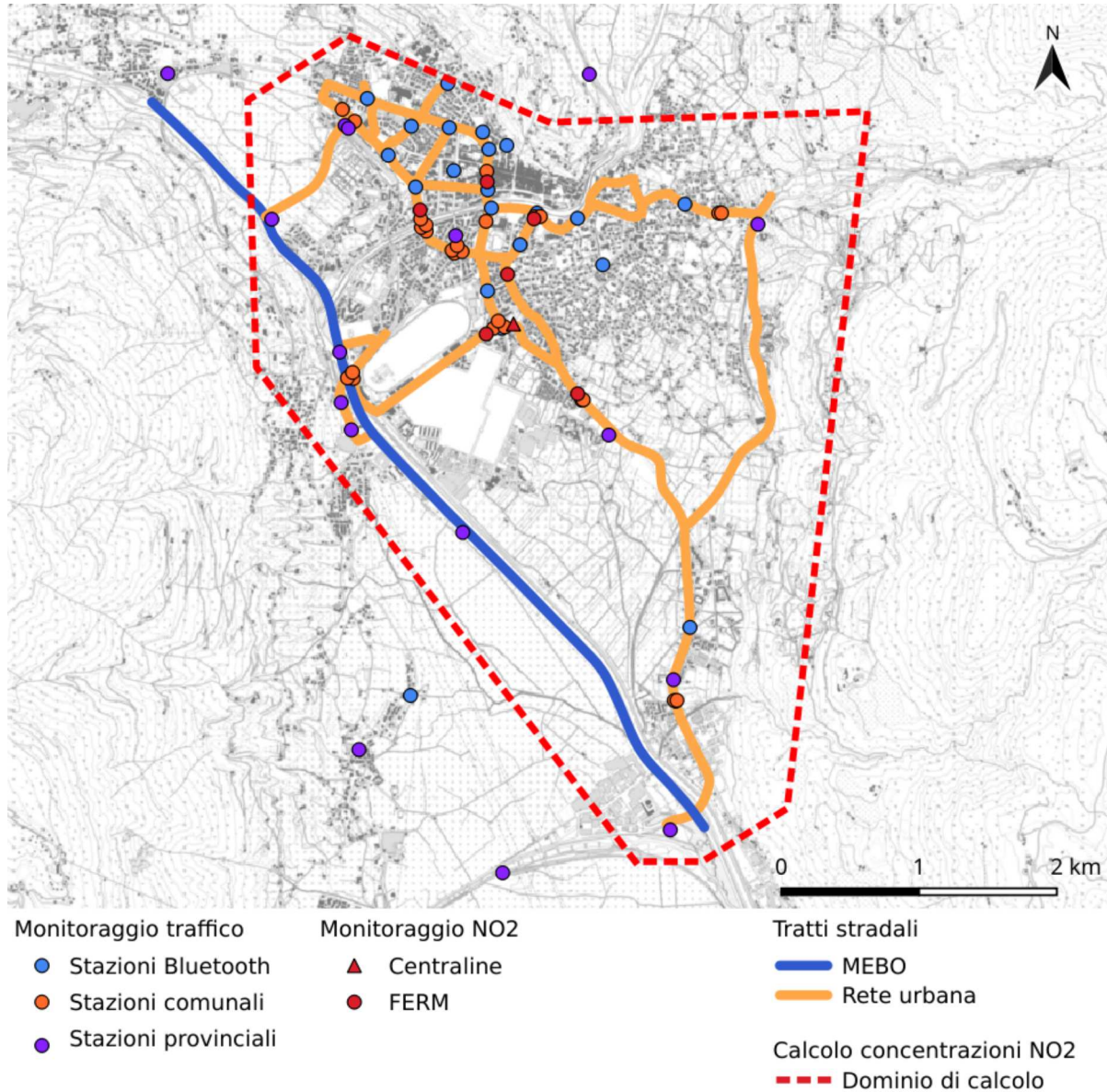


Figura 2: Grafo stradale e rete di monitoraggio del traffico e di qualità dell'aria (NO₂) a Merano. Si riporta il contorno dell'area di calcolo in cui valutare la dispersione delle emissioni veicolari mediante modellazione numerica.

1.2 Dati di qualità dell'aria

Le concentrazioni di biossido di azoto (NO_2) sono state reperite dal rapporto tecnico di APPABZ (2021) o fornite direttamente dall'Agenzia. Tali concentrazioni sono misurate dalla rete di monitoraggio di stazioni fisse di qualità dell'aria (AQS) e dalla rete di monitoraggio di campionatori passivi FERM.

Le stazioni di qualità dell'aria consentono un monitoraggio in continuo degli inquinanti atmosferici ad una risoluzione temporale oraria o sub-oraria. Pertanto, questi dati possono essere aggregati a scale temporali diverse. Nel presente studio sono stati prese in considerazione le concentrazioni medie mensili e medie annue.

I campionatori passivi FERM restituiscono concentrazioni medie di NO_2 solo nel periodo in cui i dispositivi sono stati collocati in campo ed esposti all'aria ambiente. Tipicamente il periodo di esposizione oscilla tra le 2 e le 4 settimane. Data la variabilità temporale dei periodi di misura, le concentrazioni di NO_2 restituite dai campionatori passivi FERM sono state aggregate alla sola scala annuale.

Le stazioni di qualità dell'aria (AQS) ed i campionatori passivi FERM selezionati per le analisi del presente studio sono riportate in Tab. 1.

Prima di procedere, si ritiene utile sottolineare che le concentrazioni di inquinante misurate presso le stazioni di qualità dell'aria sono il risultato di due diversi effetti:

1. l'effettivo regime emissivo, ossia la quantità di inquinante che è effettivamente immessa in atmosfera (nel caso in esame ci si concentra sugli NO_x da traffico veicolare);
2. l'effetto dei processi meteorologici sul trasporto e sulla dispersione degli inquinanti in atmosfera.

Infatti, come verrà ripreso in altri punti della relazione, a parità di regime emissivo la medesima stazione di qualità dell'aria misurerà concentrazioni di inquinante maggiori in presenza di condizioni meteorologiche avverse alla dispersione degli inquinanti in atmosfera e minori in presenza di condizioni meteorologiche che favoriscono il ricircolo e quindi la diluizione degli inquinanti nella colonna atmosferica. Situazioni meteorologiche caratterizzate da calme di vento che si sviluppano in concomitanza di prolungati periodi in cui l'atmosfera è stabile o stratificata (come in presenza di inversioni termiche al suolo) sono da considerarsi avverse alla diluizione degli inquinanti in quanto favoriscono il ristagno e l'accumulo degli inquinanti emessi al livello del suolo. Tipicamente, soprattutto in valli montane, tali condizioni si manifestano nei mesi freddi o invernali. L'aumento dell'intensità dei venti e dell'irraggiamento solare, tipici invece dei mesi caldi, modificano le proprietà della colonna atmosferica che da stabile diventa neutrale, instabile ed infine convettiva.

Tabella 1: Stazioni di qualità dell'aria (AQS) e campionatori passivi (FERM) operativi nelle città di Bolzano e di Merano nel periodo 2018-2021.

Sensore	ID	Città	Collocazione	Classificazione
AQS	BZ4	Bolzano	Via Claudia Augusta	Stazione urbana di traffico
AQS	BZ5	Bolzano	Piazza Adriano	Stazione urbana di traffico
AQS	BZ6	Bolzano	Via Amba Alagi	Stazione di fondo urbano
AQS	ML6	Bolzano	Via Roma ex-Saetta	Stazione urbana di traffico
FERM	11BZ	Bolzano	Via Resia 72	Stazione urbana di traffico
FERM	12BZ	Bolzano	Viale Druso 113	Stazione urbana di traffico
FERM	13BZ	Bolzano	Corso Libertà 70	Stazione urbana di traffico
FERM	14BZ	Bolzano	Via Rosmini 42	Stazione urbana di traffico
FERM	15BZ	Bolzano	Via Palermo 37	Stazione urbana di traffico
FERM	16BZ	Bolzano	Via Maso della Pieve 63	Stazione urbana di traffico
FERM	17BZ	Bolzano	Via Vittorio Veneto 21	Stazione urbana di traffico
FERM	18BZ	Bolzano	Via Roma 61	Stazione urbana di traffico
FERM	20BZ	Bolzano	Via Galilei 13	Stazione urbana di traffico
FERM	21BZ	Bolzano	Via Buoizzi 9	Stazione urbana di traffico
FERM	22BZ	Bolzano	Via Galvani 3	Stazione urbana di traffico
FERM	23BZ	Bolzano	Via Roma 11	Stazione urbana di traffico
FERM	24BZ	Bolzano	Via Macello 4	Stazione urbana di traffico
AQS	ME1	Merano	Via Trogmann	Stazione di fondo urbano
FERM	1ME	Merano	Via delle Palade	Stazione urbana di traffico
FERM	2ME	Merano	Via Roma 27	Stazione urbana di traffico
FERM	3ME	Merano	Via Roma 10	Stazione urbana di traffico
FERM	4ME	Merano	Via delle Corse	Stazione urbana di traffico
FERM	5ME	Merano	Via Rezia	Stazione urbana di traffico
FERM	6ME	Merano	Via Roma 260	Stazione urbana di traffico
FERM	7ME	Merano	Via Laurin	Stazione urbana di traffico

In queste ultime configurazioni, l'atmosfera è sede di vortici turbolenti che incentivano il miscelamento dell'aria e quindi la rimozione e la diluizione degli inquinanti emessi al livello del suolo verso gli strati atmosferici superiori.

Nell'ambito del presente studio non è stata prevista alcuna elaborazione che analizzi anche il ruolo della forzanti meteorologica sul regime delle concentrazioni di NO_2 , pertanto si procederà confrontando direttamente le emissioni veicolari (calcolate) di NO_x con le concentrazioni misurate. Ciò equivale ad ipotizzare una forzante meteorologia che agisce in ugual modo durante ciascun anno considerato. Un tale approccio risulta essere giustificato in quanto si intende valutare la variazione della qualità dell'aria e dei regimi emissivi rispetto ad una baseline, definita dall'anno 2018. Inoltre, per disaccoppiare e quantificare propriamente il ruolo della meteorologia e del regime emissivo dalle concentrazioni di NO_2 misurate è necessario implementare algoritmi sofisticati che a loro volta necessitano di una base dati molto estesa nel tempo e di elevata qualità (ossia senza errori di misura e/o mancanza di osservazioni).

Tabella 2: Elenco di tutte delle stazioni contatraffico della rete di monitoraggio gestita dal Comune di Bolzano. Nella colonna "Traffico" si indica la tipologia del flusso di traffico (urbano o transito) che transita lungo la strada monitorata. Le stazioni da "Piazza Gries" a "Via Torricelli-Uscita A22" non dispongono di alcuna osservazione nel periodo 2018-2021.

ID	Latitudine	Longitudine
Arginale-Bivio A22 Merano	46.478776	11.319907
Arginale-Ponte Twenty	46.486536	11.334198
Ponte Resia	46.481203	11.323804
Ponte Roma	46.487991	11.342814
Ponte Virgolo	46.491781	11.359232
Via Bari	46.484934	11.320038
Via Einstein	46.468587	11.323452
Via Galilei	46.486976	11.341505
Via Innsbruck-Ponte Campiglio	46.491828	11.369477
Via Marconi	46.495061	11.349825
Via Maso della Pieve-Via Einstein	46.466737	11.333904
Via Resia-Via Druso	46.494061	11.314246
Via Roma (id: 10)	46.492273	11.341216
Via Roma (id: 17)	46.492273	11.341216
Via Siemens	46.482582	11.330868
Via Vittorio Veneto	46.502592	11.330578
Piazza Gries	46.502951	11.334648
Ponte Palermo	46.485886	11.331885
Via Cadorna	46.509283	11.347195
Via Claudia Augusta	46.479261	11.339903
Via Durer	46.468224	11.331323
Via Torricelli-Uscita A22	46.476265	11.322055

1.3 Dati di traffico

1.3.1 Traffico su rete stradale urbana da stazioni contatraffico comunali

All'interno del tessuto urbano di Bolzano e di Merano sono installate stazioni per il monitoraggio del traffico, gestite dai rispettivi Comuni. Come dettagliato nel seguito, i dati reperiti sono stati analizzati ed elaborati al fine di stimare valori rappresentativi di Traffico Giornaliero Medio (TGM) alla scala mensile e annuale.

Comune di Bolzano

La stazioni contatraffico dislocate a Bolzano sono costituite da spire induttive collocate in corrispondenza delle principali intersezioni della città ed affogate nella pavimentazione stradale delle corsie di marcia. Ogni 5 minuti le spire restituiscono una stringa di dati contenente i transiti totali, i transiti per tipologia di veicolo ed i

Tabella 3: Elenco delle stazioni contatraffico della rete di monitoraggio gestita dal Comune di Merano. Le stazioni sono raggruppate per strada ("Collocazione") mentre in colonna "ID" si riportano gli identificativi dei sensori. La colonna "Traffico" riporta la tipologia del flusso di traffico (urbano o transito) atteso lungo la strada monitorata.

ID	Collocazione	Latitudine	Longitudine
1523	Fermi	46.6371	11.1758
1533	IvignaMerano	46.6688	11.1815
1534	IvignaPassiria	46.6689	11.1816
1543	Interspar	46.6569	11.1678
1551	ViaDelleCorse	46.6720	11.1594
1561	PiaveBUS	46.6687	11.1592
1581	PetrarcaPiave	46.6669	11.1559
1582	Leopardi	46.6672	11.1564
1585	MonteTessa	46.6667	11.1561
1593	ManzoniEst	46.6686	11.1535
1594	PetrarcaPonteRezia	46.6682	11.1535
1571-1572-1573	Cavour	46.6690	11.1644
1765-1766	DellePalade	46.6587	11.1462
1771-1772	FFSS	46.6755	11.1470
1785-1786	Funivie	46.6714	11.2092
1595-1599	ManzoniOvest	46.6684	11.1530
1521-1522	MeranoBolzano	46.6371	11.1760
1531-1532	MeranoScena	46.6688	11.1813
1528-1529	MicroMeranoBolzano	46.6370	11.1760
1605-1606-1607	Palade	46.6617	11.1596
1601-1602	Parrocchia	46.6618	11.1607
1583-1584	Petrarca	46.6668	11.1568
1603-1604	Piave	46.6622	11.1601
1773-1774	Resia	46.6763	11.1458
1591-1592-1597	Rezia	46.6690	11.1530
1574-1575-1576	RomaTunnel	46.6689	11.1638
1761-1762	SS238DellePalade	46.6587	11.1457
1783-1784	ValDiNovaAvelengo	46.6715	11.2094
1781-1782	ValDiNovaMerano	46.6715	11.2089
1541-1542	ViaRoma	46.6569	11.1679
1763-1764	Zuegg	46.6591	11.1461

corrispondenti valori di velocità. I dati sono poi trasmessi all'Open Data Hub dove sono organizzati ed archiviati.

Nell'ambito del presente studio, sono stati estratti i dati disponibili nel periodo 2018-2021 da tutte le stazioni contatraffico. In Tab. 3 si riportano le stazioni contatraffico disponibili a Bolzano.

I dati sono stati inizialmente aggregati all'intera strada e alla scala giornaliera, al fine di stimare il valore di TGM e verificarne la completezza sulle 24 ore. Infatti, come criterio di qualità, si è deciso di considerare validi i valori di TGM stimati su almeno 12 ore di osservazioni. Viceversa, il giorno non è considerato rappresentativo ai fini del calcolo del TGM. Infine, i TGM disponibili per ciascuna stazione sono stati

aggregati (mediati) alla scala mensile ed annuale al fine di ottenere i corrispondenti valori di TGM.

La consistenza delle serie di TGM mensile ricavate dalle stazioni contatraffico comunali di Bolzano è illustrata graficamente in Appendice A da Fig. 56 a Fig. 59, pannello “Comune”. Le tabelle mostrano che delle 22 stazioni contatraffico installate, solo alcune restituiscono serie di dati complete. In particolare:

- nel 2018 sono disponibili 10 stazioni contatraffico che restituiscono serie mensili complete da gennaio a novembre;
- nel 2019 il numero di stazioni attive aumenta a 14 ma le serie di dati sono complete solo da maggio a settembre per una decina di stazioni circa;
- nel 2020 e 2021 nessuna stazione contatraffico restituisce dati che possano essere effettivamente utilizzati per le successive analisi. Se presenti, i dati sono disponibili per qualche settimana al mese e per solo qualche mese all’anno.

Comune di Merano

I flussi veicolari all’interno del tessuto urbano di Merano sono monitorati dalla rete comunale di stazioni contatraffico attivata durante il 2020. Nell’ambito del presente studio, sono stati forniti dati di TGM mensili relativi all’anno 2020 e 2021. In particolare, per l’anno 2020 sono stati resi disponibili anche i giorni effettivi di misura disponibili in ciascun mese, assenti invece per il 2021.

I TGM mensili sono quindi stati analizzati al fine di verificare la presenza di valori poco rappresentativi o per colmare, laddove possibile, periodi con dati mancanti. La rappresentatività delle misure è stata condotta per il 2020 basandosi sul numero di giorni in cui il dispositivo di misura ha restituito valori. Per il 2021, la rappresentatività delle misure è stata condotta valutando la coerenza gli andamenti temporali dei sensori di misura nelle corsie che appartengono alla medesima strada (e stazione contatraffico).

Relativamente ai periodi con assenza di dati, l’informazione mancante è stata ricostruita (dove possibile) come segue:

1. si è calcolato il rapporto dei TGM tra le corsie nei periodi in cui i dati sono disponibili;
2. si è verificato che i rapporti assumano valori molto simili tra loro;
3. si è calcolato un valore medio dei rapporti;

4. il dato mancante è stato stimato moltiplicando per il rapporto medio ottenuto ai punti precedenti il TGM della corsia per cui l'osservazione è disponibile.

Le tabelle di consistenza riportate in Appendice A da Fig. 60 a Fig. 63, pannello "Comune" mostrano la disponibilità dei dati a valle delle analisi sopra indicate.

1.3.2 Traffico su rete stradale urbana da sensori bluetooth

Il sistema di monitoraggio dei transiti mediante il rilevamento di segnali bluetooth costituisce un sistema di monitoraggio innovativo sviluppato da NOI Techpark². La rete di monitoraggio è attualmente aggiornata e mantenuta da CISMA s.r.l..

Una prima rete di sensori bluetooth venne installata nel Comune di Bolzano nell'ambito del progetto INTEGRGREEN³ e successivamente ampliata a settembre 2019 nell'ambito del progetto BrennerLEC⁴. La rete di sensori bluetooth nel Comune di Merano, invece, è stata installata a maggio 2020 nell'ambito del progetto MENTOR⁵.

Il principio di rilevamento su cui si basano i sensori (Miotto et al., 2017) consiste nello scansionare il flusso di traffico in diverse stazioni del grafo stradale catturando i veicoli che hanno l'unità bluetooth eccesa in modalità "visibile". Infatti, in questa modalità il segnale bluetooth è caratterizzato da una stringa alfanumerica criptata (identificativo anonimo) e costante nel tempo (o "fissa"), che consente di tener traccia dei transiti. Le catture bluetooth rappresentano solo una frazione del traffico complessivo e, di conseguenza, è necessario determinare un coefficiente di conversione al fine di convertire le catture bluetooth in transiti totali. Tale criticità è stata considerata in fase di progettazione della rete collocando alcuni punti di misura bluetooth in corrispondenza di alcune stazioni contatraffico comunali, che invece sono in grado di catturare l'intero flusso veicolare. La sovrapposizione delle due reti di monitoraggio permette quindi di determinare per via sperimentale il coefficiente di conversione catture bluetooth-transiti totali. Sulla base delle esperienze pregresse si è ottenuto che, in ambito urbano, i sensori bluetooth sono in grado di catturare mediamente il 20% del TGM (coefficiente di conversione pari a 5).

In Tab. 4 e in Tab. 5 si riporta l'elenco delle stazioni bluetooth che costituiscono le reti di misura rispettivamente per la città di Bolzano e di Merano. I sensori riportati nelle tabelle sono raggruppati per tipologia di flusso di traffico atteso lungo le strade monitorate. Infatti, come dettagliato in Sez. 4.2.1 per Bolzano e in Sez. 5.2.1 per

²NOI Techpark <https://noi.bz.it/it>

³Consorzio INTEGRGREEN, P.4.1.3: "Environmental stations front-end prototype", 2015

⁴BrennerLEC - Low Emission Corridor : progetto Europeo finanziato dal programma LIFE 2014-2020 per l'ambiente e il clima della Commissione Europea - www.brennerlec.life

⁵MENTOR: progetto Europeo Interreg co-finanziata dall'Unione europea, Fondo Europeo di Sviluppo Regionale, dallo Stato Italiano, dalla Confederazione elvetica e dai Cantoni nell'ambito del Programma di Cooperazione Interreg V-A Italia-Svizzera - https://www.comune.merano.bz.it/it/Progetto_MENTOR

Tabella 4: Elenco dei sensori bluetooth dislocati nella città di Bolzano e tipologia di traffico misurato. La maggior parte delle serie ha inizio da settembre-ottobre 2019. Si indicano con (†) le serie disponibili da marzo 2019.

ID	Latitudine	Longitudine	Traffico
Buozzi_Fiera	46.4737	11.3258	urbano
caugusta	46.4825	11.3424	urbano
Druso_Palermo	46.4951	11.3327	urbano
druso-poste	46.4951	11.3397	urbano
galvani	46.4741	11.3317	urbano
Maso_Pieve	46.4757	11.3375	urbano
Milano_Palermo	46.4896	11.3318	urbano
Milano_Resia	46.4897	11.3171	urbano
proma	46.4903	11.3420	urbano
Roma_Firenze	46.4923	11.3413	urbano
Agip_Einstein†	46.4713	11.3166	transito
Arginale_Palermo	46.4866	11.3345	transito
Arginale_Resia	46.4826	11.3254	transito
Galilei_Lancia	46.4862	11.3371	transito
Galilei_Palermo	46.4850	11.3326	transito
Galilei_Roma	46.4870	11.3436	transito
Galilei_Virgolo	46.4870	11.3414	transito
Galleria_Virgolo	46.4920	11.3592	transito
meinstein_old†	46.4980	11.3655	transito
meinstein	46.4683	11.3282	transito
P_Campiglio	46.4925	11.3714	transito
siemens†	46.4824	11.3305	transito
Torricelli	46.4781	11.3240	transito

Merano, all'interno del tessuto cittadino è possibile distinguere due regimi di traffico: uno locale o "urbano", connesso agli spostamenti degli abitanti all'interno delle città ed un regime di traffico "transito", che insiste sulle strade a maggiore scorrimento ed è più riconducibile al transito di merci o al pendolarismo.

Nel presente studio, la determinazione dei valori di TGM è stata ottenuta partendo dalle catture giornaliere medie mensili e medie annue. Tuttavia, la discontinuità delle serie di traffico misurate dalle spire del Comune di Bolzano nel 2020 e nel 2021 non ha permesso di determinare un valore del coefficiente di conversione catture-transiti totali calibrato sullo studio. Pertanto i valori di TGM sono stati ottenuti moltiplicando per 5 le catture bluetooth medie giornaliere. Viceversa, la determinazione sperimentale del coefficiente di calibrazione è stata possibile per i sensori bluetooth installati a Merano ed è descritta in Sez. 2.1.

Le tabelle di consistenza delle catture bluetooth sono riportate in Appendice A (pannello "Bluetooth") da Fig. 56 a Fig. 59 per la città di Bolzano e da Fig. 60 a Fig. 63 per la città di Merano. Tali rappresentazioni permettono di valutare la continuità delle catture giornaliere medie mensili disponibili per lo studio. Come

Tabella 5: Elenco dei sensori bluetooth dislocati nella città di Merano e tipologia di traffico misurato. Tutte le serie hanno inizio a maggio 2020.

ID	Latitudine	Longitudine	Traffico
corse_cappuccini	46.6739	11.1594	urbano
galilei	46.6736	11.1613	urbano
goethe_ospedale	46.6768	11.1488	urbano
goethe-alpini	46.6748	11.1558	urbano
hofer	46.6751	11.1524	urbano
huber	46.6729	11.1566	urbano
liberta-corse	46.6706	11.1594	urbano
petrarca	46.6667	11.1564	urbano
piave_matteotti	46.6643	11.1590	urbano
piave-palade	46.6617	11.1602	urbano
roma_nord	46.6676	11.1627	urbano
roma_sud	46.6569	11.1678	urbano
scena-leichter	46.6696	11.1782	urbano
schaffer-winkel	46.6658	11.1701	urbano
terme_ovest	46.6695	11.1596	urbano
wolf	46.6745	11.1592	urbano
wolf-franziskus	46.6780	11.1559	urbano
cavour	46.6684	11.1673	transito
mazzini	46.6711	11.1526	transito
ponte_rezia	46.6685	11.1531	transito
sinigo	46.6420	11.1776	transito
stazione	46.6733	11.1501	transito
terme_est	46.6693	11.1643	transito
zuegg-palade	46.6589	11.1459	transito

anticipato, le osservazioni bluetooth a Bolzano hanno avuto inizio a fine 2019 e a Merano da maggio 2020. A Bolzano le serie appaiono continue, a meno di un buco di dati di circa 10 giorni a maggio 2020 che tuttavia non inficia particolarmente la determinazione del TGM annuo. Anche a Merano si osserva la mancanza di qualche dato nel 2020, mentre nel 2021 le serie si presentano pressoché continue.

1.3.3 Traffico su rete stradale urbana da campagna di rilievo

I dati di traffico rilevati a Bolzano dalla ditta TPS Pro⁶ a supporto della redazione del nuovo Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (PUMS) sono stati utilizzati a completamento dell'informazione restituita dalle stazioni contatraffico comunali (Sez. 1.3.1) per l'anno 2019.

La campagna di rilievo è stata condotta nei giorni 5, 6 e 7 febbraio 2020, dislocando sensori Doppler radar e telecamere nelle 28 stazioni osservative riportate in Fig. 3 ed elencate in Tab. 6. I sensori installati hanno acquisito dati su di un oriz-

⁶TPS Pro srl - Società di Ingegneria, Bologna - Perugia. Sito internet: www.tpspro.it

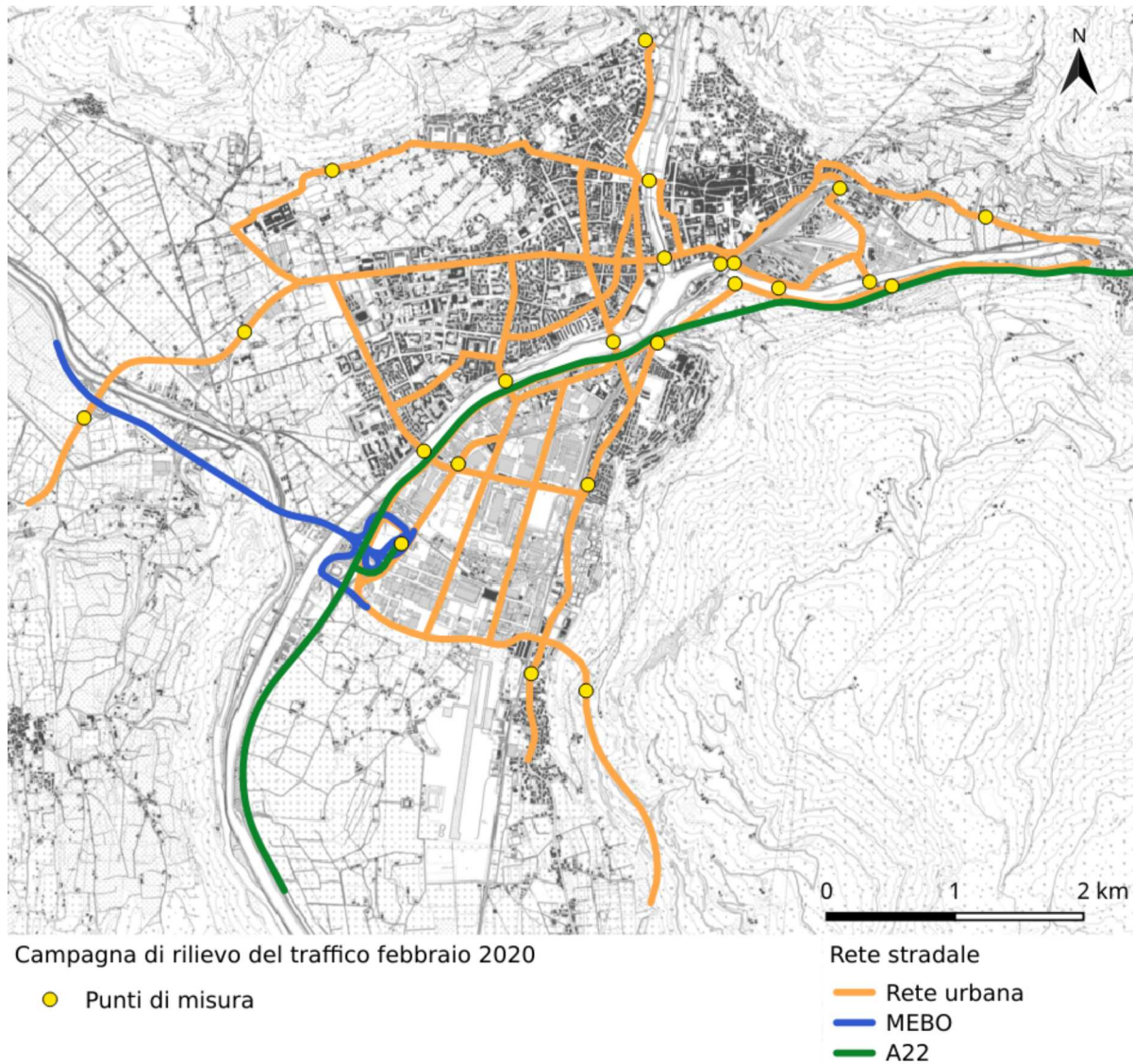


Figura 3: Posizione delle stazioni di misura durante la campagna di rilievo del traffico condotta a febbraio 2020. Per maggiori dettagli si rimanda alla Tavola allegata.

zonte temporale di 15 ore, dalle ore 6 alle ore 21. L'elaborazione delle misure ha permesso di generare una base dati costituita da serie di transiti suddivisi per classe di veicolo (autovetture, veicoli commerciali leggeri, veicoli pesanti isolati, autobus, mezzi pesanti combinati, bici e moto) con risoluzione temporale di 15 minuti. Inoltre che le stazioni di rilievo dotate di Doppler radar restituiscono anche la velocità complessiva del traffico, oltre al numero di transiti per classe di veicolo. Va inoltre osservato che:

- le giornate selezionate si configurano come giornate feriali scolastiche, permettendo così di caratterizzare i flussi veicolari in corrispondenza di elevato

Tabella 6: Elenco dei punti di misura del traffico durante la campagna di rilievo condotta a Bolzano dalla ditta TPS Pro srl nel periodo 5-7 febbraio 2020. Le ultime tre stazioni sono state escluse dallo studio in quanto non appartengono al grafo stradale selezionato.

ID	Città	Collocazione	Sensore	Giorno misura	Traffico
C01	Bolzano	Ponte Talvera	Telecamera	2020-02-06	urbano
C02	Bolzano	Ponte Druso	Telecamera	2020-02-06	urbano
C03	Bolzano	Ponte Loreto	Telecamera	2020-02-06	urbano
C04	Bolzano	Ponte Virgolo	Telecamera	2020-02-06	urbano
C05	Bolzano	Ponte Campiglio	Telecamera	2020-02-06	urbano
C07	Bolzano	Via Piani di Bolzano	Radar	2020-02-06	transito
C08	Bolzano	Via Nusser	Telecamera	2020-02-06	transito
C09	Bolzano	Via Pié di Virgolo	Radar	2020-02-07	transito
C10	Bolzano	Via Claudia Augusta-Nord	Radar	2020-02-07	transito
E01	Bolzano	SS12-Via Einstein	Radar	2020-02-05	transito
E02	Bolzano	Via Maso della Pieve	Radar	2020-02-05	transito
E03	Bolzano	Casello A22	Telecamera	2020-02-05	transito
E04	Bolzano	SS42 Via Bolzano	Radar	2020-02-05	transito
E05	Bolzano	Via Castel Firmiano	Radar	2020-02-05	transito
E07	Bolzano	Via Merano	Radar	2020-02-05	transito
E09	Bolzano	Via Rencio	Telecamera	2020-02-05	transito
E10	Bolzano	San Genesio	Radar	2020-02-05	transito
E11	Bolzano	SS12 Via Innsbruck	Radar	2020-02-05	transito
O01	Bolzano	Via Werner Von Siemens	Telecamera	2020-02-07	transito
O02	Bolzano	S. Maurizio	Radar	2020-02-07	transito
O03	Bolzano	Via Claudia Augusta	Radar	2020-02-07	transito
P01	Bolzano	Ponte Resia	Telecamera	2020-02-06	transito
P02	Bolzano	Ponte Via Palermo	Telecamera	2020-02-06	transito
P03	Bolzano	Ponte Roma	Telecamera	2020-02-06	transito
E08	Bolzano	Via Sarentino	Radar	2020-02-05	
E12	Bolzano	Via Sant'Antonio	Telecamera	2020-02-05	
C06	Bolzano	Via Sant'Antonio	Telecamera	2020-02-06	

traffico urbano;

- i dati raccolti sono rappresentativi di una configurazione della mobilità pre-pandemica e quindi possono essere utilizzati per caratterizzare la distribuzione del traffico riferita all'anno 2019.

I dati di transito forniti costituiscono la base di partenza delle elaborazioni descritte in Sez. 2.2, in cui si è proceduto alla determinazione di valori di TGM presso le stazioni dei rilievi. In analogia a quanto descritto nella sezione relativa ai sensori bluetooth (Sez. 1.3.2), anche in Tab. 6 a ciascuna stazione di rilievo è stata assegnata la tipologia di traffico che caratterizza la strada monitorata.

Tabella 7: Elenco delle stazioni contatraffico provinciali selezionate per caratterizzare il traffico extraurbano. La stazione denominata MEBO–Merano Centro (id: 87–88–89) è una stazione “virtuale” definita aggregando i dati forniti dalle stazioni contatraffico con identificativo 87, 88 e 89.

ID	Città	Collocazione
3	Bolzano	SS12–Pineta di Laives
4	Bolzano	SS12–Cardano Nord
20	Bolzano	SS42–Ponte Adige
65	Bolzano	MEBO–Frangarto
74	Bolzano	SP73–Renon
75	Bolzano	SP99–San Genesio
36	Merano	SS238–Marlengo
60	Merano	SP101–Lana Z.I.
66	Merano	MEBO–Sinigo
67	Merano	MEBO–Maia Bassa
71	Merano	SP8–Maia Alta
102	Merano	SP117–Via Nazionale
87	Merano	MEBO–Rampa Merano Centro
88	Merano	SP185–Rampa Merano
89	Merano	SP185–Rampa Lagundo
87–88–89	Merano	MEBO–Merano Centro

1.3.4 Traffico su rete stradale extraurbana

La rete di stazioni contatraffico provinciale consente il monitoraggio dei flussi veicolari lungo le principali strade di competenza sovra-comunale della Provincia. In particolare, la rete monitora numero, velocità e tipologia di veicoli che transitano attraverso ciascuna stazione. I dati sono poi resi disponibili attraverso l’interfaccia web dell’Istituto provinciale di statistica ASTAT⁷.

Nell’ambito del presente studio sono stati acquisiti i dati medi mensili e medi annui relativi ai flussi di traffico che hanno interessato le principali vie d’accesso alle città di Bolzano e di Merano nel periodo 2018–2021 (Tab. 7). I dati medi mensili sono utilizzati essenzialmente per valutare l’evoluzione complessiva del traffico nel periodo investigato. I valori medi annui, invece, sono utilizzati per caratterizzare la composizione il parco mezzi circolante ai fini della stima delle emissioni da traffico (Sez. 2.3 e 2.4).

La base dati disponibile è costituita dai valori di traffico giornaliero medio (TGM) e di velocità media (VEL) suddivisi per tipologia di veicolo (motocicli, autovetture e piccoli furgoni, autovetture e piccoli furgoni con rimorchio, furgoni e minibus, autocarri leggeri, autocarri pesanti, autocarri con rimorchio e autotreni, autoarticolati e pullman). Come prima operazione si è proceduto accorpendo le classi veicolari

⁷L’istituto provinciale di statistica ASTAT è raggiungibile al link <https://astat.provincia.bz.it>

in sei macro-classi che risultano essere sufficienti per caratterizzare la variazione dei flussi di traffico nelle città investigate. Sono così state definite le seguenti macro-classi:

- motocicli;
- automobili (autovetture e piccoli furgoni con/senza rimorchio);
- furgoni (furgoni, minibus e autocarri leggeri con massa inferiore a 3.5t);
- camion (autocarri pesanti con massa superiore a 3.5t, autocarri con rimorchio, autotreni e autoarticolati);
- autobus (pullman);
- veicoli totali.

Successivamente, i dati delle stazioni contatraffico che insistono sul medesimo tratto stradale sono stati aggregati. Nel caso di Merano, le stazioni 87, 88 e 89 (Tab. 7) sono collocate lungo il tratto di S.P. 185 che connette la MEBO con Via 4 Novembre. La stazione 87 è posta in corrispondenza della connessione con la MEBO, quindi i dati misurati sono rappresentativi flusso netto di traffico (ingresso/uscita) dalla città. Le spire 88 e 89, invece, sono collocate sulle rampe di accesso a Via 4 Novembre e quindi sono rappresentative dei soli transiti diretti rispettivamente a Merano e a Lagundo. I valori di flusso rappresentativi per l'intero tratto stradale sono quindi stati determinati come segue:

1. il TGM complessivo è dato dalla media tra il TGM fornito dalla stazione 87 e la somma dei TGM forniti dalle stazioni 88 e 89;
2. la velocità complessiva è data dalla media delle velocità rilevate da tutte e tre le stazioni.

Tali valori sono associati alla stazione contatraffico "virtuale" denominata MEBO-Merano Centro.

Le tabelle di consistenza dei TGM mensili relativi al traffico lungo la rete stradale extra-urbana sono riportate in Appendice A (pannello "PAB") da Fig. 56 a Fig. 59 per la città di Bolzano e da Fig. 60 a Fig. 63 per la città di Merano. Le stazioni contatraffico provinciali selezionate per la città di Bolzano restituiscono serie complete nel 2018 e nel 2021, mentre è presente una significativa lacuna di dati dalla seconda metà del 2019 alla prima metà del 2020. Anche le serie di traffico restituite dalle stazioni provinciali selezionate per Merano risultano essere discontinue nel tempo sia per la presenza di lacune di dati, sia per variazione del numero di stazioni attive

Tabella 8: Stazioni contatraffico lungo l'Autostrada del Brennero utilizzate nello studio

ID	Città	Collocazione
684	Bolzano	km 81+200 - Virgolo Nord, tratta: Bolzano Nord-Bolzano Sud
679	Bolzano	km 87+900 - Bolzano Sud, tratta: Bolzano Sud-Egna/Ora

nel periodo 2018–2021. Nel 2018 sono attive solo le stazioni MEBO–Maia Bassa, MEBO–Sinigo, SP101–Lana Z.I., SP8–Maia Alta e SS238–Marlengo, ma le serie restituite sono continue lungo tutto l’anno. Nel 2019 le serie sono incomplete, mentre la stazione SS238–Marlengo non restituisce misure fino a giugno 2020. Nel 2020 le stazioni MEBO–Maia Bassa e SP8–Maia Alta forniscono dati nella sola prima metà dell’anno. Dal 2021, a meno di qualche mancanza di dato a gennaio e febbraio, tutte le stazioni selezionate restituiscono dati.

1.3.5 Traffico autostradale

Il contributo emissivo connesso al traffico autostradale lungo il tratto di A22 che attraversa la città di Bolzano è stato valutato utilizzando i dati registrati dalle stazioni contatraffico (spire induttive) riportate in Tab. 8. Le due stazioni contatraffico sono rappresentative delle tratte autostradali comprese tra i caselli Bolzano Nord–Bolzano Sud e Bolzano Sud–Egna/Ora. In occasione del presente studio, Autobrennero ha fornito i transiti orari, suddivisi tra veicoli leggeri, pesanti e totali, che hanno interessato ciascuna carreggiata dal 2018 al 2021.

I dati forniti sono stati analizzati ed elaborati per ottenere valori rappresentativi di TGM alla scala mensile e annuale. In particolare, dai transiti orari sono stati calcolati i valori di TGM, aggregando (sommando) l’informazione oraria disponibile. In questa fase si è avuto cura di escludere dall’analisi quei giorni in cui l’informazione risulta incompleta, ossia se hanno meno di 24 osservazioni. La successiva aggregazione (media) dei TGM alla scala mensile e annuale ha permesso di stimare i TGM suddivisi per tratta autostradale, carreggiata e per macro-classe di veicoli (leggeri, pesanti e totali). Infine, la somma dei TGM (mensili ed annui) tra le due carreggiate ha permesso di ottenere i valori di TGM ricercati.

Le tabelle di consistenza dei TGM mensili relativi al traffico autostradale sono riportate in Appendice A da Fig. 56 a Fig. 59 (pannello “A22”). Tali distribuzioni mostrano che le serie sono pressoché sempre continue nel periodo 2018–2021. Le principali criticità si osservano nel 2018 per la mancanza di dati tra gennaio e febbraio lungo le tratta Bolzano Nord–Bolzano Sud e ad aprile lungo la tratta Bolzano Sud–Egna/Ora.

1.4 Dati meteorologici

I dati meteorologici da fornire in input al modello di qualità dell'aria derivano dallo studio "Elaborazione dei campi meteorologici nei sottodomini urbani/compreensoriali 1A, 1B, 1C, 2A e 2C". Tali dati corrispondono all'attività 3a nell'ambito del contratto "Attività specialistica di consulenza nella valutazione della qualità dell'aria". Nello studio citato sono infatti stati prodotti dati meteorologici mediante una catena modellistica WRF-CALMET, raggiungendo una risoluzione di 100 m, per l'intero anno 2013 (considerato un anno meteorologicamente rappresentativo). Sulla base delle informazioni e del formato richiesti dal modello, è stata effettuata un'opportuna estrazione di dati dal database per rendere possibili le simulazioni. In particolare, ad ogni strada è stata associata la rosa dei venti corrispondente al centro cella più prossimo della simulazione WRF-CALMET.

2. Metodologia

2.1 Conversione delle catture bluetooth in TGM

I sensori bluetooth catturano il passaggio dei soli veicoli dotati di dispositivo bluetooth attivo e fisso, pertanto sono indicativi di una sola frazione del traffico effettivamente circolante. L'utilizzo di questi dati all'interno dello studio è quindi vincolato alla necessità di determinare un valore sperimentale del coefficiente di conversione catture bluetooth-transiti che permetta di convertire le catture medie giornaliere in valori di TGM.

Come anticipato in Sez. 1.3.2, la discontinuità delle rilevazioni restituita dalla rete di stazioni contatraffico di Bolzano è tale da impedire la determinazione del coefficiente di conversione. Pertanto nell'ambito del presente studio i valori di TGM sono stati ottenuti moltiplicando per 5 le catture bluetooth medie mensili e medie annue. Infatti, sulla base di precedenti studi si è ottenuto che le catture bluetooth medie giornaliere rappresentano circa il 20% del TGM.

A Merano, invece, è stato possibile stimare un coefficiente di conversione catture-TGM dal confronto tra i valori giornalieri medi mensili di catture bluetooth e transiti in corrispondenza delle strade in cui le due reti di monitoraggio si sovrappongono. Si è così proceduto a:

1. individuare i sensori bluetooth sufficientemente prossimi ad una stazione contatraffico comunale;
2. stimare il rapporto catture-TGM sulla base dei valori giornalieri medi mensili;
3. identificare un valore medio rappresentativo per l'anno di interesse.

Come ulteriore filtro, per garantire una maggiore rappresentatività delle stime, sono stati considerati i soli punti di misura con almeno 6 mesi di osservazioni. Le stime dei coefficienti di conversione ottenute per gli anni 2020 e 2021 sono riportate in Tab. 9. I valori numerici sono tra loro simili e giustificano l'utilizzo del coefficiente di conversione adottato per la città di Bolzano. Sulla base dei risultati ottenuti, anche per la città di Merano appare adeguato utilizzare un coefficiente di conversione pari a 5.

Tabella 9: Coefficienti medi annui di conversione catture bluetooth-TGM determinati per la città di Merano.

Anno	Città	Media e deviazione standard
2020	Merano	5.0 ± 0.9
2021	Merano	5.3 ± 1.3

2.2 Determinazione del TGM da rilievi di traffico

La campagna di rilievo del traffico condotta da TPS Pro s.r.l. a Bolzano nel periodo 5-7 febbraio 2020 ha prodotto serie di transiti estese su finestre temporali di 15 ore (Sez. 1.3.3).

Come primo step nell'analisi, il dataset è stato riclassificato sulla base delle tipologie di veicoli riportate nelle seguenti macro-classi:

- motocicli;
- autovetture;
- furgoni (veicoli commerciali leggeri);
- camion (veicoli pesanti isolati e mezzi pesanti combinati);
- autobus;
- totali (somma dei veicoli che ricadono nelle precedenti classi).

I dati, disponibili per ciascuna stazione alla risoluzione temporale di 15 minuti, sono stati aggregati al fine di ottenere un valore rappresentativo per l'intera finestra osservativa, nel seguito indicati come transiti o veicoli a 15 ore.

I transiti a 15 ore sono quindi stati convertiti in valori di TGM moltiplicandoli per il coefficiente 1.124, il cui valore è stato stimato sulla base dei dati disponibili. In particolare, tale coefficiente è stato ottenuto confrontando i transiti a 15 ore con i valori di TGM misurati durante la medesima giornata dai sensori bluetooth e dalle stazioni contatraffico provinciali collocate in adiacenza del punto del rilievo.

Le stazioni di misura per cui è stato possibile determinare il coefficiente di conversione transiti rilevati-TGM sono riportate in Tab. 10 con i rispettivi valori numerici misurati o calcolati.

Nel caso della stazione rilievo in Via Einstein (E01) è stata selezionata la stazione contatraffico provinciale 3, posta all'imbocco della galleria di San Giacomo, lungo la SS12. La determinazione del coefficiente transiti rilevati-TGM per questo punto di misura è di fatto immediata: il valore numerico del coefficiente ricercato (coeff. TGM

Tabella 10: Stazioni di rilievo del traffico selezionate per la determinazione del coefficiente di conversione traffico rilevato-TGM (coeff. TGM). Si riportano gli identificativi delle stazioni di misura utilizzate relative a: campagna di rilevamento del traffico, stazioni contatraffico provinciali e sensori bluetooth ed i corrispondenti valori numerici utilizzati.

	Collocazione punti di misura in comune				
	Via Einstein	Via Innsbruck	Via Simens	Via Augusta	Ponte Roma
Campagna di rilievo del traffico					
Stazione	E01	E11	O01	O03	P03
Veicoli-15 h	19965	18880	22053	12337	28410
Stazioni contatraffico provinciali					
Stazione	3				
TGM	22177				
Sensori bluetooth					
Stazione		P_campiglio	simens	caugusta	proma
Catture-15 h		6881	3735	2881	2988
coeff. BT		2.74	5.90	4.28	9.51
Catture-1 d		7820	4180	3290	3320
TGM		21456.4	24680.5	14088.4	31566.7
coeff. TGM	1.111	1.136	1.119	1.142	1.111

in Tab. 10) è retituito dal rapporto tra il TGM osservato dalla stazione contatraffico ed i transiti a 15 ore rilevati (Veicoli-15 h in Tab. 10).

La determinazione del coefficiente di conversione tra serie rilevate e serie di catture da sensori bluetooth ha richiesto come step preliminare la conversione delle catture bluetooth in valori di TGM. Infatti, come già osservato in Sez. 1.3.2 e in Sez. 2.1, i sensori bluetooth restituiscono solo una frazione dei transiti complessivi, pertanto il coefficiente di conversione è stato ottenuto implementando la seguente procedura:

1. Calcolo delle catture dei sensori bluetooth durante la finestra temporale della campagna di rilievo (Catture- 15 h in Tab. 10);
2. Determinazione del coefficiente di calibrazione (coeff. BT in Tab. 10) definito come il rapporto tra i veicoli a 15 ore rilevati (Veicoli- 15 h in Tab. 10) ed le catture bluetooth a 15 ore (coeff. BT = Veicoli-15 h / Catture-15 h).
3. Conversione delle catture giornaliere dei sensori bluetooth (Catture- 1 d in Tab. 10) in TGM mediante il coefficiente di calibrazione stimato al punto precedente;
4. Calcolo del coefficiente transiti rilevati-TGM per ciascuna stazione.

Tabella 11: Confronto tra TGM riferito all'anno 2019, misurato presso le stazioni contatraffico provinciali, ed il TGM stimato dalle serie di transiti osservate durante la campagna di rilievo del traffico.

Collocazione	Stazione provinciale		Stazione rilievo	
	ID	TGM-2019	ID	TGM
Via Einstein	3	21929	E01	22439
Via Castel Firmiano	20	20980	E05	18604
San Genesio	75	3424	E10	3874

5. Calcolo del coefficiente transiti rilevati-TGM medio, ottenuto mediando i coefficienti precedentemente stimati e considerato rappresentativo per tutte le stazioni di rilievo dislocate in città durante la campagna di rilievo del traffico.

Le operazioni condotte al punto 2 e al punto 3 si basano sull'ipotesi implicita che i valori di traffico osservati nella finestra temporale di 15 ore siano sufficienti per caratterizzare il traffico giornaliero, ossia che il rapporto Veicoli-15 h / Catture-15 h (coeff. BT in Tab. 10) sia rappresentativo per l'intera giornata. In virtù della precedente ipotesi, il rapporto calcolato è utilizzato per riscalare i veicoli catturati dai sensori bluetooth nella giornata di rilievo in TGM.

Il coefficiente di conversione ottenuto mostra che i dati di transito misurati nella finestra di 15 ore rappresentano circa l'89% del TGM riferito al giorno della misura.

In Tab. 11, invece, si riportano i valori di TGM misurati durante l'anno 2019 dalle stazioni contatraffico provinciali collocate in prossimità dei punti di rilievo ed i corrispondenti valori di TGM stimati sulla base della procedura descritta. Le stazioni contatraffico provinciali 20 e 75 non sono state utilizzate per la determinazione del coefficiente di conversione in quanto non sono disponibili osservazioni in corrispondenza delle date dei rilievi. I valori in tabella sono tra loro simili, pertanto si può concludere che il TGM stimato durante le giornate dei rilievi sia una buona approssimazione del TGM annuo.

Infine, relativamente alla distribuzione delle classi veicolari, si è ipotizzato che il rapporto tra il numero di veicoli rilevati per ciascuna classe durante la finestra di misure ed il numero complessivo di veicoli transitati durante la medesima finestra temporale sia rappresentativo anche per la ripartizione del traffico durante le 24 ore.

2.3 Parco circolante medio provinciale

Il parco circolante medio provinciale è stato ricavato partendo dai veicoli immatricolati in Provincia di Bolzano. Non essendo disponibili dati sulla caratterizzazione

Tabella 12: Numero totale di veicoli immatricolati e numero di veicoli a noleggio in Provincia di Bolzano dal 2018 al 2020.

	2018	2019	2020	2021
Veicoli immatricolati	668530	667555	581062	605730
Veicoli a noleggio	232261	224475	118256	135369

del parco circolante in termini di classe EURO sul reticolo stradale provinciale, è necessario fare ricorso al dato relativo ai veicoli immatricolati, a prescindere dal fatto che essi risultino effettivamente circolanti o meno.

Negli ultimi anni è aumentato notevolmente il numero di veicoli immatricolati in Provincia di Bolzano da parte di ditte di autonoleggio che operano però a livello nazionale. In Tab. 12 si riporta il numero di veicoli immatricolati e il numero di veicoli a noleggio dal 2018 al 2021. Come si può notare, il numero di veicoli a noleggio subisce grandi variazioni tra un anno e l'altro e incide fortemente nel determinare la consistenza totale del parco auto immatricolato. Per questa ragione si è valutato di correggere la base dati a disposizione eliminando la quota parte di veicoli classificati come "a noleggio".

2.3.1 Parco circolante in area urbana

Tutti i veicoli immatricolati sono stati raggruppati nelle cinque macroclassi: autovetture, veicoli commerciali leggeri, veicoli commerciali pesanti, motocicli o autobus. Per ciascuna macroclasse è stata calcolata la distribuzione della classe EURO sulla base della tipologia di alimentazione: benzina, gasolio o altro, dove nella categoria altro sono stati raggruppati metano, GPL, elettrico, ibrido e miscela per i motocicli. Nella rete urbana, si è ipotizzato che i veicoli commerciali pesanti circolanti siano solo quelli con classe pari ad AM (autocarro trasporto merci) con massa superiore a 3.5 tonnellate. In questo modo non vengono considerati i veicoli con classe d'uso TS (trattori stradali o motrici), che tipicamente vengono impiegati per trasporti di lungo raggio su strade extraurbane/autostrade e che tipicamente risultano più nuovi rispetto agli altri veicoli pesanti, dal momento che vengono sostituiti più frequentemente.

In Tab. 13, Tab. 14, Tab. 15 e Tab. 16 sono riportate le distribuzioni delle classi EURO ottenute per ciascuna macroclasse e per diversa tipologia di alimentazione. Gli stessi dati sono riportati in forma grafica in Fig. 4, 5, 6 e 7.

Tabella 13: Distribuzione delle classi EURO dei veicoli immatricolati in Provincia di Bolzano per l'anno 2018 in ciascuna macroclasse per le diverse tipologie di alimentazione.

Autovetture				
Classe EURO	Benzina	Gasolio	Altro	Totale
0	5.1%	0.8%	0.1%	6.1%
1	1.4%	0.2%	0.1%	1.7%
2	4.8%	1.9%	0.2%	6.9%
3	3.8%	7.4%	0.1%	11.4%
4	15.2%	14.9%	1.4%	31.5%
5	7.5%	16.7%	0.6%	24.8%
6	6.6%	10.3%	0.7%	17.6%
Totale	44.5%	52.2%	3.3%	100.0%
Motocicli				
Classe EURO	Benzina	Gasolio	Altro	Totale
0	20.4%	0.0%	12.6%	33.1%
1	9.8%	0.0%	1.6%	11.4%
2	10.5%	0.0%	0.8%	11.2%
3	35.4%	0.0%	1.6%	37.0%
4	7.2%	0.0%	0.1%	7.3%
Totale	83.3%	0.0%	16.7%	100.0%
Autobus				
Classe EURO	Benzina	Gasolio	Altro	Totale
0	0.0%	2.8%	0.0%	2.8%
1	0.0%	0.9%	0.0%	0.9%
2	0.0%	4.1%	1.5%	5.6%
3	0.0%	8.8%	1.0%	9.8%
4	0.0%	4.9%	0.0%	4.9%
5	0.0%	46.8%	4.7%	51.4%
6	0.0%	24.6%	0.0%	24.6%
Totale	0.0%	92.8%	7.2%	100.0%
Veicoli commerciali leggeri				
Classe EURO	Benzina	Gasolio	Altro	Totale
0	1.2%	4.5%	0.1%	5.7%
1	0.3%	2.2%	0.0%	2.5%
2	0.9%	6.9%	0.0%	7.8%
3	0.9%	15.1%	0.2%	16.2%
4	1.4%	21.4%	0.6%	23.5%
5	0.9%	23.0%	0.4%	24.3%
6	0.7%	18.8%	0.4%	20.0%
Totale	6.2%	92.0%	1.8%	100.0%
Veicoli commerciali pesanti				
Classe EURO	Benzina	Gasolio	Altro	Totale
0	0.0%	11.2%	0.0%	11.2%
1	0.0%	2.5%	0.0%	2.5%
2	0.0%	12.6%	0.0%	12.6%
3	0.0%	21.6%	0.0%	21.6%
4	0.0%	5.9%	0.0%	5.9%
5	0.0%	25.1%	0.0%	25.1%
6	0.0%	20.9%	0.0%	21.0%
Totale	0.0%	99.9%	0.1%	100.0%

Tabella 14: Distribuzione delle classi EURO dei veicoli immatricolati in Provincia di Bolzano per l'anno 2019 in ciascuna macroclasse per le diverse tipologie di alimentazione.

Autovetture				
Classe EURO	Benzina	Gasolio	Altro	Totale
0	4.7%	0.7%	0.1%	5.6%
1	1.2%	0.2%	0.1%	1.4%
2	4.0%	1.6%	0.1%	5.7%
3	3.4%	6.2%	0.1%	9.8%
4	14.3%	13.8%	1.3%	29.4%
5	7.5%	16.9%	0.6%	24.9%
6	8.7%	13.3%	1.1%	23.1%
<i>Totale</i>	<i>43.9%</i>	<i>52.7%</i>	<i>3.4%</i>	<i>100.0%</i>
Motocicli				
Classe EURO	Benzina	Gasolio	Altro	Totale
0	19.6%	0.0%	12.7%	32.3%
1	9.1%	0.0%	1.5%	10.6%
2	9.8%	0.0%	0.7%	10.6%
3	34.0%	0.0%	1.6%	35.6%
4	10.8%	0.0%	0.2%	11.0%
<i>Totale</i>	<i>83.3%</i>	<i>0.0%</i>	<i>16.7%</i>	<i>100.0%</i>
Autobus				
Classe EURO	Benzina	Gasolio	Altro	Totale
0	0.0%	2.3%	0.0%	2.3%
1	0.0%	0.8%	0.0%	0.8%
2	0.0%	2.6%	1.3%	3.9%
3	0.0%	6.7%	1.0%	7.7%
4	0.0%	4.2%	0.0%	4.2%
5	0.0%	45.9%	4.6%	50.5%
6	0.0%	27.5%	3.2%	30.7%
<i>Totale</i>	<i>0.0%</i>	<i>89.9%</i>	<i>10.1%</i>	<i>100.0%</i>
Veicoli commerciali leggeri				
Classe EURO	Benzina	Gasolio	Altro	Totale
0	1.1%	3.9%	0.1%	5.0%
1	0.2%	1.8%	0.0%	2.0%
2	0.8%	5.8%	0.0%	6.6%
3	0.8%	13.0%	0.1%	14.0%
4	1.3%	19.6%	0.6%	21.5%
5	0.8%	22.6%	0.5%	24.0%
6	1.1%	25.2%	0.5%	26.9%
<i>Totale</i>	<i>6.2%</i>	<i>91.9%</i>	<i>1.9%</i>	<i>100.0%</i>
Veicoli commerciali pesanti				
Classe EURO	Benzina	Gasolio	Altro	Totale
0	0.0%	9.8%	0.0%	9.8%
1	0.0%	2.3%	0.0%	2.3%
2	0.0%	11.1%	0.0%	11.1%
3	0.0%	20.3%	0.0%	20.3%
4	0.0%	5.4%	0.0%	5.4%
5	0.0%	24.3%	0.0%	24.4%
6	0.0%	26.6%	0.1%	26.7%
<i>Totale</i>	<i>0.0%</i>	<i>99.9%</i>	<i>0.1%</i>	<i>100.0%</i>

Tabella 15: Distribuzione delle classi EURO dei veicoli immatricolati in Provincia di Bolzano per l'anno 2020 in ciascuna macroclasse per le diverse tipologie di alimentazione.

Autovetture				
Classe EURO	Benzina	Gasolio	Altro	Totale
0	5.0%	0.8%	0.1%	5.9%
1	1.2%	0.2%	0.1%	1.5%
2	3.7%	1.5%	0.1%	5.3%
3	3.1%	5.6%	0.1%	8.8%
4	13.3%	12.6%	1.2%	27.1%
5	7.2%	16.3%	0.6%	24.1%
6	10.1%	15.5%	1.6%	27.3%
<i>Totale</i>	<i>43.6%</i>	<i>52.5%</i>	<i>3.9%</i>	<i>100.0%</i>
Motocicli				
Classe EURO	Benzina	Gasolio	Altro	Totale
0	19.5%	0.0%	13.1%	32.6%
1	8.8%	0.0%	1.4%	10.2%
2	9.3%	0.0	0.7%	10.1%
3	31.9%	0.0%	1.6%	33.5%
4	13.1%	0.0%	0.2%	13.4%
5	0.3%	0.0%	0.0%	0.3%
<i>Totale</i>	<i>83.0%</i>	<i>0.0%</i>	<i>17.0%</i>	<i>100.0%</i>
Autobus				
Classe EURO	Benzina	Gasolio	Altro	Totale
0	0.0%	2.3%	0.0%	2.3%
1	0.0%	0.8%	0.0%	0.8%
2	0.0%	2.5%	0.0%	2.5%
3	0.0%	6.5%	0.0%	6.5%
4	0.0%	3.9%	0.0%	3.9%
5	0.0%	44.5%	4.0%	48.6%
6	0.0%	30.1%	5.4%	35.5%
<i>Totale</i>	<i>0.0%</i>	<i>90.6%</i>	<i>9.4%</i>	<i>100.0%</i>
Veicoli commerciali leggeri				
Classe EURO	Benzina	Gasolio	Altro	Totale
0	1.2%	4.3%	0.1%	5.5%
1	0.2%	2.0%	0.0%	2.2%
2	0.7%	5.4%	0.0%	6.1%
3	0.8%	11.6%	0.1%	12.4%
4	1.2%	18.0%	0.5%	19.6%
5	0.8%	21.7%	0.4%	23.0%
6	1.3%	29.2%	0.7%	31.2%
<i>Totale</i>	<i>9.9%</i>	<i>88.4%</i>	<i>1.7%</i>	<i>100.0%</i>
Veicoli commerciali pesanti				
Classe EURO	Benzina	Gasolio	Altro	Totale
0	0.1%	10.4%	0.0%	10.5%
1	0.0%	2.1%	0.0%	2.1%
2	0.0%	10.0%	0.0%	10.0%
3	0.0%	19.1%	0.0%	19.1%
4	0.0%	5.3%	0.0%	5.3%
5	0.0%	22.7%	0.0%	22.7%
6	0.0%	29.9%	0.2%	30.1%
<i>Totale</i>	<i>0.1%</i>	<i>99.0%</i>	<i>0.9%</i>	<i>100.0%</i>

Tabella 16: Distribuzione delle classi EURO dei veicoli immatricolati in Provincia di Bolzano per l'anno 2021 in ciascuna macroclasse per le diverse tipologie di alimentazione.

Autovetture				
Classe EURO	Benzina	Gasolio	Altro	Totale
0	5.1%	0.8%	0.1%	6.0%
1	1.2%	0.2%	0.1%	1.5%
2	3.4%	1.4%	0.1%	4.9%
3	2.8%	5.0%	0.1%	7.9%
4	12.5%	11.5%	1.1%	25.1%
5	7.2%	16.0%	0.5%	23.7%
6	11.3%	17.2%	2.4%	30.9%
<i>Totale</i>	<i>43.4%</i>	<i>52.1%</i>	<i>4.5%</i>	<i>100.0%</i>
Motocicli				
Classe EURO	Benzina	Gasolio	Altro	Totale
0	19.1%	0.0%	13.2%	32.4%
1	8.3%	0.0%	1.4%	9.7%
2	8.8%	0.0%	0.7%	9.5%
3	30.3%	0.0%	1.6%	31.9%
4	13.4%	0.0%	0.3%	13.6%
5	2.9%	0.0%	0.1%	2.9%
<i>Totale</i>	<i>82.7%</i>	<i>0.0%</i>	<i>17.3%</i>	<i>100.0%</i>
Autobus				
Classe EURO	Benzina	Gasolio	Altro	Totale
0	0.0%	1.6%	0.0%	1.6%
1	0.0%	0.6%	0.0%	0.6%
2	0.0%	1.3%	0.0%	1.3%
3	0.0%	5.2%	0.0%	5.2%
4	0.0%	2.9%	0.0%	2.9%
5	0.0%	39.1%	1.3%	40.4%
6	0.0%	40.8%	7.2%	48.0%
<i>Totale</i>	<i>0.0%</i>	<i>1.5%</i>	<i>8.5%</i>	<i>100.0%</i>
Veicoli commerciali leggeri				
Classe EURO	Benzina	Gasolio	Altro	Totale
0	1.2%	4.1%	0.1%	5.4%
1	0.2%	1.8%	0.0%	2.1%
2	0.6%	4.9%	0.0%	5.6%
3	0.7%	10.4%	0.1%	11.2%
4	1.1%	16.1%	0.4%	17.6%
5	0.8%	20.7%	0.4%	21.8%
6	1.5%	34.0%	0.9%	36.3%
<i>Totale</i>	<i>6.0%</i>	<i>92.0%</i>	<i>1.9%</i>	<i>100.0%</i>
Veicoli commerciali pesanti				
Classe EURO	Benzina	Gasolio	Altro	Totale
0	0.1%	9.7%	0.0%	9.8%
1	0.0%	1.9%	0.0%	1.9%
2	0.0%	9.1%	0.0%	9.1%
3	0.0%	18.0%	0.0%	18.0%
4	0.0%	4.9%	0.0%	4.9%
5	0.0%	22.0%	0.0%	22.1%
6	0.0%	33.8%	0.5%	34.3%
<i>Totale</i>	<i>0.1%</i>	<i>99.4%</i>	<i>0.5%</i>	<i>100.0%</i>

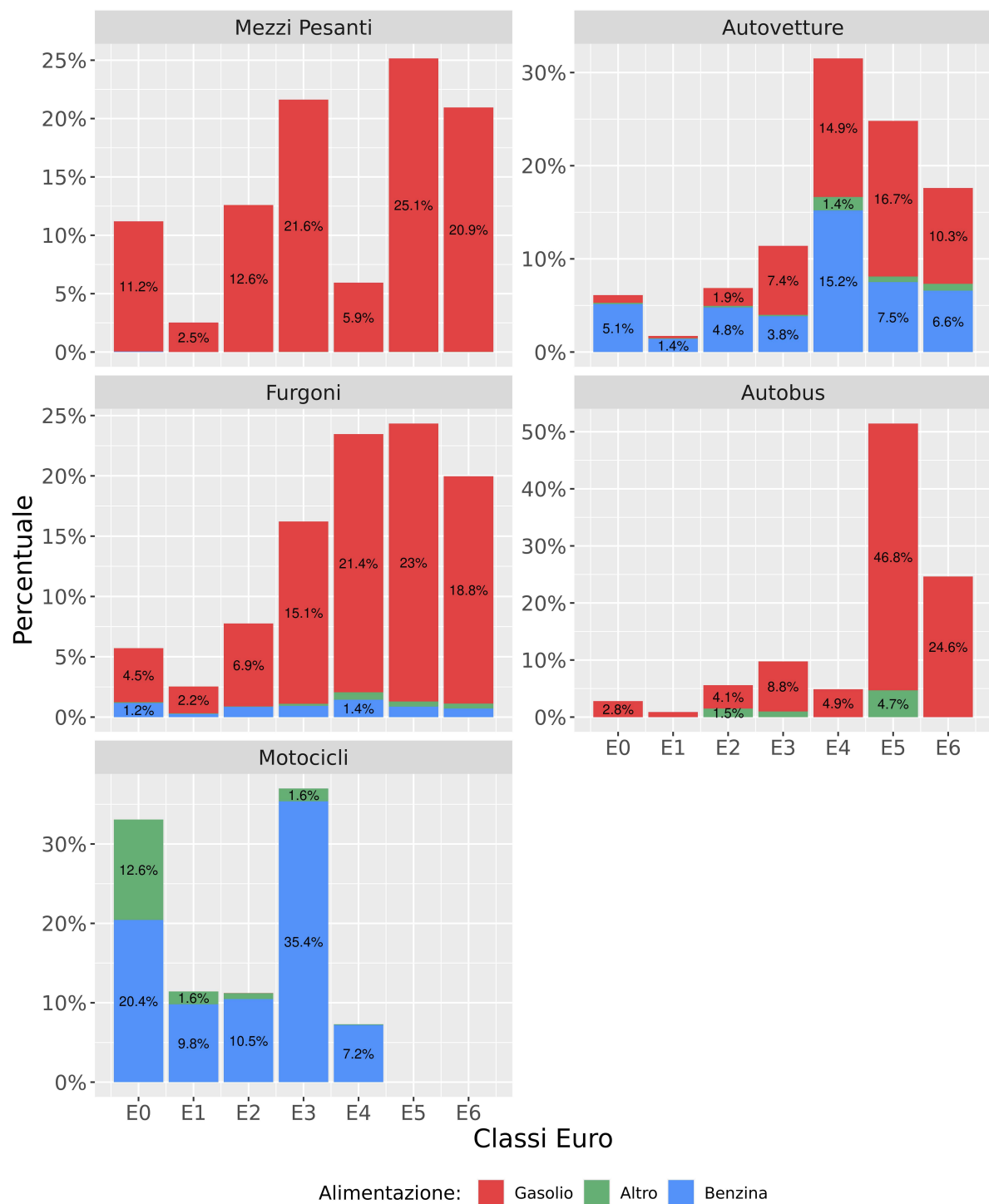


Figura 4: Parco circolante 2018 in area urbana. Distribuzione percentuale delle classi EURO per tipologia di veicolo e carburante.

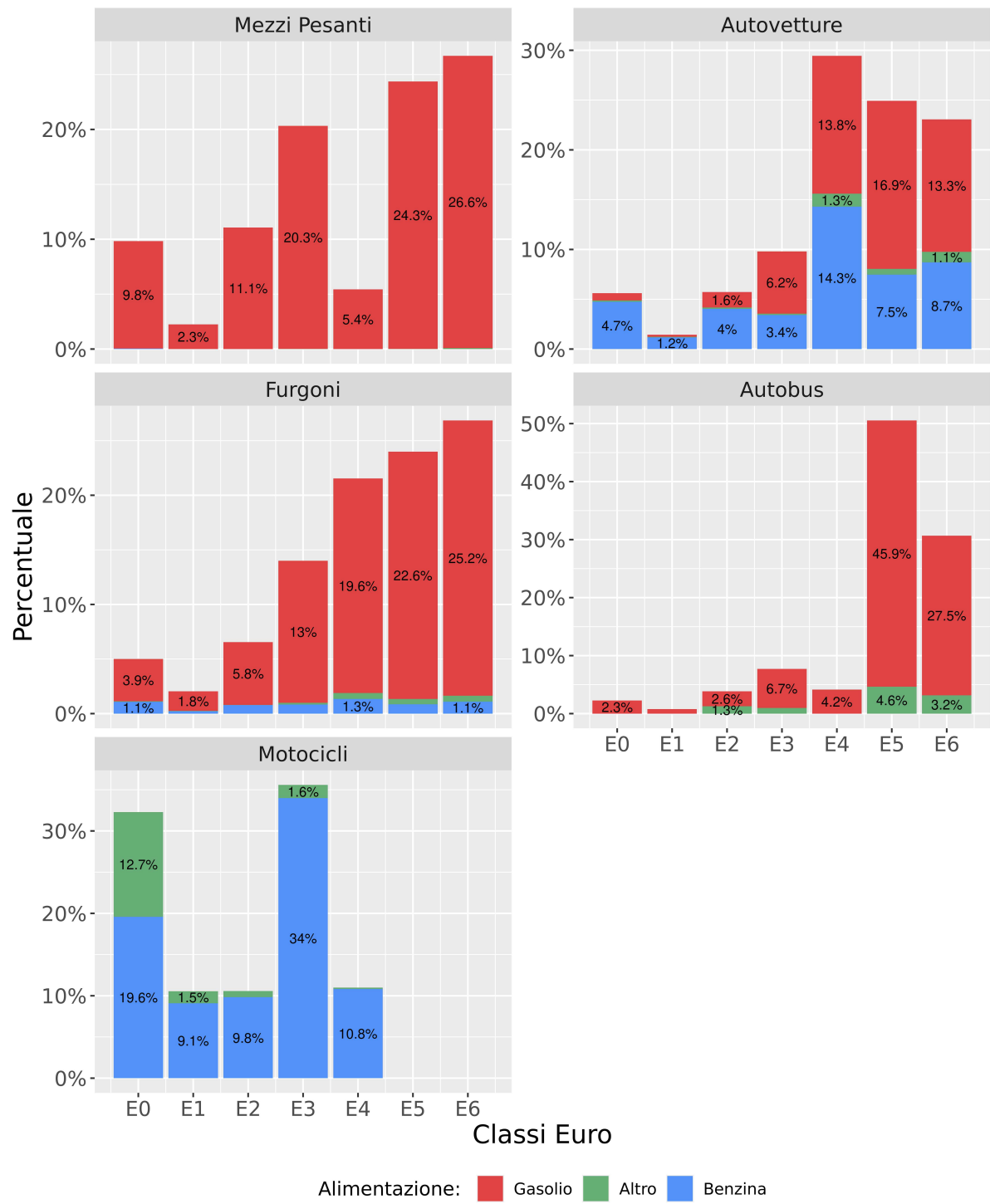


Figura 5: Parco circolante 2019 in area urbana. Distribuzione percentuale delle classi EURO per tipologia di veicolo e carburante.

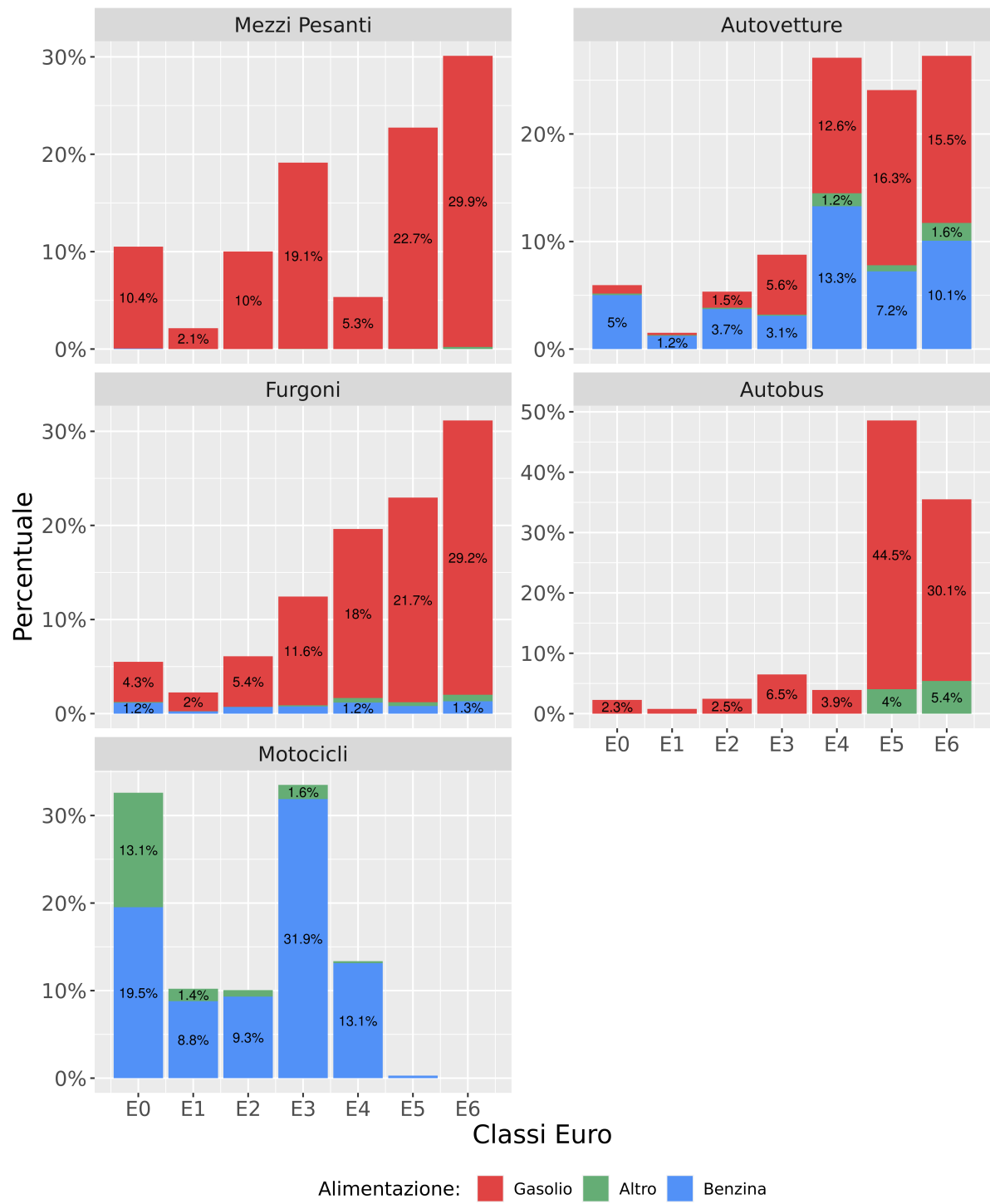


Figura 6: Parco circolante 2020 in area urbana. Distribuzione percentuale delle classi EURO per tipologia di veicolo e carburante.

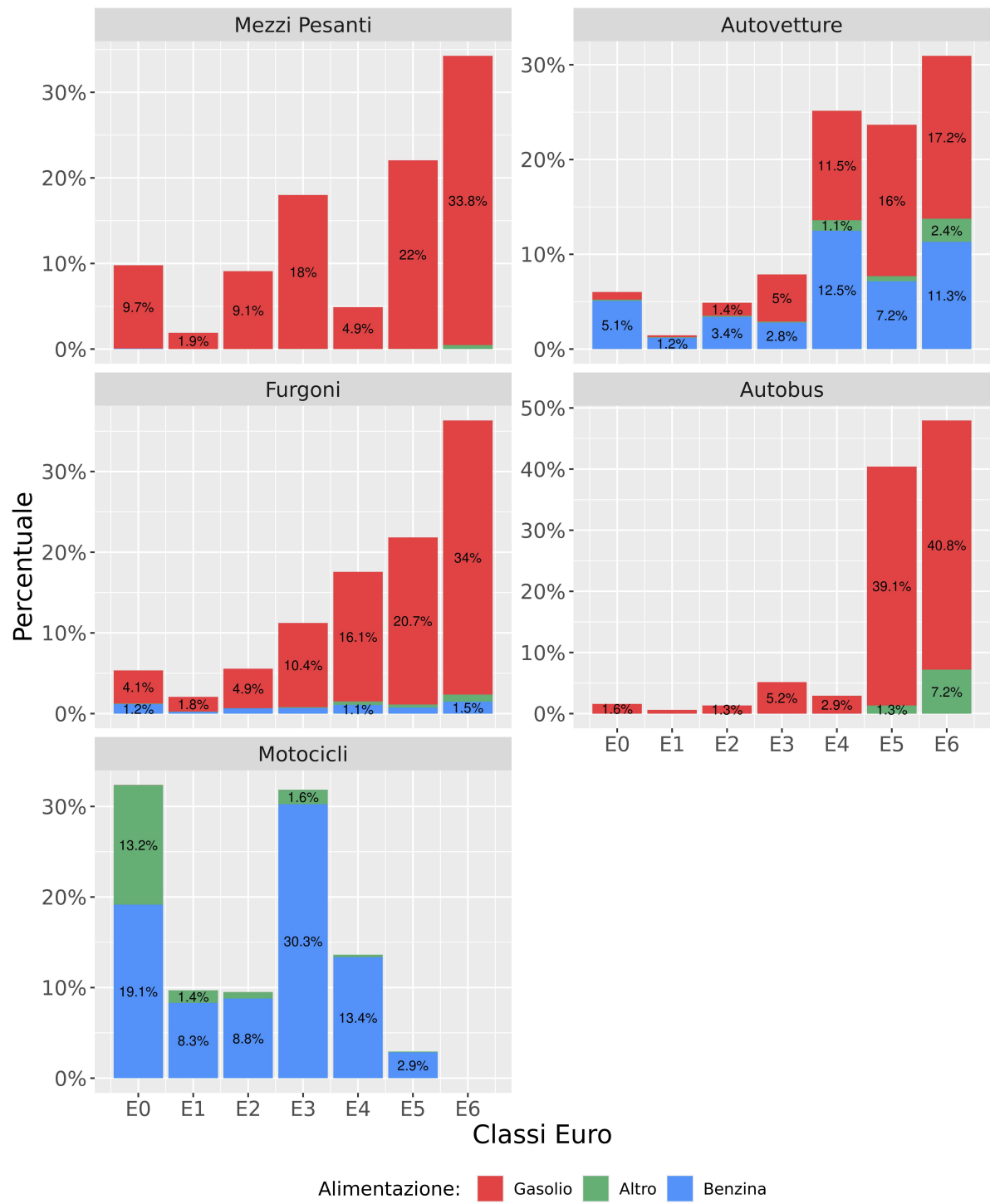


Figura 7: Parco circolante 2021 in area urbana. Distribuzione percentuale delle classi EURO per tipologia di veicolo e carburante.

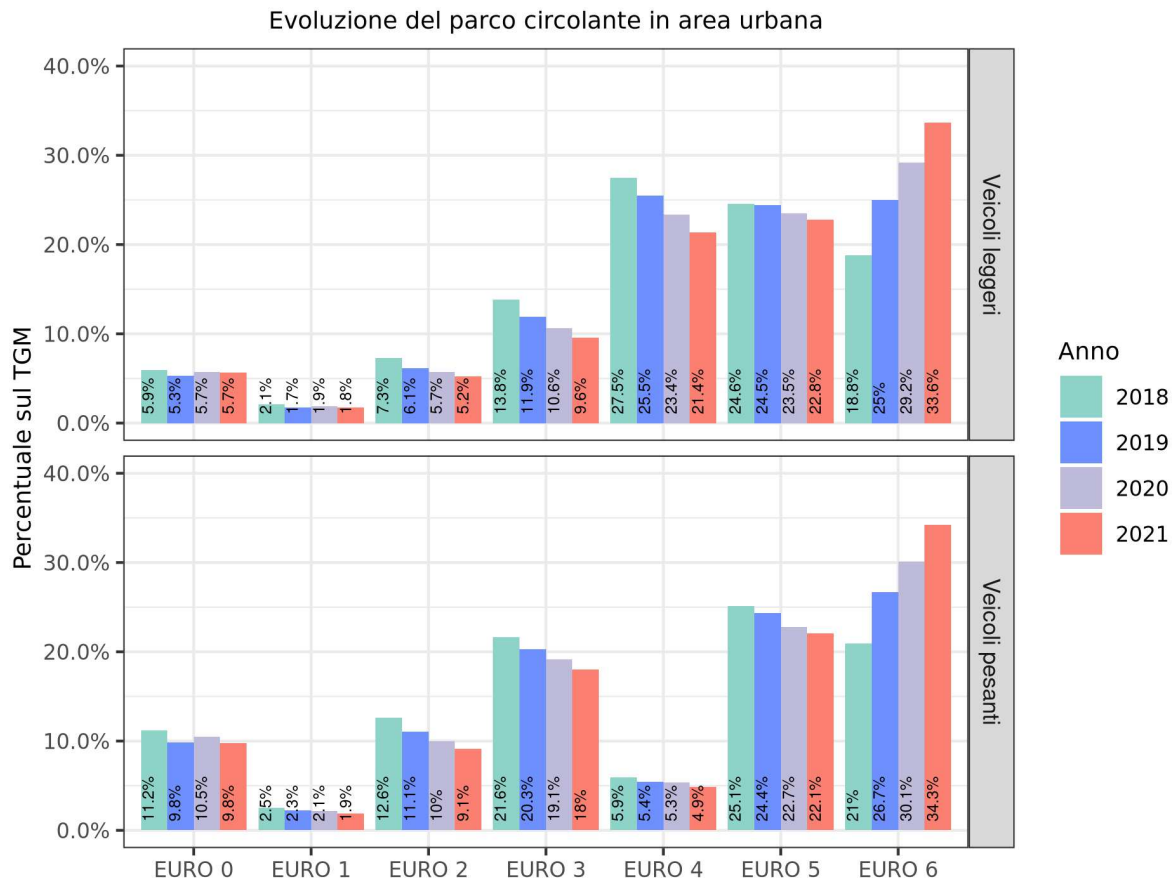


Figura 8: Parco circolante in area urbana. Evoluzione della distribuzione percentuale delle classi EURO per i veicoli leggeri (autovetture e furgoni) e i veicoli pesanti.

Un confronto tra le distribuzioni percentuali delle classi EURO nei diversi anni analizzati per la categoria dei veicoli leggeri (autovetture e furgoni) e per i veicoli pesanti è riportato in Fig. 8. Come si può osservare, in questi quattro anni il rinnovamento del parco circolante appare molto evidente sia per i veicoli leggeri che per quelli pesanti; per entrambe le categorie infatti nel 2021 la classe di veicoli più numerosa è quella relativa alla classe EURO 6. Si tenga conto che per il parco circolante urbano fa riferimento ai veicoli immatricolati: la classe di veicoli EURO 0 varia poco durante gli anni, ma molto probabilmente si tratta di veicoli che di fatto non vengono utilizzati quotidianamente. Per questa ragione avere informazioni il più dettagliate possibile sul parco macchine effettivamente circolante risulta di fondamentale importanza per caratterizzare correttamente le emissioni derivanti da traffico e stimarne quindi in modo corretto l'impatto sulla qualità dell'aria.

In Figura 9 si riportano invece le distribuzioni percentuali delle classi EURO nei diversi anni analizzati per la categoria dei veicoli leggeri (autovetture e furgoni) e per i veicoli pesanti in funzione della tipologia di alimentazione. I mezzi pesanti, in-

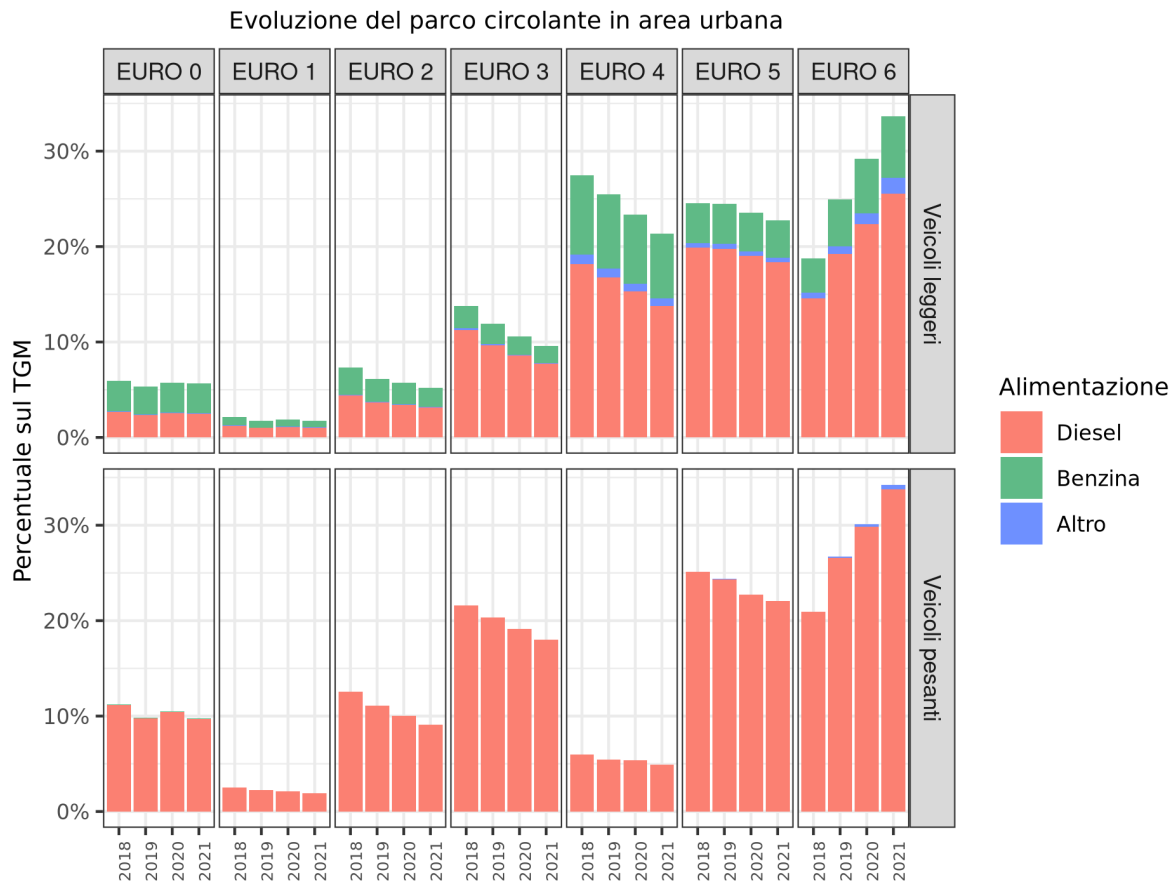


Figura 9: Parco circolante in area urbana. Evoluzione della distribuzione percentuale delle classi EURO per i veicoli leggeri (autovetture e furgoni) e i veicoli pesanti in funzione della tipologia di alimentazione.

dependentemente dalla classe EURO, e gran parte dei mezzi leggeri sono alimentati a gasolio. Si osserva tuttavia che: (i) i veicoli leggeri di classe EURO 4 con motori a Diesel diminuiscono dal 2018 al 2021, mentre quelli a benzina tendono a restare costanti; (ii) i veicoli leggeri di classe EURO 5 con motori a Diesel diminuiscono di qualche punto percentuale solo nel 2021; (iii) i veicoli leggeri di classe EURO 6 con motore a Diesel aumentano dal 15% al 25% circa, mentre quelli con motore a benzina aumentano dal 3.5% al 6.5% circa; (iv) anche se di solo qualche punto percentuale è interessante osservare l'aumento nel 2021 dei veicoli di classe EURO6 con alimentazione diversa da gasolio e benzina, sia tra i mezzi leggeri, sia tra quelli pesanti (pullman).

2.3.2 Parco circolante provinciale lungo la MEBO

Lungo la MEBO si è deciso di utilizzare il parco circolante uguale a quello dell'area urbana, con la differenza dei soli veicoli commerciali pesanti, in cui sono stati inclusi anche i trattori stradali (classe d'uso TS). La distribuzione relativa a questa sola categoria di veicoli è riportata in Tab. 17. Come si può osservare, il parco circolante relativo ai soli mezzi pesanti appare più nuovo.

I grafici in Fig. 10, 11, 12 e 13 riportano invece le distribuzioni delle classi EURO dei veicoli immatricolati in Provincia di Bolzano per ciascuna macroclasse e per diversa tipologia di alimentazione attese lungo la MEBO in cui sono stati aggiornati i mezzi pesanti, includendo i trattori stradali.

Tabella 17: Distribuzione delle classi EURO dei veicoli commerciali pesanti utilizzata per la MEBO dal 2018 al 2021 per le diverse tipologie di alimentazione.

2018				
Classe EURO	Benzina	Gasolio	Altro	Totale
0	0.0%	8.2%	0.0%	8.3%
1	0.0%	1.8%	0.0%	1.8%
2	0.0%	8.8%	0.0%	8.8%
3	0.0%	16.9%	0.0%	16.9%
4	0.0%	4.5%	0.0%	4.5%
5	0.0%	23.8%	0.0%	23.8%
6	0.0%	35.8%	0.2%	36.0%
<i>Totale</i>	<i>0.0%</i>	<i>99.8%</i>	<i>0.2%</i>	<i>100.0%</i>
2019				
Classe EURO	Benzina	Gasolio	Altro	Totale
0	0.0%	7.1%	0.0%	7.1%
1	0.0%	1.6%	0.0%	1.6%
2	0.0%	7.6%	0.0%	7.6%
3	0.0%	15.4%	0.0%	15.4%
4	0.0%	4.0%	0.0%	4.0%
5	0.0%	22.1%	0.0%	22.1%
6	0.0%	41.6%	0.5%	42.1%
<i>Totale</i>	<i>0.0%</i>	<i>99.4%</i>	<i>0.5%</i>	<i>100.0%</i>
2020				
Classe EURO	Benzina	Gasolio	Altro	Totale
0	0.0%	7.4%	0.0%	7.4%
1	0.0%	1.5%	0.0%	1.5%
2	0.0%	6.8%	0.0%	6.8%
3	0.0%	14.1%	0.0%	14.1%
4	0.0%	3.9%	0.0%	3.9%
5	0.0%	20.4%	0.0%	20.4%
6	0.0%	45.1%	0.9%	46.0%
<i>Totale</i>	<i>0.0%</i>	<i>99.0%</i>	<i>0.9%</i>	<i>100.0%</i>
2021				
Classe EURO	Benzina	Gasolio	Altro	Totale
0	0.0%	6.4%	0.0%	6.4%
1	0.0%	1.2%	0.0%	1.2%
2	0.0%	5.6%	0.0%	5.6%
3	0.0%	12.2%	0.0%	12.2%
4	0.0%	3.3%	0.0%	3.3%
5	0.0%	18.0%	0.0%	18.0%
6	0.0%	51.2%	2.1%	53.3%
<i>Totale</i>	<i>0.0%</i>	<i>97.9%</i>	<i>2.1%</i>	<i>100.0%</i>

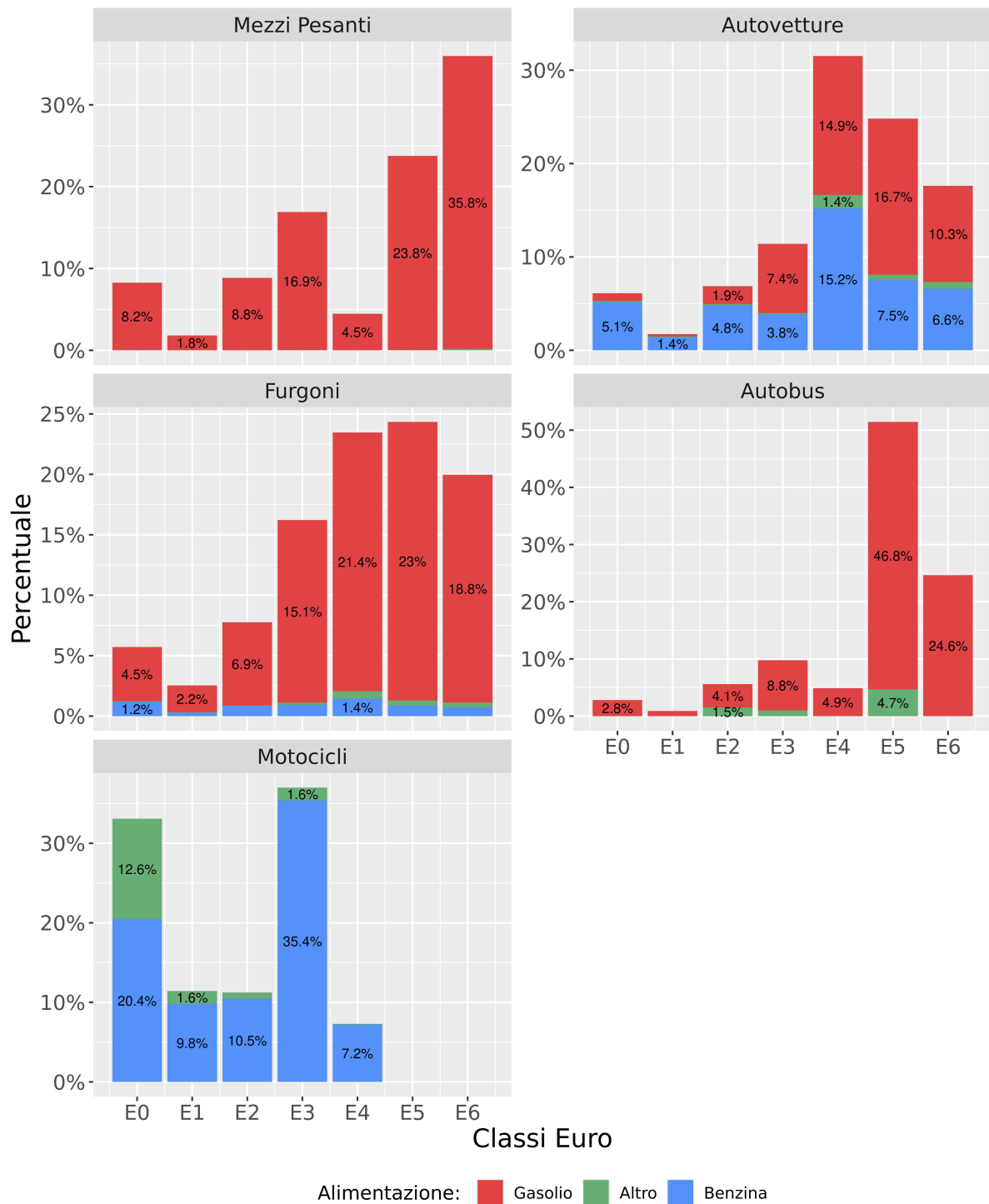


Figura 10: Parco circolante 2018 lungo la MEBO. Distribuzione percentuale delle classi EURO per tipologia di veicolo e carburante.

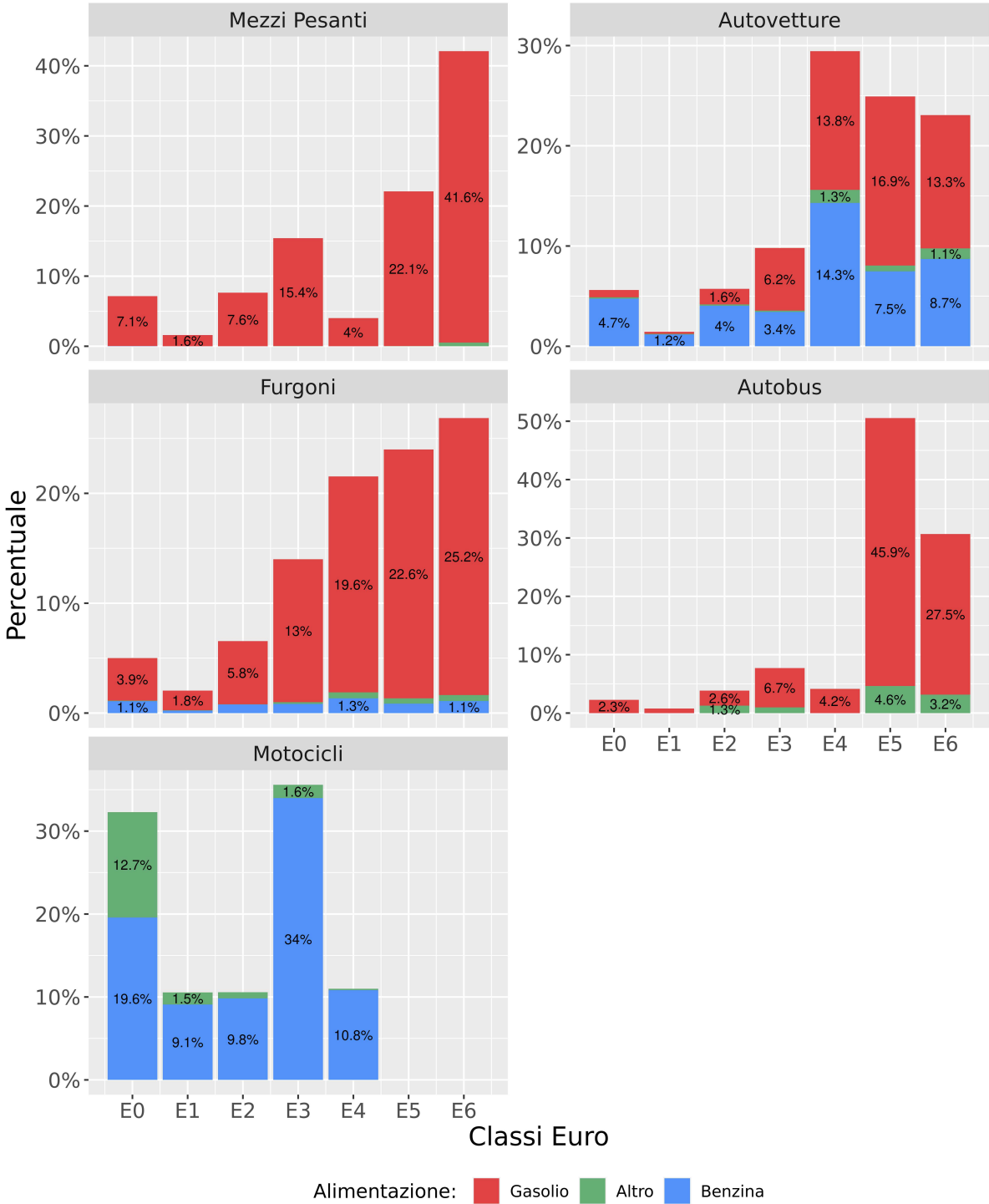


Figura 11: Parco circolante 2019 lungo la MEBO. Distribuzione percentuale delle classi EURO per tipologia di veicolo e carburante.

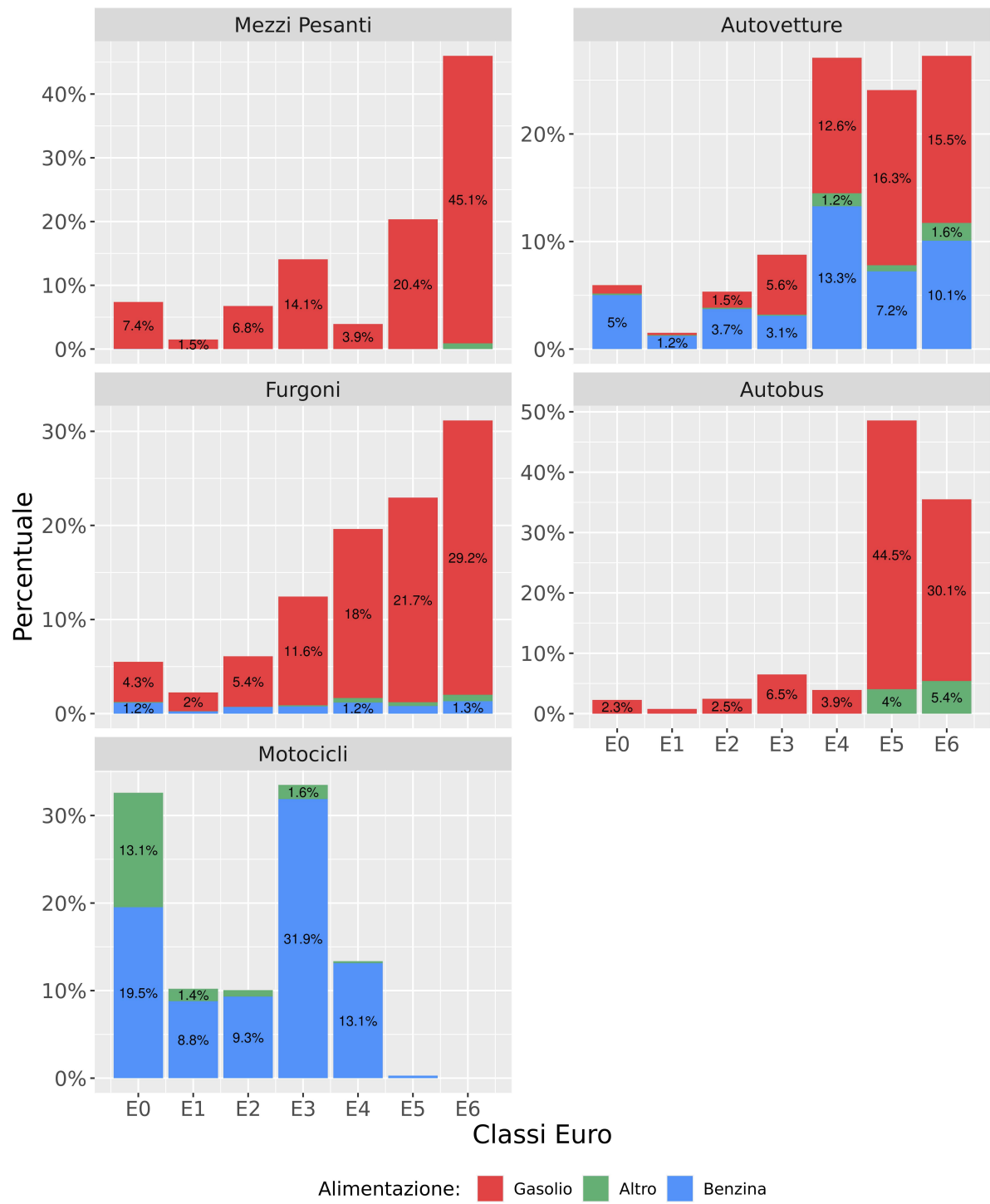


Figura 12: Parco circolante 2020 lungo la MEBO. Distribuzione percentuale delle classi EURO per tipologia di veicolo e carburante.

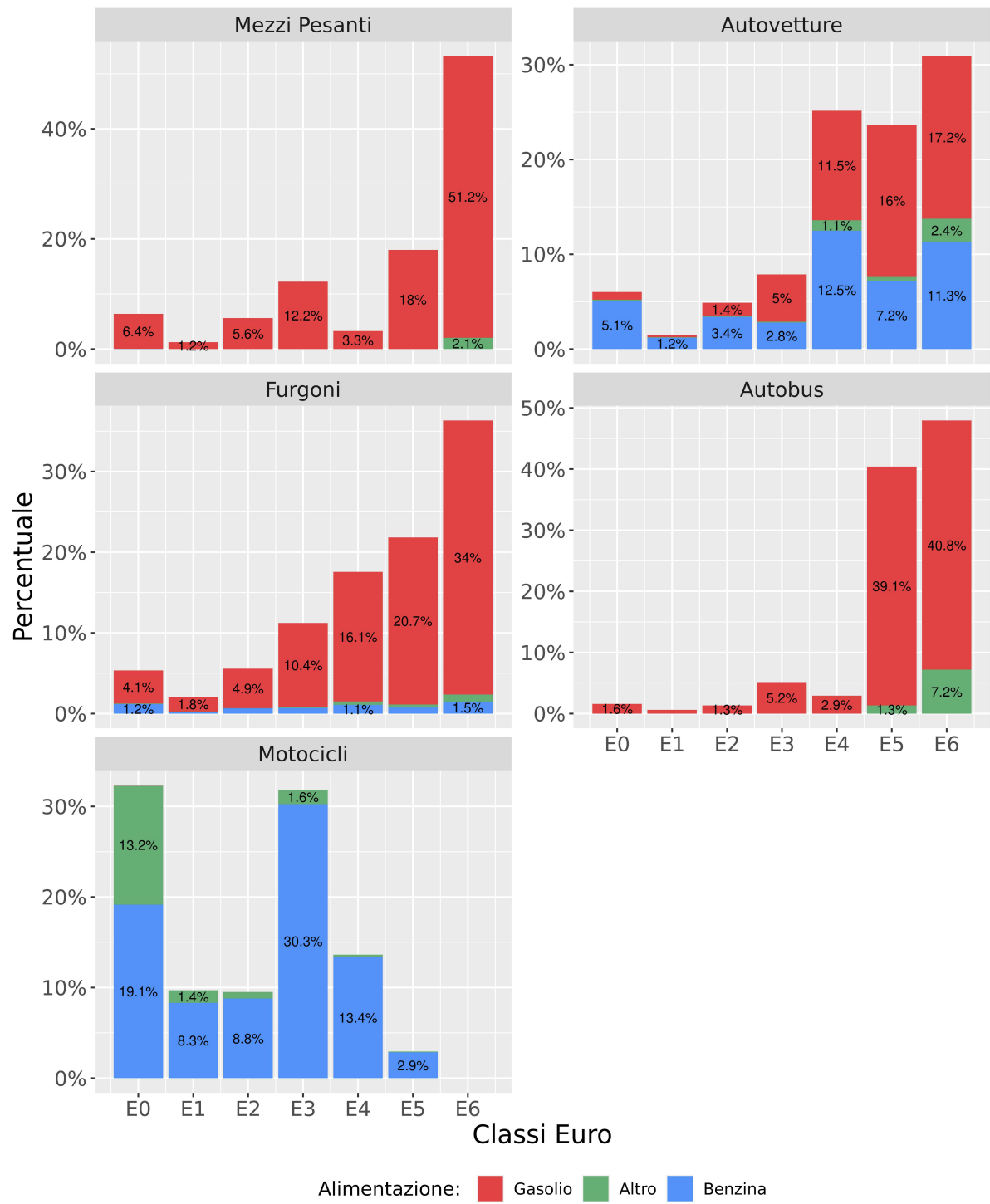


Figura 13: Parco circolante 2021 lungo la MEBO. Distribuzione percentuale delle classi EURO per tipologia di veicolo e carburante.

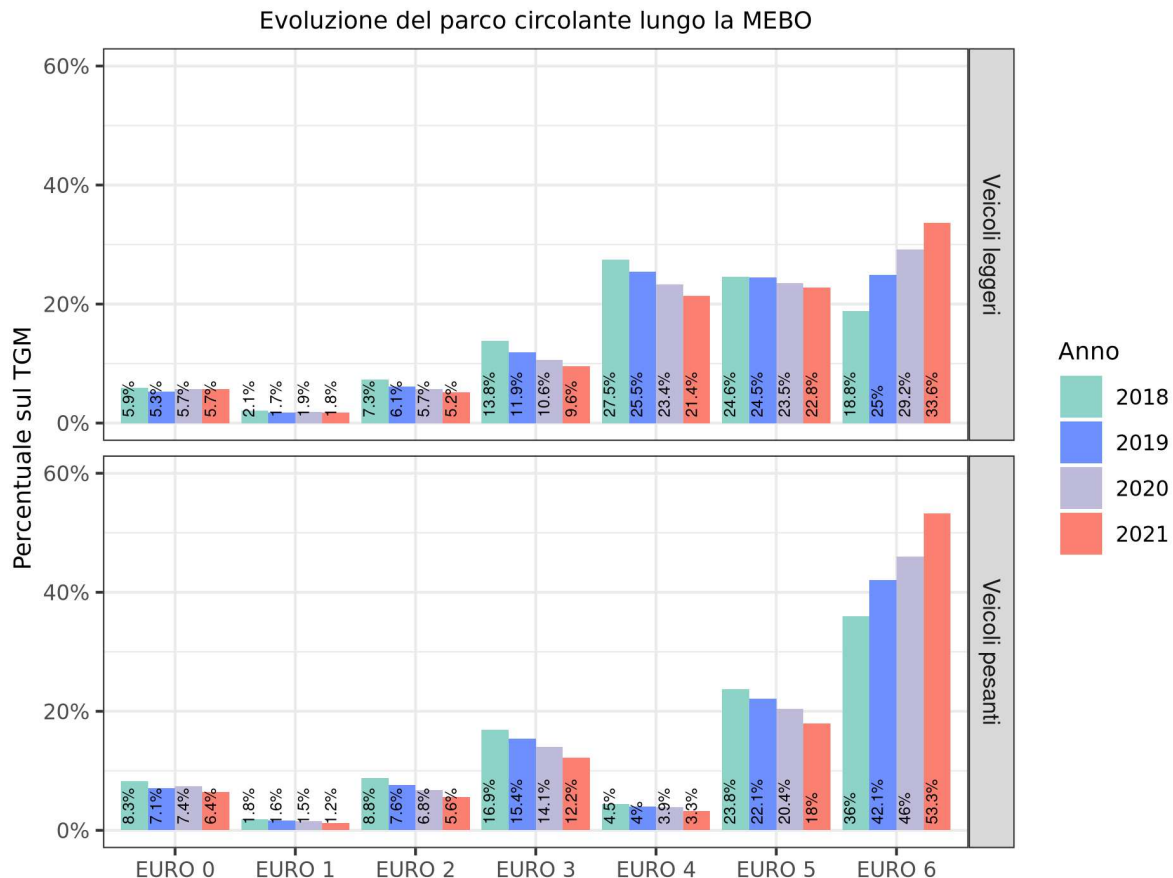


Figura 14: Parco circolante lungo la MEBO. Evoluzione della distribuzione percentuale delle classi EURO per i veicoli leggeri (autovetture e furgoni) e i veicoli pesanti.

Il confronto tra le distribuzioni percentuali delle classi EURO lungo la MEBO nei diversi anni analizzati per la categoria dei veicoli leggeri (autovetture e furgoni) e per i veicoli pesanti è riportato in Fig. 14. Come si può osservare, la distribuzione si differenzia da quella relativa all'area urbana (Fig. 8) solo per la macroclasse dei veicoli pesanti, in cui sono stati inclusi anche i trattori stradali. In questo caso infatti il parco circolante dei veicoli pesanti risulta più rinnovato.

In Figura 15 si riportano invece le distribuzioni percentuali delle classi EURO nei diversi anni analizzati per la categoria dei veicoli leggeri (autovetture e furgoni) e per i veicoli pesanti in funzione della tipologia di alimentazione. I mezzi pesanti, indipendentemente dalla classe EURO, e gran parte dei mezzi leggeri sono alimentati a gasolio. Si osserva tuttavia che: (i) i veicoli leggeri di classe EURO 4 con motori a Diesel diminuiscono dal 2018 al 2021, mentre quelli a benzina tendono a restare costanti; (ii) i veicoli leggeri di classe EURO 5 con motori a Diesel diminuiscono di qualche punto percentuale solo nel 2021; (iii) i veicoli leggeri di classe EURO 6 con motore a Diesel e a benzina aumentano dal 2018 al 2021; (iv) anche se di solo

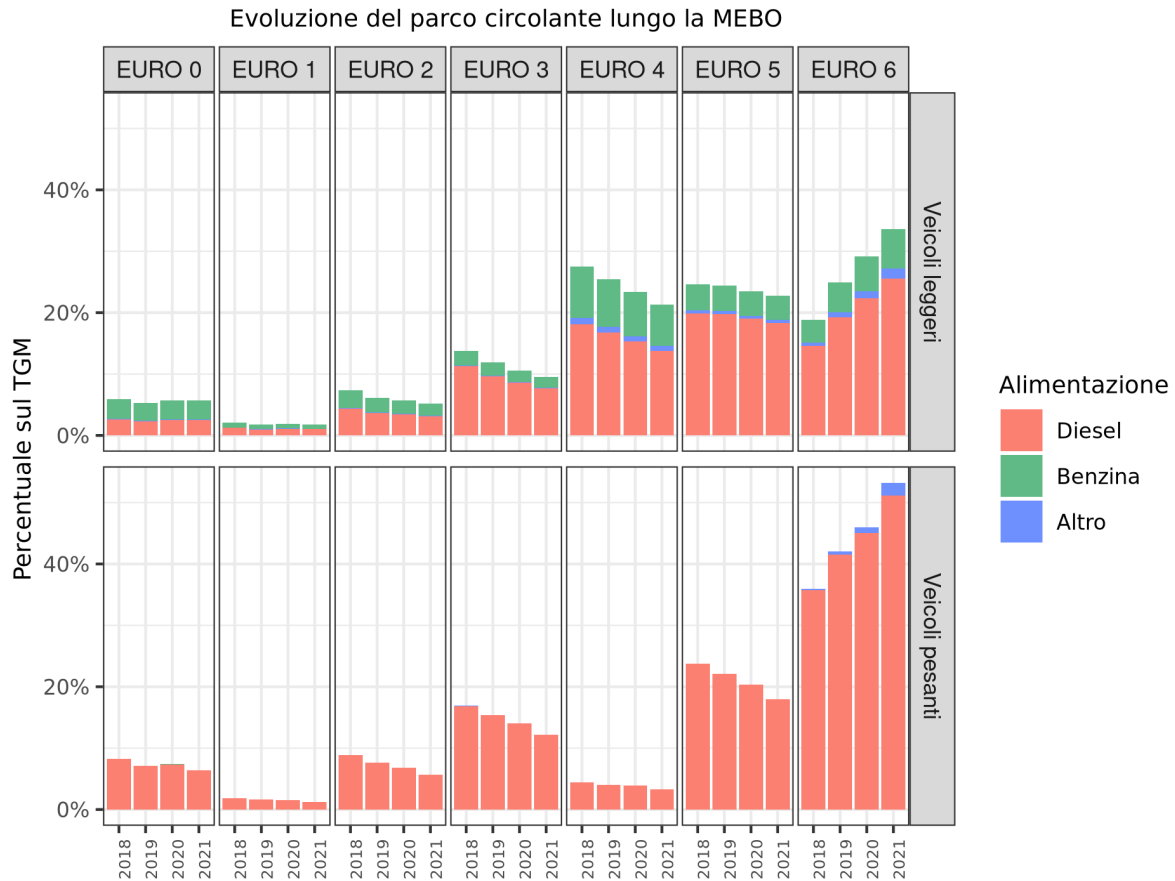


Figura 15: Parco circolante in area urbana. Evoluzione della distribuzione percentuale delle classi EURO per i veicoli leggeri (autovetture e furgoni) e i veicoli pesanti in funzione della tipologia di alimentazione.

qualche punto percentuale è interessante osservare l'aumento nel 2020 e nel 2021 dei veicoli di classe EURO6 con alimentazione diversa da gasolio e benzina sia tra i veicoli leggeri, sia tra i veicoli pesanti (pullman).

2.3.3 Parco circolante autostradale

La ricostruzione del parco circolante sull'autostrada A22, espressa in termini di distribuzione di classe EURO e tipologia di alimentazione, è stata effettuata utilizzando i risultati delle analisi effettuate all'interno del progetto BrennerLEC⁸. Durante il progetto è stata condotta una approfondita analisi per la ricostruzione del parco veicoli transitanti in A22, sulla base di dati derivanti da diverse fonti (catalogo ACI, misure in autostrada da spire elettromagnetiche, database di targhe messi a disposizione dal gestore autostradale). Tale approccio ha consentito di definire il parco circolante sull'autostrada con un livello di precisione molto più elevato rispetto al metodo comunemente utilizzato, che prevede di fare riferimento ai dati dei veicoli immatricolati e che è stato usato in ambito urbano dove non sono disponibili altre informazioni. In ambito autostradale, tuttavia, questo è particolarmente importante, dal momento che in questo contesto il parco circolante risulta essere molto più nuovo rispetto all'immatricolato.

La distribuzione delle classi EURO per i veicoli leggeri e pesanti per i diversi anni sono riportati nelle Tab. 18, 19, 20 e 21. I grafici nelle Fig. 16, 17, 18 e 19 riportano invece le distribuzioni delle classi EURO dei veicoli circolanti in A22 per ciascuna macroclasse e per tipologia di alimentazione. Per l'anno 2021 si prevede che verrà reso disponibile un ulteriore aggiornamento del parco circolante in A22 sulla base di nuovi dati non ancora disponibili al momento di elaborazione del presente studio. Per questa ragione il parco circolante 2021 potrebbe differire leggermente da quanto riportato in Tab. 21.

La tipologia di alimentazione del traffico leggero autostradale risulta significativamente diversa da quella ottenibile dai veicoli immatricolati e utilizzata in area urbana (Sez. 2.3.1); infatti oltre tre quarti dei veicoli sono alimentati a gasolio. Per quanto riguarda i mezzi pesanti, essi risultano tutti caratterizzati da alimentazione a gasolio.

⁸BrennerLEC - Low Emission Corridor : progetto Europeo finanziato dal programma LIFE 2014-2020 per l'ambiente e il clima della Commissione Europea - www.brennerlec.life

Tabella 18: Distribuzione delle classi EURO dei veicoli leggeri e pesanti per l'anno 2018 utilizzata per l'autostrada del Brennero per le diverse tipologie di alimentazione.

Veicoli leggeri			
Classe EURO	Benzina e altro	Gasolio	Totale
0	0.0%	0.1%	0.1%
1	0.1%	0.2%	0.2%
2	0.4%	1.3%	1.6%
3	1.4%	4.8%	6.1%
4	4.9%	17.1%	22.0%
5	6.9%	24.1%	31.0%
6	8.7%	30.2%	38.9%
<i>Totale</i>	<i>22.4%</i>	<i>77.6%</i>	<i>100.0%</i>
Veicoli pesanti			
Classe EURO	Benzina e altro	Gasolio	Totale
0	0.0%	0.2%	0.2%
1	0.0%	1.4%	1.4%
2	0.0%	2.0%	2.0%
3	0.0%	7.5%	7.5%
4	0.0%	4.8%	4.8%
5	0.0%	22.9%	22.9%
6	0.0%	61.1%	61.1%
<i>Totale</i>	<i>0.0%</i>	<i>100.0%</i>	<i>100.0%</i>

Tabella 19: Distribuzione delle classi EURO dei veicoli leggeri e pesanti per l'anno 2019 utilizzata per l'autostrada del Brennero per le diverse tipologie di alimentazione.

Veicoli leggeri			
Classe EURO	Benzina e altro	Gasolio	Totale
0	0.0%	0.1%	0.1%
1	0.0%	0.1%	0.1%
2	0.2%	1.1%	1.3%
3	1.0%	4.5%	5.5%
4	3.3%	15.3%	18.5%
5	5.0%	23.7%	28.7%
6	8.1%	37.6%	45.7%
<i>Totale</i>	<i>17.6%</i>	<i>82.4%</i>	<i>100.0%</i>
Veicoli pesanti			
Classe EURO	Benzina e altro	Gasolio	Totale
0	0.0%	0.0%	0.0%
1	0.0%	0.7%	0.7%
2	0.0%	1.1%	1.1%
3	0.0%	6.6%	6.6%
4	0.0%	3.8%	3.8%
5	0.0%	20.3%	20.3%
6	0.0%	67.4%	67.4%
<i>Totale</i>	<i>0.0%</i>	<i>100.0%</i>	<i>100.0%</i>

Tabella 20: Distribuzione delle classi EURO dei veicoli leggeri e pesanti per l'anno 2020 utilizzata per l'autostrada del Brennero per le diverse tipologie di alimentazione.

Veicoli leggeri			
Classe EURO	Benzina e altro	Gasolio	Totale
0	0.0%	0.1%	0.1%
1	0.0%	0.1%	0.1%
2	0.2%	0.9%	1.1%
3	1.0%	3.7%	4.7%
4	3.3%	12.7%	16.0%
5	5.6%	21.3%	26.9%
6	10.6%	40.5%	51.1%
<i>Totale</i>	<i>20.7%</i>	<i>79.3%</i>	<i>100.0%</i>
Veicoli pesanti			
Classe EURO	Benzina e altro	Gasolio	Totale
0	0.0%	0.1%	0.1%
1	0.0%	0.6%	0.6%
2	0.0%	1.0%	1.0%
3	0.0%	6.6%	6.6%
4	0.0%	3.0%	3.0%
5	0.0%	16.1%	16.1%
6	0.0%	72.4%	72.4%
<i>Totale</i>	<i>0.0%</i>	<i>100.0%</i>	<i>100.0%</i>

Tabella 21: Distribuzione delle classi EURO dei veicoli leggeri e pesanti per l'anno 2021 utilizzata per l'autostrada del Brennero per le diverse tipologie di alimentazione.

Veicoli leggeri			
Classe EURO	Benzina e altro	Gasolio	Totale
0	0.0%	0.1%	0.1%
1	0.0%	0.1%	0.1%
2	0.2%	0.5%	0.7%
3	1.0%	2.7%	3.7%
4	3.2%	9.1%	12.3%
5	5.6%	15.8%	21.4%
6	16.0%	45.6%	61.7%
<i>Totale</i>	<i>26.0%</i>	<i>74.0%</i>	<i>100.0%</i>
Veicoli pesanti			
Classe EURO	Benzina e altro	Gasolio	Totale
0	0.0%	1.2%	1.2%
1	0.0%	0.6%	0.6%
2	0.0%	1.1%	1.1%
3	0.0%	5.2%	5.2%
4	0.0%	2.4%	2.4%
5	0.0%	13.9%	13.9%
6	0.0%	75.6%	75.6%
<i>Totale</i>	<i>0.0%</i>	<i>100.0%</i>	<i>100.0%</i>

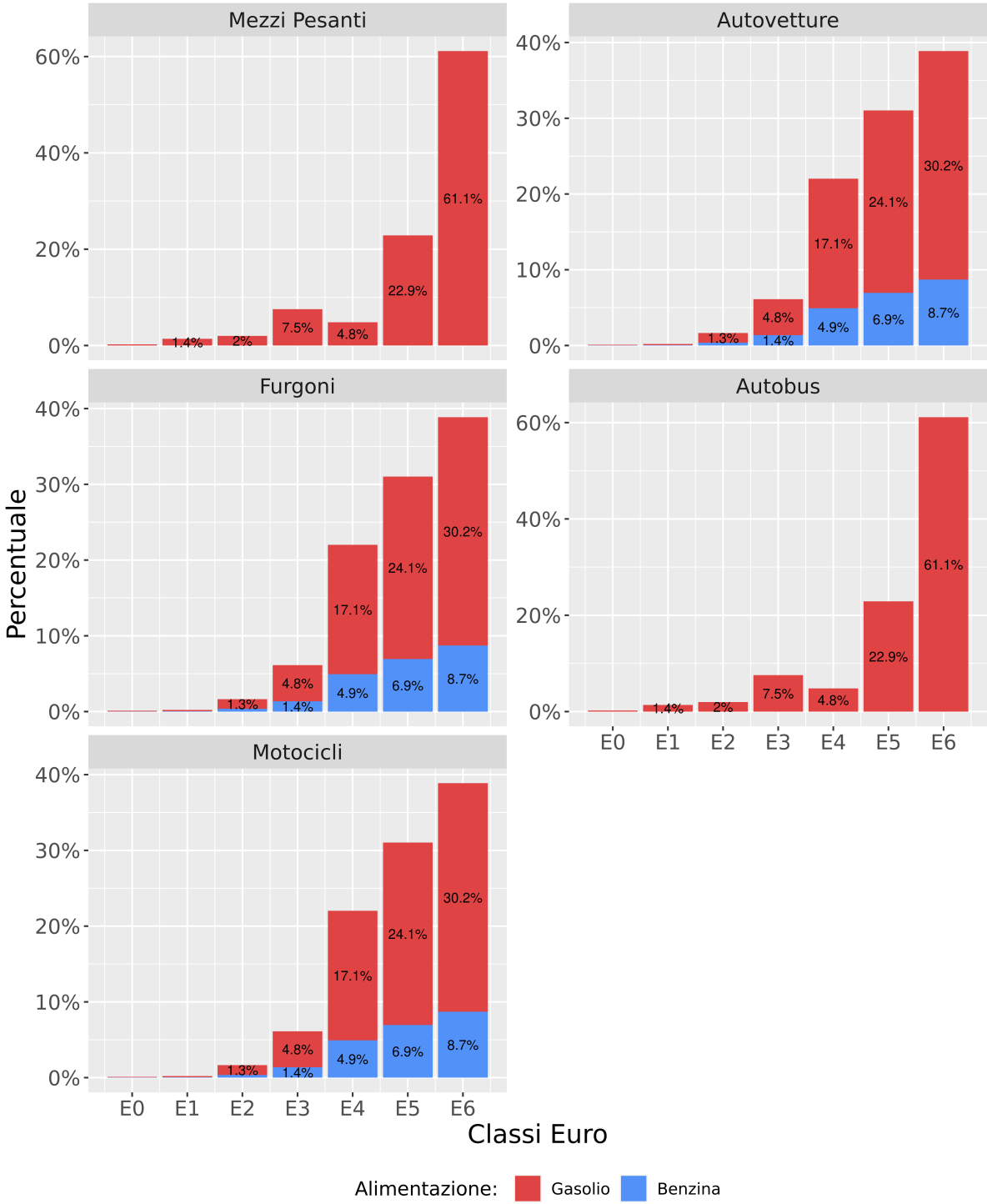


Figura 16: Parco circolante 2018 in A22. Distribuzione percentuale delle classi EURO per tipologia di veicolo e carburante.

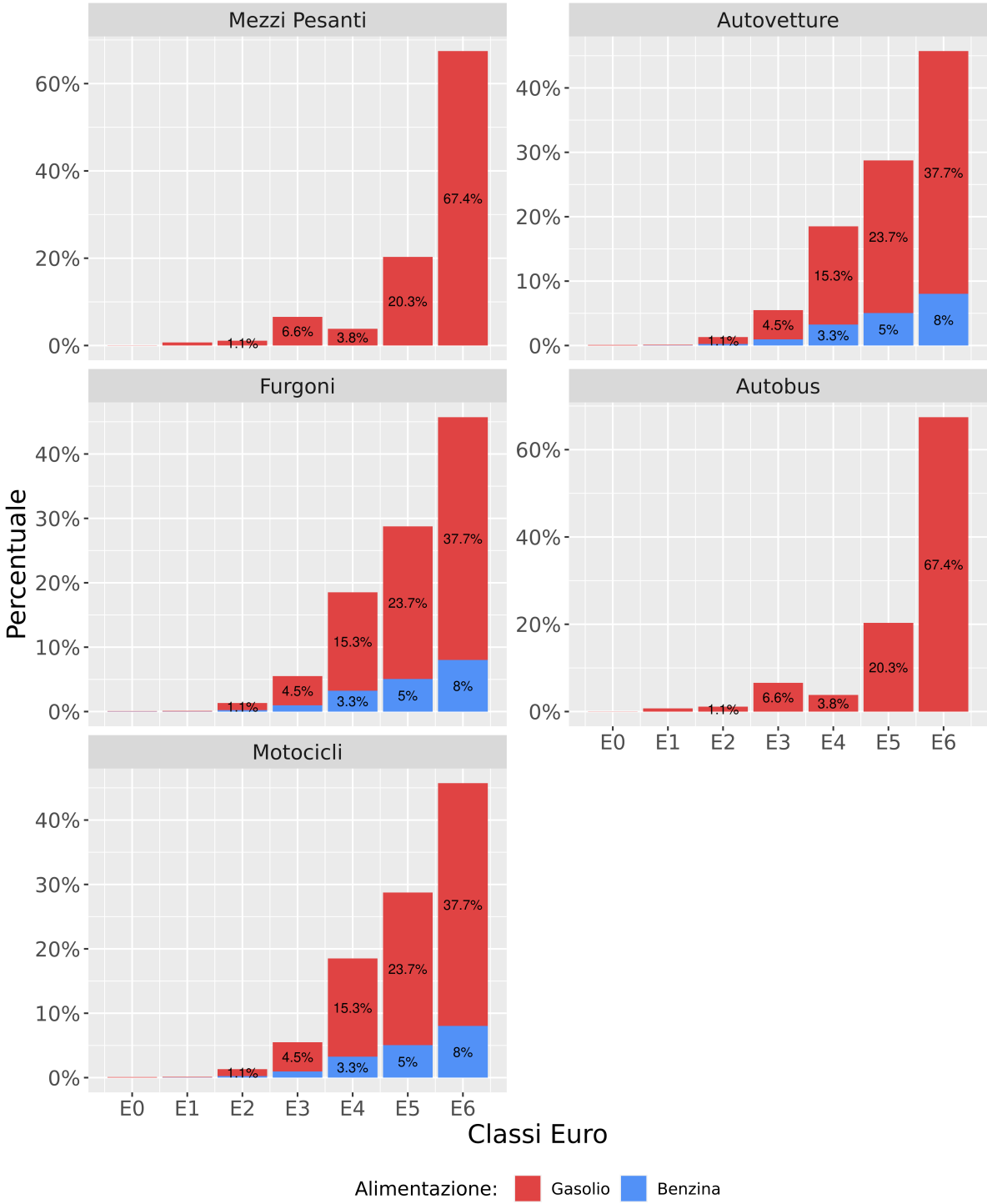


Figura 17: Parco circolante 2019 in A22. Distribuzione percentuale delle classi EURO per tipologia di veicolo e carburante.

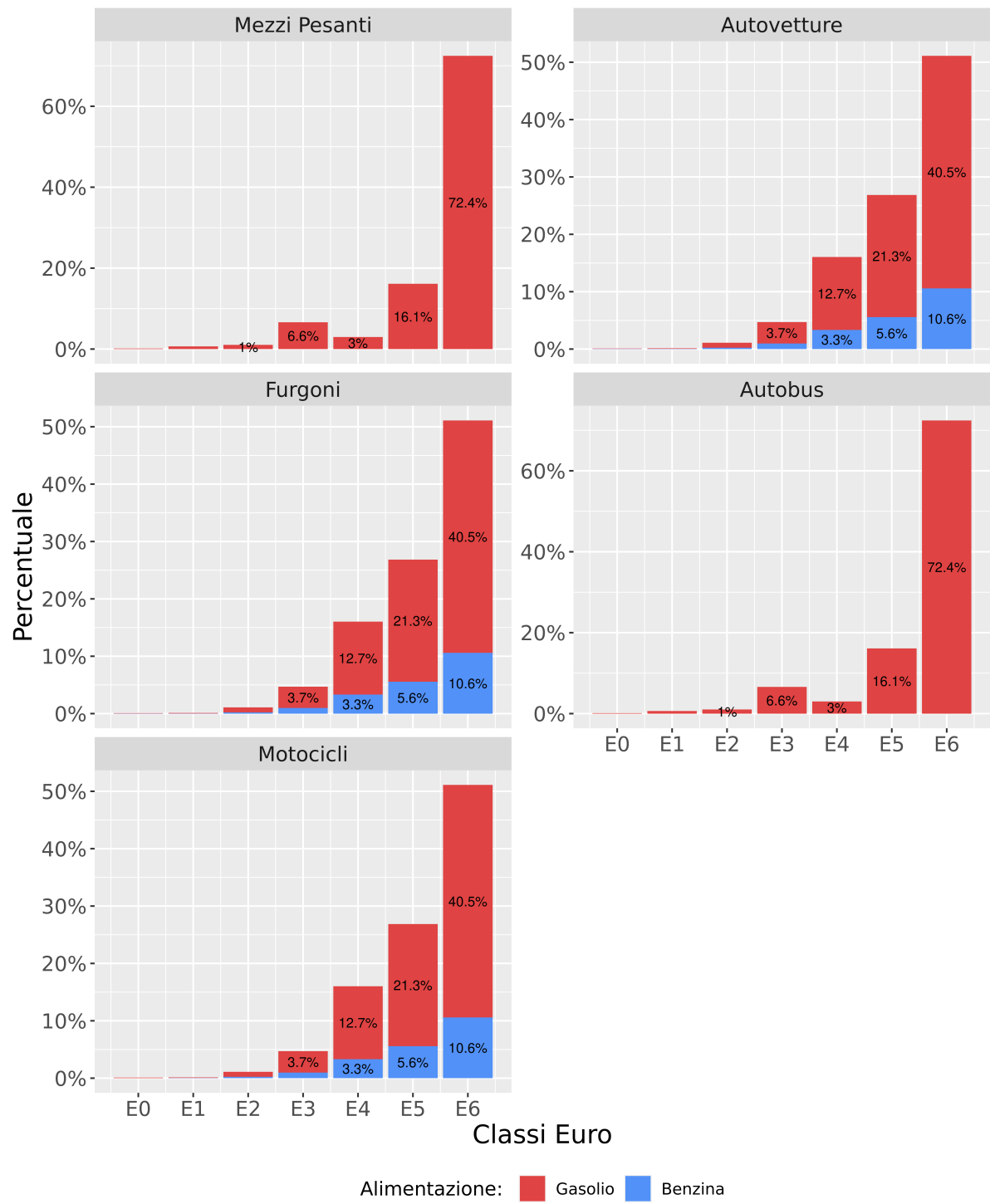


Figura 18: Parco circolante 2020 in A22. Distribuzione percentuale delle classi EURO per tipologia di veicolo e carburante.

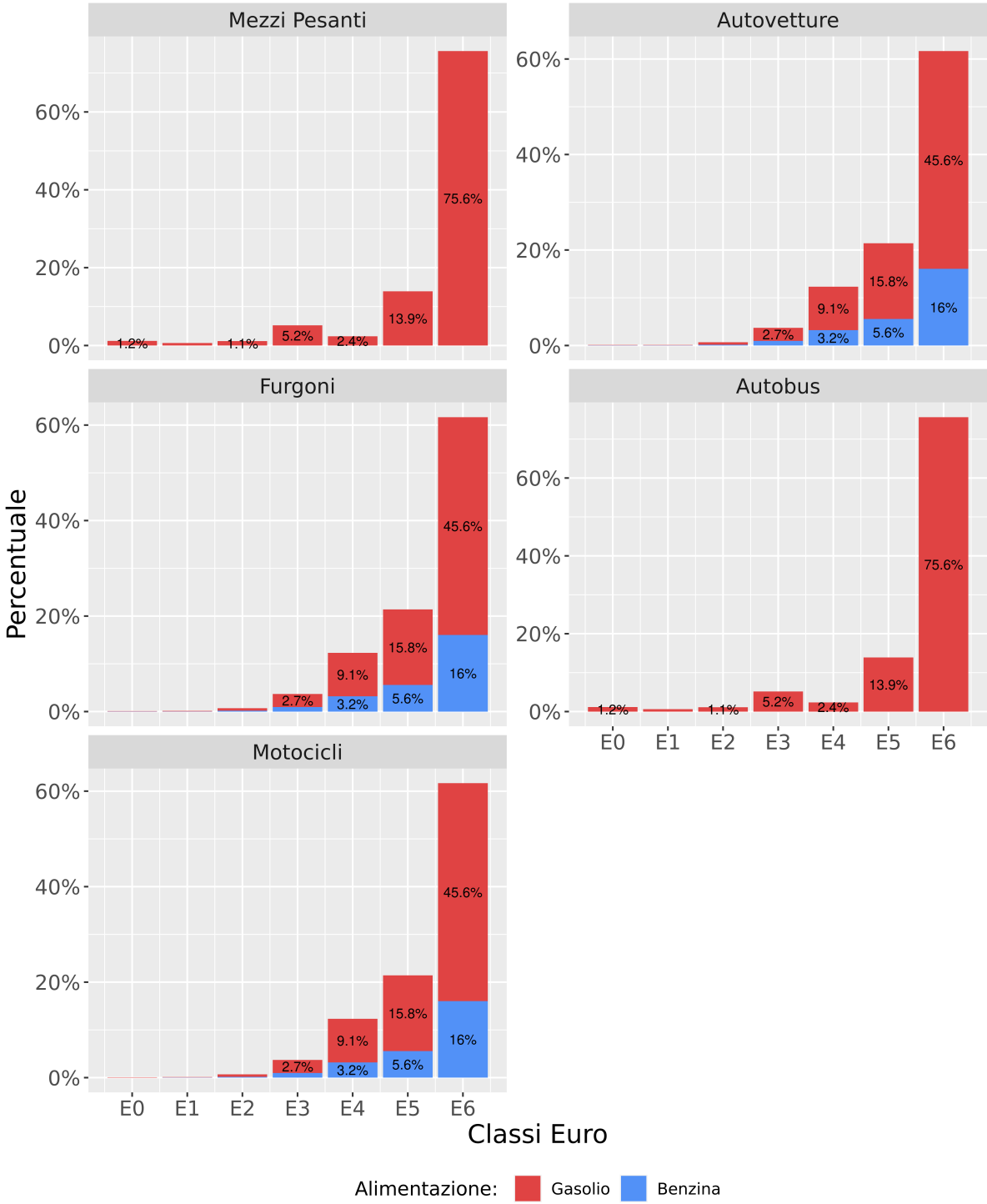


Figura 19: Parco circolante 2021 in A22. Distribuzione percentuale delle classi EURO per tipologia di veicolo e carburante.

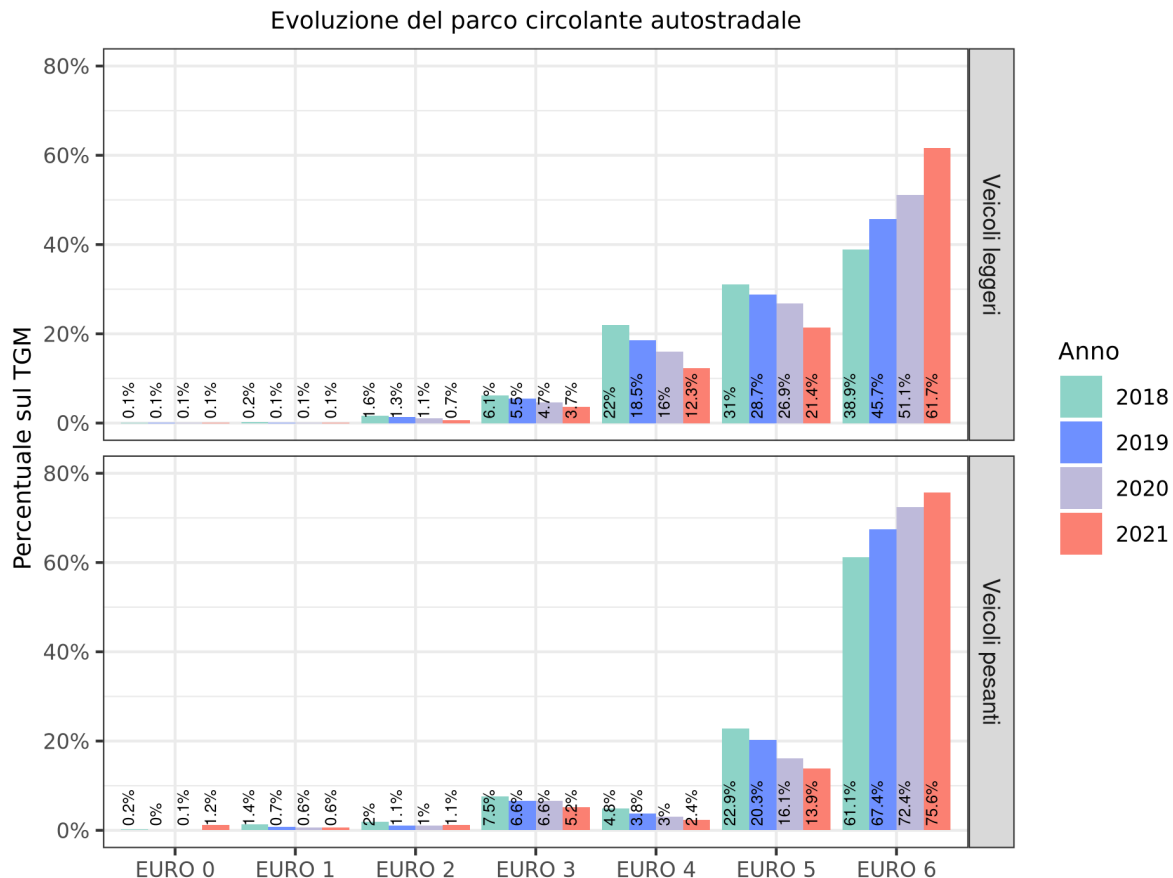


Figura 20: Parco circolante lungo l'autostrada. Evoluzione della distribuzione percentuale delle classi EURO per i veicoli leggeri (autovetture e furgoni) e i veicoli pesanti.

Il confronto tra le distribuzioni percentuali delle classi EURO nei diversi anni analizzati per la categoria dei veicoli leggeri (autovetture e furgoni) e per i veicoli pesanti lungo l'autostrada è riportato in Fig. 20. Come si può osservare, il rinnovo del parco circolante appare molto più rapido rispetto a quello che si ottiene dai veicoli immatricolati e utilizzato in area urbana (Sez. 2.3.1) o lungo la MEBO (Sez. 2.3.2).

In particolare, la maggior parte dei mezzi pesanti (quasi il 90% del totale) presentano nel 2021 classi EURO 5 e 6, a dimostrazione del fatto che la flotta dei mezzi commerciali ha una rapidità di rinnovo molto più alta rispetto a quella dei mezzi privati leggeri. Il fatto che i veicoli che percorrono l'autostrada siano mediamente più nuovi di quelli che si muovono all'interno della rete urbana appare del tutto ragionevole; ancora una volta però appare di fondamentale importanza avere una conoscenza il più dettagliata possibile dei veicoli circolanti per poter stimare in modo corretto le emissioni da traffico e il relativo impatto sull'ambiente.

In Figura 21 si riportano invece le distribuzioni percentuali delle classi EURO nei diversi anni analizzati per la categoria dei veicoli leggeri (autovetture e furgoni) e

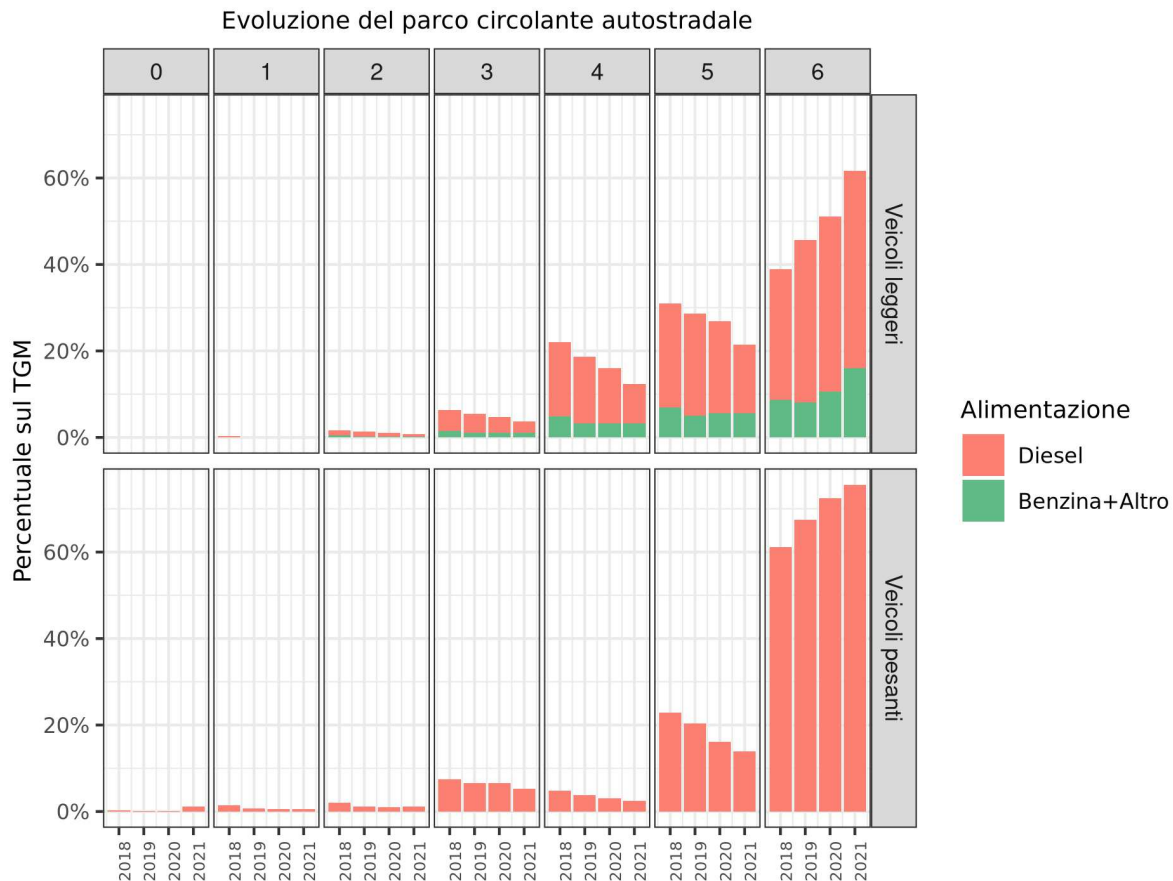


Figura 21: Parco circolante in area urbana. Evoluzione della distribuzione percentuale delle classi EURO per i veicoli leggeri (autovetture e furgoni) e i veicoli pesanti in funzione della tipologia di alimentazione.

per i veicoli pesanti in funzione della tipologia di alimentazione. I mezzi pesanti, indipendentemente dalla classe EURO, e gran parte dei mezzi leggeri sono alimentati esclusivamente a gasolio. Si osserva tuttavia che: (i) i veicoli leggeri di classe EURO 4 ed EURO5 con motori a Diesel diminuiscono significativamente dal 2018 al 2021, mentre quelli a benzina e altra alimentazione tendono a restare costanti; (ii) i veicoli leggeri di classe EURO 6 con motore a Diesel e a benzina aumentano dal 2018 al 2021.

2.4 Fattori di emissione ed emissioni da traffico

I fattori di emissione sono stati calcolati utilizzando l'algoritmo del modello di calcolo COPERT 5.3, con riferimento agli inquinanti NO_x . L'algoritmo (Eq. 2.1) permette di calcolare i fattori di emissione ($EF [\text{g veh}^{-1} \text{ km}^{-1}]$) come funzione cubica della velocità dei veicoli ($v [\text{km h}^{-1}]$), parametrizzando la tipologia di inquinante, il tipo di veicolo e la classe EURO mediante il set di parametri tabulati ($\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon, \zeta, \eta$). In Eq. 2.1 si riporta la formulazione matematica della curva emissiva:

$$EF = \frac{\alpha v^2 + \beta v + \gamma + \delta v^{-1}}{\epsilon v^2 + \zeta v + \eta} \quad (2.1)$$

Per ciascun anno, note le velocità dei transiti lungo ciascun arco stradale e le classi veicolari che compongono il parco circolante, è possibile calcolare i fattori di emissione per ciascuna classe. Si ricorda che la classe veicolare accorpa tutti quei veicoli della stessa tipologia, alimentati dal medesimo carburante e caratterizzati dalla medesima classe EURO.

Il calcolo dell'emissione specifica ($E [\text{g h}^{-1} \text{ km}^{-1}]$), ossia dell'emissione di inquinante immessa in atmosfera per unità di strada percorsa dai veicoli circolanti è ottenibile implementando l'Eq. 2.2:

$$E = TGM \sum_{EURO=0}^6 EF_{EURO} p_{EURO}, \quad (2.2)$$

attraverso i seguenti step:

1. si calcola per ciascuna classe veicolare (EURO, veicolo e carburante) la percentuale di veicoli ($p_{EURO} [\%]$) rispetto alla totalità dei veicoli presenti del parco immatricolato;
2. fissata la classe EURO si calcola il prodotto tra i fattori di emissione ($EF_{EURO} [\text{g veh}^{-1} \text{ km}^{-1}]$) ottenuti per ciascuna classe veicolare e la corrispondente percentuale di veicoli ($p_{EURO} [\%]$) di quella classe;
3. si sommano i contributi appartenenti alla medesima classe EURO e quindi i contributi derivanti da tutte le classi EURO, al fine di ottenere un fattore di emissione globale per il tratto stradale considerato;
4. infine, il prodotto tra l'emissione globale ed $TGM [\text{veh h}^{-1}]$ lungo il tratto stradale considerato, restituisce l'emissione specifica ($E [\text{g h}^{-1} \text{ km}^{-1}]$) di interesse.

2.4.1 Aggregazione delle emissioni lungo gli archi stradali

Geometricamente, ciascuna strada del grafo stradale è ottenuta dalla concatenazione di segmenti, detti archi stradali, lungo i quali è ragionevole ipotizzare che il TGM resti costante, ad esempio un tratto di strada tra due incroci senza significativi afflussi laterali. Il calcolo dei fattori di emissione e delle emissioni descritto nella sezione precedente (Sez. 2.4) è quindi condotto su ciascun arco stradale. Al fine di determinare un valore rappresentativo di TGM e di emissione per ciascuna strada (o all'interno di un raggruppamento di strade) è necessario aggregare i valori stimati sugli archi stradali che costituiscono la strada di interesse. Nel presente studio l'aggregazione è stata condotta come media pesata tra valori stimati su ciascun arco stradale e le corrispondenti lunghezze, implementando la relazione:

$$X = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^n x_i l_i. \quad (2.3)$$

dove: x_i rappresenta il valore di TGM o di emissione dell' i -esimo arco di lunghezza l_i appartenente alla strada considerata di lunghezza complessiva $L = \sum_{i=1}^n l_i$; n è il numero di archi della strada e X è il valor medio ricercato. A questo punto è possibile stimare un valore medio del fattore di emissione come rapporto tra le emissioni medie di NO_x ed i valori medi di TGM.

2.5 Stima delle concentrazioni di NO_2 da altre sorgenti: modello CALPUFF a scala locale

Oltre alle emissioni derivanti dalle sorgenti lineari collocate lungo il grafo stradale è necessario stimare anche il contributo delle emissioni di NO_2 derivanti da altre sorgenti, tra cui il traffico diffuso e gli impianti di riscaldamento. L'impatto delle emissioni da queste fonti per l'anno 2018 è stato derivato direttamente dal calcolo eseguito tramite il modello CALPUFF nell'ambito dello studio "Calcolo delle concentrazioni nel sottodominio urbano / comprensoriale 3E", corrispondente all'attività 6c nell'ambito del contratto "Attività specialistica di consulenza nella valutazione della qualità dell'aria". In questo modo si è ottenuta una distribuzione spaziale/mappatura media annua delle concentrazioni di NO_2 . Per gli anni successivi al 2018, invece, l'impatto delle emissioni di NO_2 è stato ottenuto applicando alle concentrazioni simulate una riduzione annua pari all'1%. Tale fattore di riduzione rappresenta il tasso di decrescita annuo delle concentrazioni di NO_2 stimato da dati INEMAR sull'intero territorio provinciale.

Le mappe ottenute forniscono quindi informazioni circa la distribuzione spaziale delle concentrazioni di inquinanti relative a traffico diffuso (strade secondarie), riscaldamento, industria, artigianato e fondo ambientale, incluso il trasporto dall'esterno.

3. Simulazioni di dispersione

Nell'ambito del presente studio la dispersione in atmosfera degli NO_x emessi dal traffico veicolare è stata simulata numericamente per la sola città di Merano secondo la procedura di seguito descritta.

3.1 Dispersione degli inquinanti da traffico lungo le strade principali: modello R-LINE per screening

Il calcolo della dispersione degli inquinanti in area urbana è stato effettuato utilizzando un modello di "screening", ovvero un metodo computazionalmente semplificato tale da essere applicato in maniera speditiva ma con elevato dettaglio spaziale. La scelta di questo approccio è dovuta ai seguenti vincoli e requisiti:

1. Necessità di avere una risoluzione spaziale molto raffinata con griglia di 20 m per poter vedere il dettaglio all'interno della sede stradale. Modelli di calcolo con risoluzione inferiore, infatti, non sono in grado di esplicitare l'effetto barriera degli edifici quando essi hanno dimensione molto inferiore alla griglia di calcolo. Maggiore risoluzione significa però un costo computazionale significativamente maggiore, da cui la scelta di un algoritmo che sia più accurato nel campo vicino della dispersione (dove è il focus del lavoro) e semplificato altrove.
2. Possibilità di rapida creazione di scenari emissivi e mappe di concentrazione.
3. Volontà di mantenere compatibilità con le mappe di concentrazione prodotte con modello generalmente più raffinato ma meno definito spazialmente. Si fa in particolare riferimento ai risultati delle simulazioni di dispersione di inquinanti ottenute per il Comune di Merano per mezzo del modello CALPUFF nel lavoro "Calcolo delle concentrazioni nel sottodominio urbano / comprensoriale 3E".

4. Possibilità di interfacciamento del modello di calcolo con un software GIS in modo da poter valutare efficacemente la spazializzazione dei campi di concentrazione anche dal punto di vista visivo.

Il modello di screening adottato è basato sul software R-LINE, sviluppato appositamente per lo studio di emissione e ricaduta di inquinanti da traffico veicolare, che è stato modificato esclusivamente per la parte di input/output e per la definizione delle tipologie stradali sulla base modello CALINE (al fine di rendere più semplice l'immissione di dati e la visualizzazione dei risultati). Si ricorda che il calcolo con il modello di screening è riferito alle sole emissioni generate dalle sorgenti lineari principali, identificate convenzionalmente come quelle strade con traffico giornaliero medio superiore a 8000 veh d^{-1} . Nel caso della città di Merano sono state considerate anche alcune strade con TGM inferiore ma che descrivono le principali direttrici di traffico della città. Le mappe prodotte fanno riferimento sempre alla concentrazione media annua di NO_2 da traffico.

Come anticipato, il modello di calcolo non è dotato di schema chimico, quindi le simulazioni sono state effettuate disperdendo NO_x dalle fonti lineari e ottenendo come risultato la distribuzione di concentrazione degli ossidi di azoto totali. Per passare alla più rilevante informazione della distribuzione di NO_2 , è stata applicata ai risultati la formula di Romberg et al. (1996), che consente di ottenere, per mezzo di una parametrizzazione, la distribuzione del biossido di azoto, NO_2 .

In Fig. 22 si mostra l'area di calcolo in cui è simulata la dispersione delle emissioni veicolari, il grafo stradale in cui gli archi sono classificati per tipologia di superficie (Sez. 3.2) e la rete di monitoraggio di qualità dell'aria utilizzata per calibrare il modello dispersivo (Sez. 3.4).

3.2 Area di calcolo e grafo stradale

Il dominio di calcolo utilizzato per le simulazioni di qualità dell'aria a Merano è stato impostato in relazione al reticolo emissivo selezionato ed ha quindi forma irregolare (linea rossa tratteggiata in Fig. 2). L'area di calcolo è di circa 18 km^2 , e si estende per un massimo di circa 5.5 km in direzione Nord-Sud e per un massimo di circa 4.3 km in direzione Est-Ovest.

Al fine di modellare correttamente la dispersione delle emissioni veicolari è necessario tenere in considerazione anche la topologia degli archi stradali. Per questo motivo sul grafo stradale individuato per Merano sono stati identificati gli archi che si sviluppano in trincea, su viadotto o in galleria (Fig. 22).

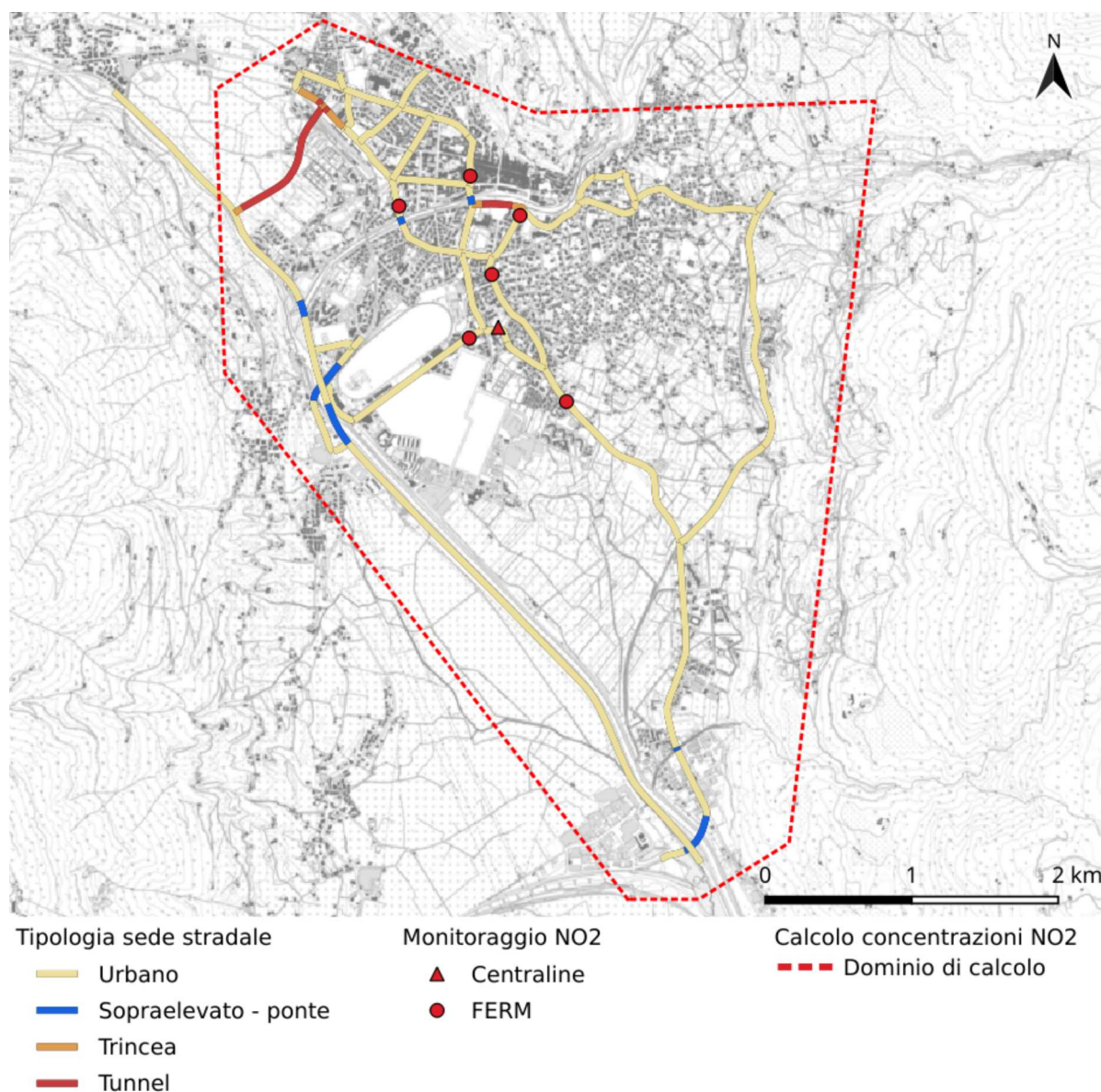


Figura 22: Setup del modello numerico per la simulazione della dispersione delle emissioni veicolari a Merano. Si riportano: l'area di calcolo, il grafo stradale con gli archi classificati per tipologia di superficie stradale e collocazione dei punti di misura della rete di monitoraggio di qualità dell'aria.

3.3 Input meteorologico

I fenomeni meteorologici rappresentano la forzante esterna che regola l'efficienza di diluizione degli inquinanti in atmosfera. A parità di regime emissivo, una rete di monitoraggio di qualità dell'aria misurerà concentrazioni maggiori durante periodi con numerose calme di vento ed atmosfera in condizioni stabili o stratificate, ossia in corrispondenza di quelle forzanti meteorologiche che favoriscono il ristagno

degli inquinanti al livello del suolo. Viceversa, le concentrazioni misurate saranno inferiori in presenza di venti ed atmosfera in condizioni instabili o convettive, ossia in corrispondenza di quelle forzanti meteorologiche che favoriscono il ricircolo e la diluizione degli inquinanti in atmosfera.

All'interno del presente studio, le simulazioni di qualità dell'aria sono state condotte per quantificare la variazione annua delle concentrazioni di NO_2 a seguito della sola variazione del regime emissivo connesso al traffico veicolare. Per questo motivo si è imposta per tutti gli anni investigati la forzante meteorologica relativa all'anno 2013 che risulta essere un anno meteorologicamente rappresentativo per l'area di studio. Si ribadisce quindi che gli scenari simulati non sono da intendere come la ricostruzione di un caso studio, ma restituiscono la dispersione delle emissioni veicolari a fronte di una forzante meteorologica comune che risulta essere rappresentativa delle condizioni meteorologiche medie locali per i fenomeni di dispersione degli inquinanti. Maggiori dettagli relativi all'input meteorologico sono descritti in Sez. 1.4.

3.4 Calibrazione del modello

La disponibilità di concentrazioni annue di NO_2 all'interno del dominio di calcolo consente di calibrare il modello di dispersione in corrispondenza di ciascun anno investigato e quindi ottenere mappe di concentrazioni realistiche. All'interno del presente studio sono stati utilizzati i dati di qualità dell'aria descritti in Sez. 1.2. In particolare, sono state utilizzate sia le concentrazioni medie annue di NO_2 misurate presso la stazione di qualità dell'aria di Merano, sia dai campionatori passivi "FERM" collocati all'interno del tessuto urbano della città.

La calibrazione del modello è avvenuta in modalità iterativa partendo con una simulazione di primo tentativo per il solo traffico lineare e aggiustando via via i parametri, nel seguito riportati, fino ad ottenere localmente una buona corrispondenza tra dati misurati e modellati. I parametri che influenzano la dispersione degli inquinanti sono stati divisi tra fissi e variabili ai fini della calibrazione. Sono stati considerati come fissi:

- i parametri meteorologici (tabelle di occorrenza delle combinazioni velocità del vento, direzione del vento, stabilità atmosferica), derivati dal modello CALMET;
- le mappe di concentrazione delle altre sorgenti che emettono fuori dalla canopy urbana (con esclusione quindi del traffico diffuso), dal momento che era principalmente richiesta una buona rispondenza dei risultati a livello del suolo (ai bordi della sede stradale) dove il fattore dominante è il traffico;

- il traffico giornaliero medio.

Sono stati considerati come parametri di taratura:

- il fattore di emissione (ivi inclusa la velocità di percorrenza);
- i fattori geometrici della strada nella forma del rapporto larghezza/altezza degli edifici adiacenti all'arco stradale, che di fatto indica quanto una strada è a canyon piuttosto che in campo libero.

Il processo ha richiesto alcune iterazioni in cui il parametro di taratura dominante – come prevedibile – è stato proprio quello relativo alla geometria della strada, fattore che nella dispersione di campo vicino risulta dominante. Alcuni aggiustamenti secondari sono stati fatti localmente con piccole variazioni della velocità media di percorrenza (su cui probabilmente c'è incertezza e variabilità anche in funzione delle diverse fasce orarie) e ripartizione fra mezzi pesanti e leggeri.

4. Risultati: Comune di Bolzano

4.1 Analisi dei dati di qualità dell'aria

Le concentrazioni medie mensili e medie annue di NO₂ misurate a Bolzano (Sez. 1.2 e Tab. 1) permettono di valutare l'evoluzione temporale di questo inquinante nel periodo 2018-2021.

Gli andamenti delle serie medie mensili misurate presso le stazioni di qualità dell'aria BZ4, BZ5, BZ6 e ML6 sono riportati in Fig. 23. Coerentemente con la classificazione in Tab. 1, le stazioni BZ4, BZ5 e ML6 si configurano come stazioni urbane di traffico e restituiscono concentrazioni relativamente simili tra loro. La stazione BZ6 di Via Amba Alagi, invece, registra concentrazioni mediamente inferiori alle precedenti e può essere ragionevolmente classificata come una stazione di fondo urbano. Come atteso, tutte le serie riportate in Fig. 23 evidenziano una marcata ciclicità stagionale, in cui le concentrazioni assumono valori maggiori nei mesi invernali (aree azzurre) ed inferiori nei mesi estivi (aree gialle). Le concentrazioni invernali possono essere interpretate come l'effetto combinato di:

1. aumento del regime emissivo connesso ad impianti di riscaldamento;
2. condizioni meteorologiche avverse.

I fenomeni meteorologici alla scala locale influenzano la dinamica dei processi connessi al trasporto e alla dispersione degli inquinanti atmosferici. Essi sono responsabili del ristagno degli inquinanti in prossimità del suolo, quando i venti sono deboli e la colonna atmosferica è stabile o molto stabile, come tipicamente accade nei mesi invernali. Viceversa, la rimozione e la diluizione degli inquinanti diventa più efficiente quando i venti si intensificano e l'instabilità della colonna atmosferica consente lo sviluppo di moti convettivi, come tipicamente accade nei mesi estivi. Le minori concentrazioni osservate in estate possono quindi essere associate in parte all'assenza delle emissioni da impianti di riscaldamento, e alla maggiore capacità dell'atmosfera nel diluire le sostanze inquinanti.

Un riscontro di quanto descritto può essere trovato osservando il comportamento della serie misurata dalla stazione di Via Claudia Augusta, BZ4 (linea arancio in

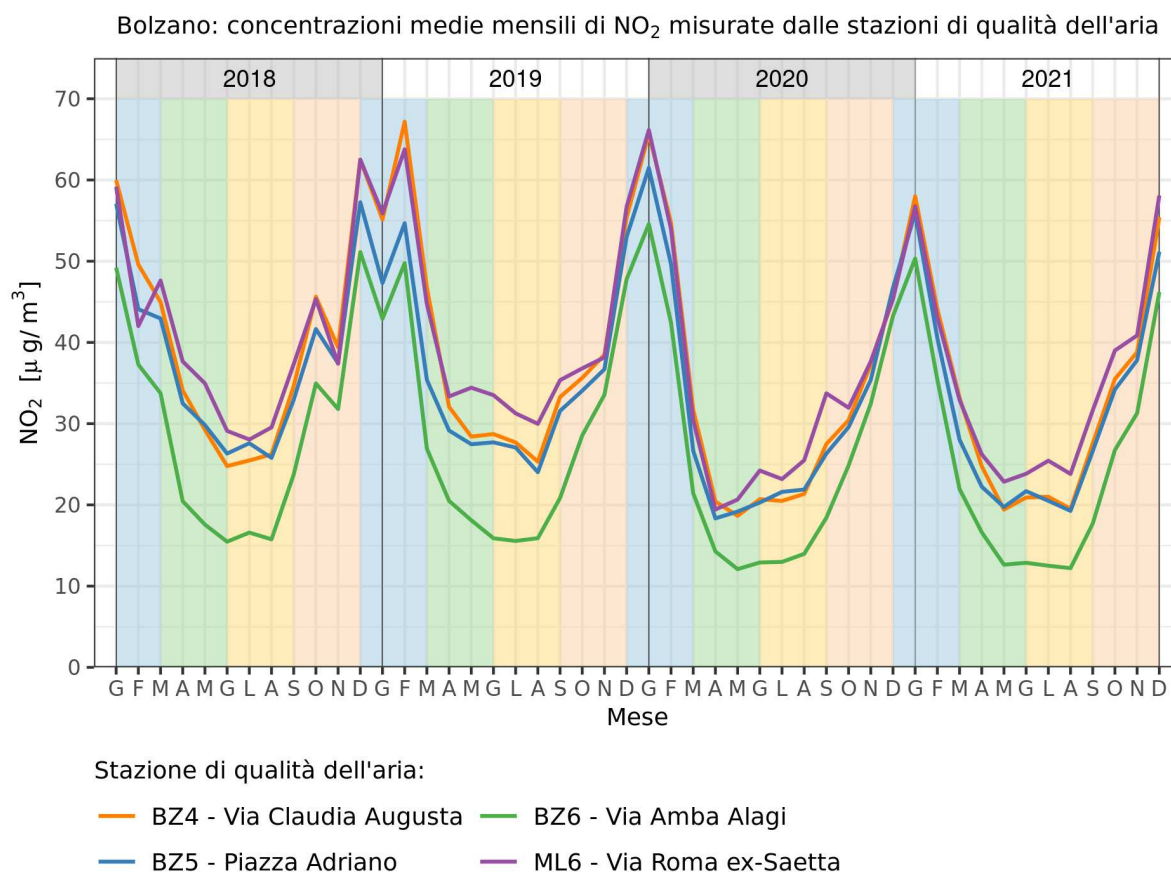


Figura 23: Evoluzione delle concentrazioni medie mensili di NO₂ misurate a Bolzano dalle centraline di qualità dell'aria nel periodo 2018–2021. Le bande colorate sullo sfondo identificano il ciclo stagionale: inverno (dicembre–febbraio, azzurro), primavera (marzo–maggio, verde), estate (giugno–agosto, giallo), autunno (settembre–novembre, arancio).

Fig. 23). La sovrapposizione della serie di BZ4 con le concentrazioni misurate dalla stazione ML6 (400m circa a nord di BZ4) suggerisce che nei mesi invernali prevalga una situazione di ristagno degli inquinanti nell'area. La vicinanza dell'Autostrada del Brennero alle due stazioni contribuisce aggravando il deterioramento della qualità dell'aria. Infatti, BZ4 e ML6 registrano le maggiori concentrazioni nei mesi invernali. Nei mesi estivi, invece, lo sviluppo di venti termici relativamente intensi che spirano da Sud nelle ore centrali della giornata, determina un maggiore effetto di diluizione degli inquinanti e le concentrazioni di NO₂ misurate da BZ4 sono più simili a quelle misurate dalla stazione BZ5 in Piazza Adriano, che invece si configura come una stazione di traffico urbano.

In Tab. 22 si riportano i valori numerici delle concentrazioni medie annue di NO₂, i cui andamenti sono rappresentati in Fig. 24. Tutti i punti della rete di monitoraggio di Bolzano (stazioni di qualità dell'aria e campionatori passivi FERM) mostrano una

Tabella 22: Concentrazioni medie annue di NO₂ misurate dalle stazioni di qualità dell'aria (AQS) e dai campionatori passivi (FERM) operativi a Bolzano nel periodo 2018-2021. Per ciascun anno si riporta la media d'insieme con i corrispondenti valori di deviazione standard e di errore standard.

Sensore	ID	Collocazione	NO ₂ [µg/m ³]			
			2018	2019	2020	2021
AQS	BZ4	Via Claudia Augusta	39.8	39.4	32.8	30.5
AQS	BZ5	Piazza Adriano	38.1	35.8	31.2	28.9
AQS	BZ6	Via Amba Alagi	29.7	28.0	25.2	21.9
AQS	ML6	Via Roma ex-Saetta	41.5	41.0	34.2	32.6
FERM	11BZ	Via Resia	40	36	32	33.6
FERM	12BZ	Viale Druso	47	45	37	36.5
FERM	13BZ	Corso Libertà	45	43	37	-
FERM	14BZ	Via Rosmini	44	42	33	32.6
FERM	15BZ	Via Palermo	45	43	36	37.5
FERM	16BZ	Via Maso della Pieve	34	31	-	-
FERM	17BZ	Via Vittorio Veneto	37	35	29	29.7
FERM	18BZ	Via Roma	-	48	40	40.0
FERM	20BZ	Via Galilei	-	49	40	40.8
FERM	21BZ	Via Buozzi	-	44	36	37.5
FERM	22BZ	Via Galvani	-	47	38	39.4
FERM	23BZ	Via Roma	-	-	40	39.9
FERM	24BZ	Via Macello	-	-	31	-
Media d'insieme			40.1	40.5	34.5	35.2
Deviazione standard			5.2	6.2	4.3	4.6
Errore standard			1.6	1.6	1.1	1.2
Variazione percentuale rispetto il 2018				1.0%	-14.0%	-12.2%

sensibile riduzione delle concentrazioni di NO₂ a partire dal 2019. Le serie riportate in Fig. 24 mostrano che le concentrazioni medie annue diminuiscono significativamente nel 2020 e tornano ad aumentare lievemente nel 2021. Questo effetto può essere ricondotto degli effetti della pandemia COVID-19 ed in particolare all'implementazione delle restrizioni sulla circolazione per il suo contenimento. Infatti, la ripresa dei flussi veicolari nel secondo semestre nel 2021, conseguente all'allentamento delle restrizioni sui trasporti che hanno gravato soprattutto nel 2020, ha portato ad un nuovo aumento delle concentrazioni di NO₂. Risulta interessante commentare l'andamento delle concentrazioni medie annue della stazione di Via Amba Alagi (BZ6) che è rappresentativa del fondo urbano. Questa serie mostra infatti una diminuzione delle concentrazioni anche nel 2021, che potrebbe indicare un trend di decrescita e quindi essere sintomo di un miglioramento della qualità dell'aria.

Va inoltre osservato che oltre agli effetti delle restrizioni per il contenimento della pandemia, il miglioramento della qualità dell'aria è anche in parte legato al rapido ricambio del parco circolante avvenuto tra 2020 e 2021 come osservato in Sez. 2.3 e riportato in Fig. 8, 14 e 20.

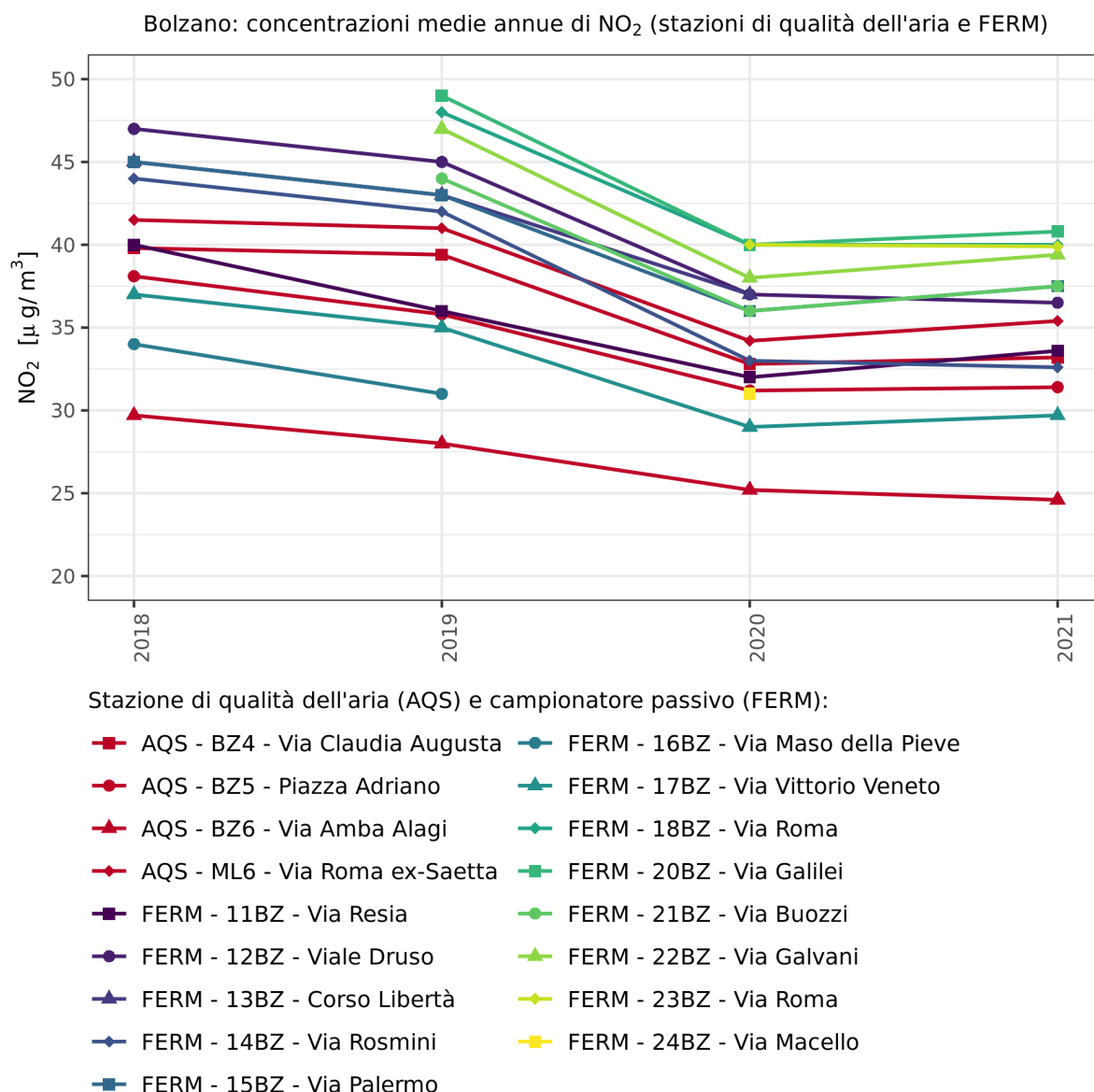


Figura 24: Evoluzione delle concentrazioni medie annue di NO₂ misurate a Bolzano dalle centraline di qualità dell'aria (AQS) e dai campionatori passivi (FERM) nel periodo 2018-2021.

4.2 Analisi dei dati di traffico

4.2.1 Traffico all'interno della rete stradale della città

La caratterizzazione dei flussi veicolari all'interno del tessuto urbano di Bolzano è condotta utilizzando i dati forniti dalle stazioni contatraffico comunali nel periodo 2018-2019 (Sez. 1.3.1), dai sensori bluetooth nel periodo 2020-2021 (Sez. 1.3.2) e, per il 2019, i dati provenienti dalla campagna di rilievo del traffico condotta tra

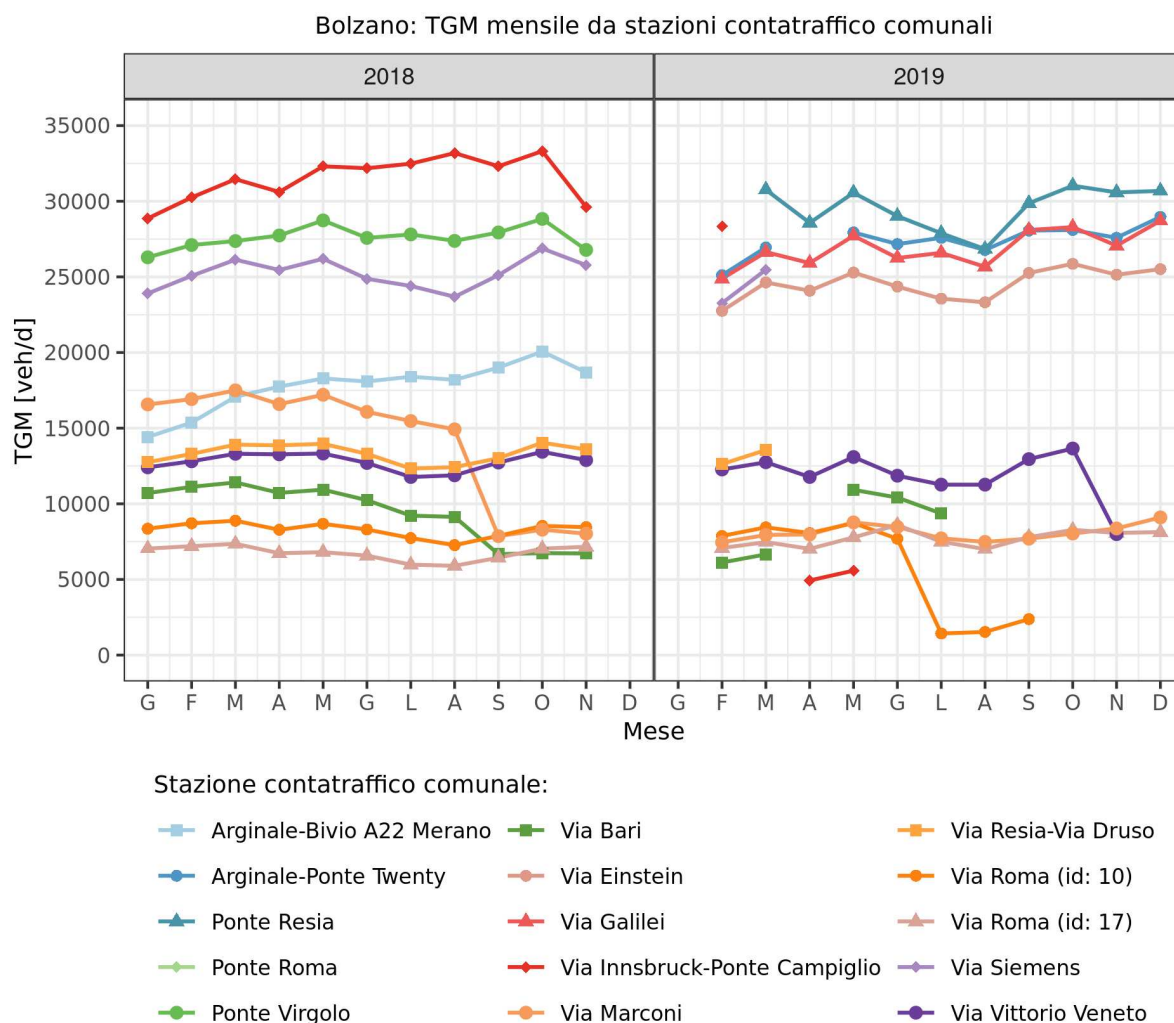


Figura 25: Evoluzione mensile del TGM totale ottenuto elaborando i transiti rilevati dalla rete di stazioni contatraffico comunale. Nel grafico si riportano i soli valori di TGM stimati su di un numero di giorni pari almeno al 50% dei giorni disponibili di ciascun mese, ossia con almeno due settimane di dati disponibili.

il 5 e il 7 febbraio 2020 dalla ditta TPS Pro srl (Sez. 1.3.3). Infatti, le tabelle di consistenza dei dei TGM mensili (Appendice A, Figure 56–59) mostrano che:

1. Le spire comunali hanno rilevato transiti veicolari nel 2018 e in parte del 2019. Nei restanti mesi (2020 e 2021) i dati sono assenti o non sufficienti per ottenere una stima robusta del TGM e pertanto non sono stati considerati nelle successive elaborazioni.
2. I dati dai sensori bluetooth sono di fatto disponibili per caratterizzare i flussi veicolari attraverso la stima del TGM mensile e annuo dal 2020.

In Fig. 25 si mostra l'evoluzione del TGM mensile osservato dalla rete di sta-

zioni contatraffico comunali. I valori di TGM riportati sono relativi ai mesi per cui la disponibilità di osservazioni giornaliere è pari al almeno il 50% dei giorni di ciascun mese. Le serie rappresentate permettono di osservare come il flusso veicolare tenda ad aggregarsi in due gruppi, caratterizzati rispettivamente con valori di TGM mensile maggiore e minore. Questo comportamento evidenzia quindi la presenza nel tessuto urbano di Bolzano di due diverse tipologie di flusso veicolare:

1. un flusso di transito (o di attraversamento) caratterizzato dai valori maggiori di TGM che insiste lungo le principali arterie stradali della città (e.g. Via Einstein, Arginale, Via Galilei, Via Innsbruck);
2. un flusso urbano (o locale) con valori di TGM inferiori che interessa le strade più interne alla città (e.g. Via Roma, Via Bari, Via Resia e Via Druso).

Tuttavia, dagli andamenti in Fig. 25 si individuano le seguenti criticità:

1. Alcune serie (e.g. Via Marconi, Via Roma (id: 10), Via Innsbruck-Ponte Campiglio, Via Vittorio Veneto e Via Bari) mostrano variazioni improvvise del TGM riconducibili sia ad alterazioni del flusso veicolare connesse alla presenza di cantieri in sede stradale, sia a malfunzionamenti dei dispositivi di misura. Ne segue che questi dati non possono essere utilizzati per caratterizzare i regimi di traffico e quindi derivare indicatori rappresentativi per effettuare confronti tra anni.
2. La stazione contatraffico “Arginale-Bivio A22 Merano” è collocata al termine dell’Arginale dove il traffico può proseguire verso il casello Bolzano Sud di A22 (corsia di sinistra), verso Via Einstein (corsia di destra) o immettersi in MEBO, indipendentemente dalla corsia di marcia. Dunque, per questa stazione ci si attende di osservare valori di TGM mensili con ordine di grandezza simile a quelli misurati nel 2019 dalla stazione contatraffico Arginale-Ponte Twenty, ossia dei valori di traffico tipici di una strada con flusso di transito. Tuttavia, il sensore di misura è stato installato nella sola corsia di marcia di sinistra, che ospita i veicoli diretti in A22 e parte del traffico che si immette in MEBO. Di conseguenza, i valori di TGM mostrati in Fig. 25 sono significativamente sottostimati e non possono essere utilizzati per effettuare le analisi richieste dallo studio.
3. Le stazioni Via Roma (id:10) e Via Roma (id:17) insistono sul medesimo incrocio, tuttavia nel 2018 i TGM misurati da Via Roma (id:10) assumono valori superiori a quelli misurati da Via Roma (id:17). Nel 2019, invece, si osserva un aumento del TGM misurato da Via Roma (id: 17) rispetto ai valori misurati nel 2018 dalla medesima stazione. Questo comportamento introduce un ulteriore grado di

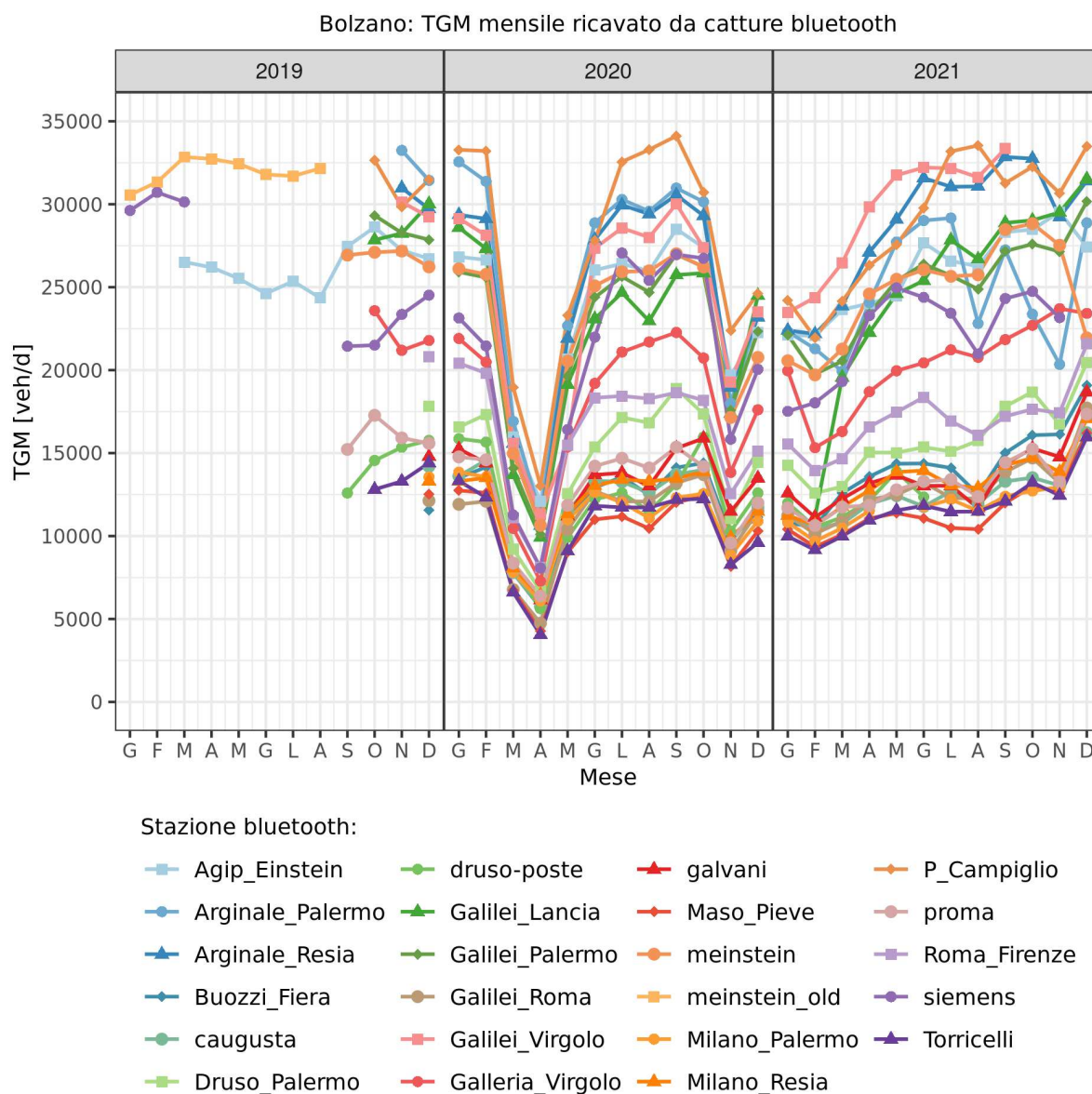


Figura 26: Evoluzione mensile del TGM totale ottenuto elaborando le catture dei sensori bluetooth dislocati a Bolzano nel periodo 2019-2021. Come riportato in Sez. 2.1, i valori di TGM sono stati ottenuti moltiplicando per 5 le catture bluetooth giornaliere medie mensili.

incertezza sulle misure disponibili e ne pregiudica l'utilizzo nelle successive analisi.

Le criticità elencate evidenziano quindi incongruenze nelle misure che, unite all'incompletezza delle osservazioni, rendono di fatto inutilizzabili i dati disponibili.

Coerentemente con quanto osservato in precedenza, anche le distribuzioni di TGM mensile ottenute dall'analisi delle catture bluetooth nel periodo 2019-2021 (Sez. 2.1), e riportate in Fig. 26, permettono di identificare le due tipologie di flusso

veicolare all'interno del tessuto urbano di Bolzano. Inoltre, anche i valori di TGM relativi ai due flussi appaiono essere congruenti con quelli osservati nel 2018 dalle stazioni contatraffico comunali. Ciò avvalorava la correttezza del coefficiente di conversione catture-TGM imposto pari a 5 per la città di Bolzano. Anche nelle serie di sensori bluetooth è possibile identificare delle criticità nelle misure, circoscritte però ai soli sensori denominati "Galleria_Virgolo" e "Torricelli" che restituiscono distribuzioni di traffico sottostimate, non compatibili con il regime di traffico che caratterizza le strade monitorate. Si è pertanto deciso di escludere questi due sensori dalle successive elaborazioni.

L'andamento complessivo delle serie riportate permette di osservare gli effetti connessi alla pandemia COVID-19, ossia il crollo dei valori di TGM in corrispondenza dei periodi di *lockdown* (totale marzo-aprile 2020 e parziale novembre-dicembre 2020) e di allentamento delle restrizioni nell'anno 2021. L'andamento del TGM relativo al 2021 lungo le strade extra-urbane (Fig. 28) mostra un ciclo annuale in cui i TGM tendono a diminuire verso fine anno. In ambito urbano, invece, si osserva che il ciclo stagionale del traffico è modulato su di un trend positivo che determina un aumento del traffico durante tutto l'anno. Questo comportamento può essere ricondotto al progressivo allentamento delle restrizioni imposte dalla pandemia COVID-19 ed in particolare ad un ritorno allo svolgimento delle attività presso le sedi lavorative anziché in modalità *smart working*. Nel mese di dicembre 2021, soprattutto lungo le strade caratterizzate da un flusso di traffico urbano, si osserva un aumento del TGM che tende ad assumere valori pre-pandemici.

Infine, in Fig. 27 si riporta la caratterizzazione del traffico circolante all'interno della città di Bolzano ottenuta dall'elaborazione dei dati rilevati durante la campagna di misure svolta in febbraio 2020 (Sez. 2.2) e considerati rappresentativi per l'anno 2019. I due grafici in figura mostrano i valori TGM annui osservati presso ciascuna stazione di rilevamento (sopra) e la corrispondente distribuzione del traffico per macro-classi (sotto). Dalle distribuzioni delle classi veicolari si osserva come i valori di TGM possano assumere valori molto variabili in funzione della strada monitorata. La composizione del traffico mostra che le automobili rappresentano l'80% circa del TGM, mentre i furgoni costituiscono il 10% circa del TGM. Le rimanenti macro-classi di veicoli sono più variabili: gli autobus transitano più frequentemente lungo le strade che attraversano aree residenziali, mentre lungo le strade a maggiore scorrimento si osservano più mezzi pesanti.

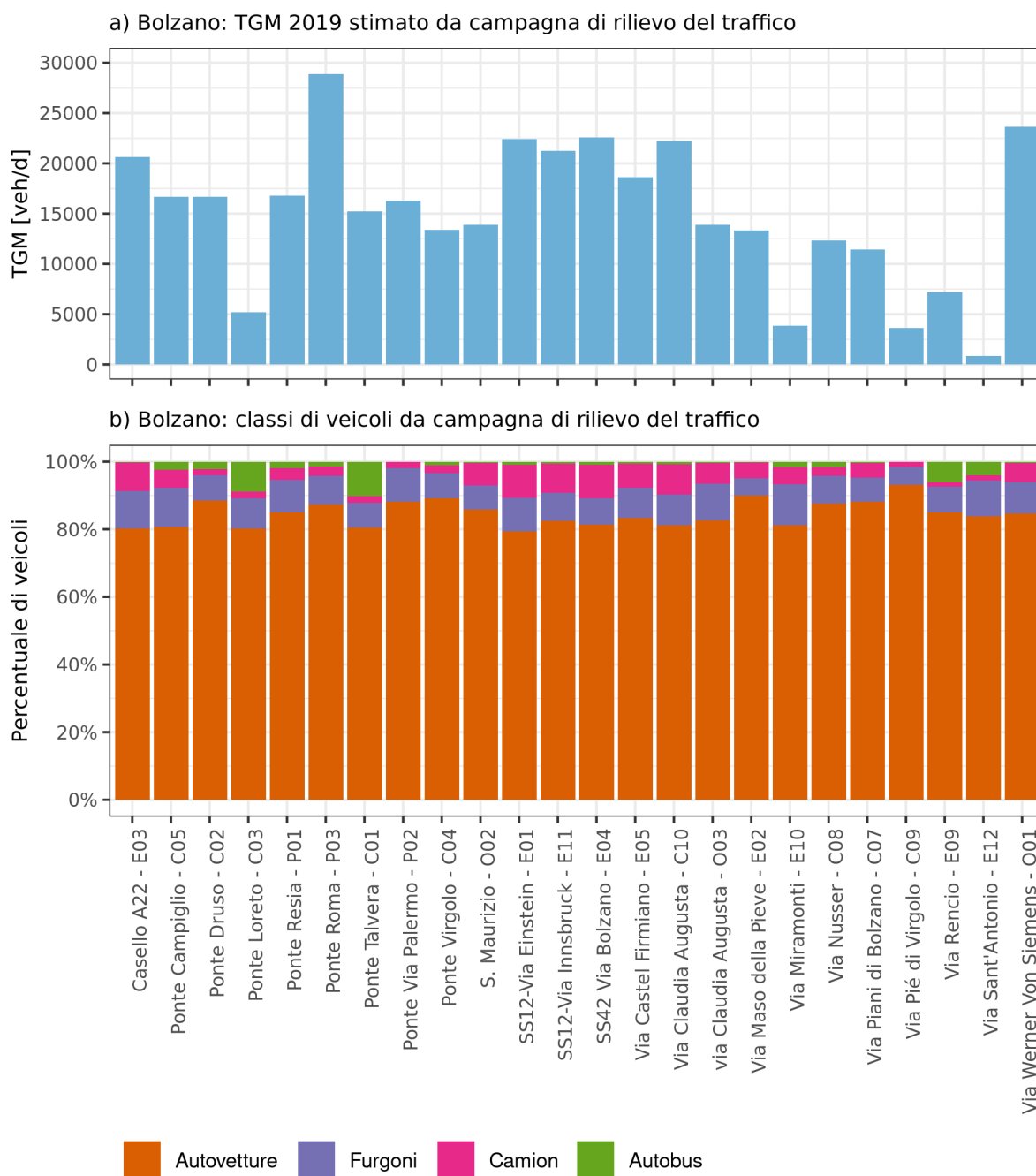


Figura 27: (a) TGM riferiti all'anno 2019 stimati dall'elaborazione dei rilievi di traffico condotti da TPS Pro srl e (b) distribuzione percentuale delle classi veicolari in corrispondenza di ciascuna stazione di monitoraggio del traffico.

4.2.2 Traffico lungo strade extraurbane di accesso alla città

L'elaborazione dei transiti misurati dalle stazioni contatraffico provinciali consente di valutare i flussi veicolari che insistono sulla rete di strade extraurbane in ingresso alla città di Bolzano attraverso:

Tabella 23: TGM annui [veh/d] misurati dalle stazioni contatraffico provinciali dislocate a Bolzano. Per ciascun anno si riporta il numero (num) di giorni disponibile per le analisi.

ID	Collocazione	2018	2019	2020	2021
65	MEBO-Frangarto	40486	40375	31141	37296
3	SS12-Pineta di Laives	22134	21929	16567	20339
4	SS12-Cardano Nord	19283	18151	13951	17449
20	SS42-Ponte Adige	20803	20980	15817	18740
74	SP73-Renon	4493	4575	3760	4364
75	SP99-San Genesio	3461	3424	3266	3349

- l'evoluzione del TGM mensile totale e per macro-classi di veicolo (Fig. 28);
- l'evoluzione percentuale del TGM annuo totale rispetto al 2018, che definisce la *baseline* dello studio (Fig. 29);
- la composizione annua del parco circolante (Fig. 30).

L'evoluzione mensile del TGM nel periodo 2018-2021 misurata dalle stazioni contatraffico provinciali considerate nello studio (Tab. 7) è riportata in Fig. 28. In particolare, in figura si mostra sia l'andamento mensile del TGM totale (pannelli superiori), sia l'andamento del TGM per tipologia di veicoli accorpata nelle macro-classi: motocicli e autovetture, furgoni e mezzi pesanti. Nonostante una significativa lacuna di dati che ha interessato la seconda metà del 2019 e parte del 2020, le distribuzioni ottenute mostrano che la MEBO, essendo una strada ad elevato scorrimento, è la strada extraurbana caratterizzata dai valori maggiori di TGM. Inoltre, risultano caratterizzate da traffico intenso anche le strade di accesso alla città che convogliano i flussi veicolari provenienti dalla Val d'Isarco (SS12-Cardano Nord), dalla Val d'Adige a sud di Bolzano (SS12-Pineta di Laives) e dall'area a nord-ovest di Bolzano (SS42-Ponte Adige). I transiti provenienti dalla Val Sarentino (SP99-San Genesio) e dalla zona di Renon (SP73-Renon) sono, invece, inferiori.

Le distribuzioni mensili riportate in Fig. 28 permettono anche di osservare:

1. gli effetti delle restrizioni per il contenimento della pandemia COVID-19 che determinano la riduzione dei transiti in corrispondenza dei periodi di lockdown (marzo-aprile 2020) o di parziale chiusura delle Province (gennaio-febbraio 2021);
2. la sostituzione/modifica dei dispositivi di conteggio del traffico avvenuta nel 2020 che determina una significativa variazione nel TGM di furgoni e mezzi pesanti.

In Tab. 23 si riportano i valori i TGM annui misurati dalle stazioni contatraffico provinciali dal 2018 al 2021. Il grafico riportato in Fig. 29 mostra invece l'evoluzione

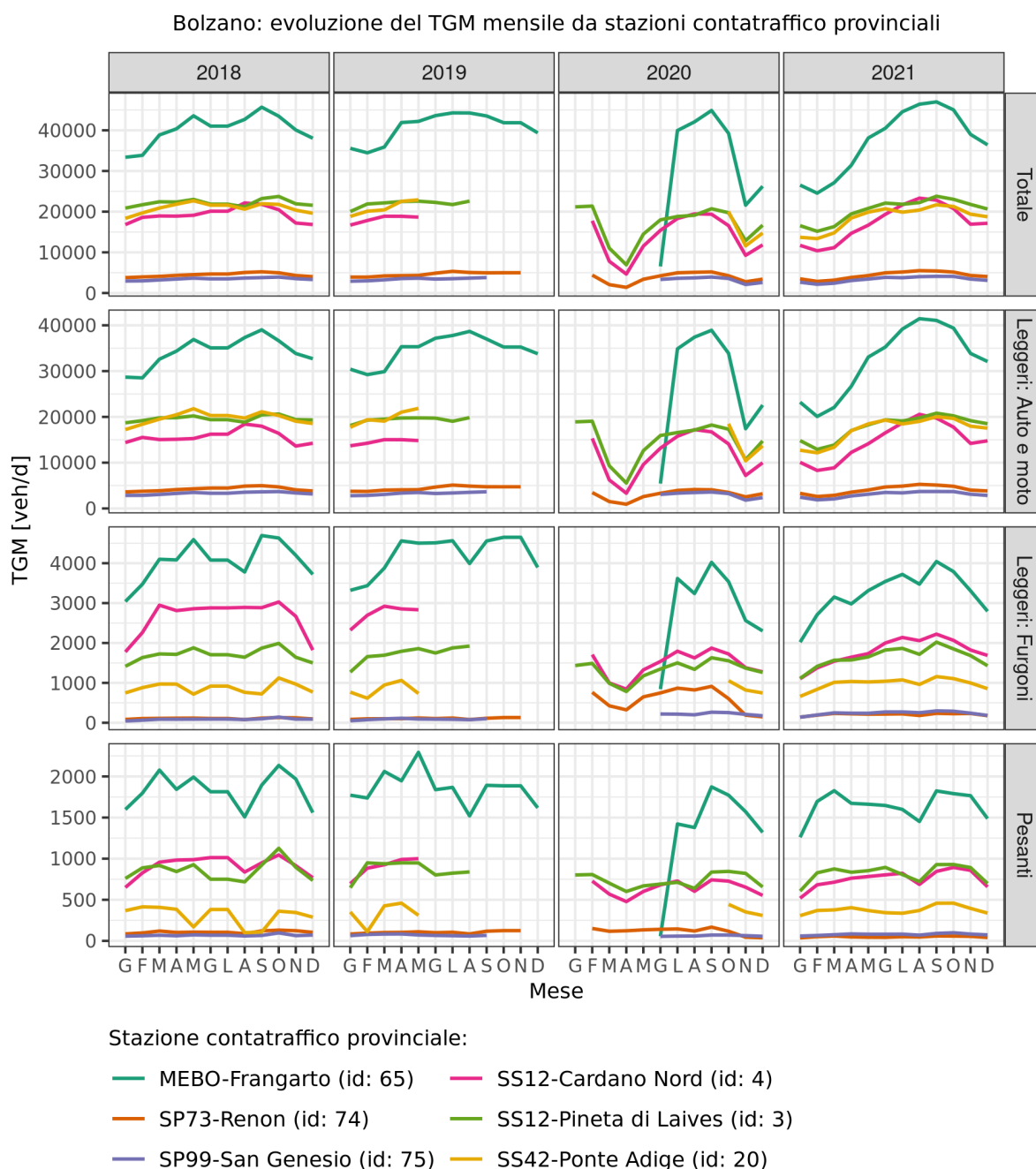


Figura 28: Evoluzione mensile del TGM misurato dalle stazioni contatraffico provinciali nel periodo 2018-2021 lungo le extraurbane di accesso alla città di Bolzano. Si riportano i valori mensili delle stazioni per cui si ha a disposizione almeno 15 giorni di misurazioni.

percentuale del TGM totale annuo rilevato da ciascuna stazione contatraffico provinciale rispetto ai valori osservati nel 2018 (*baseline*). L'analisi dei grafici consente di osservare che:

1. In condizioni pre-pandemiche (2018 e 2019) i valori di TGM sono pressoché

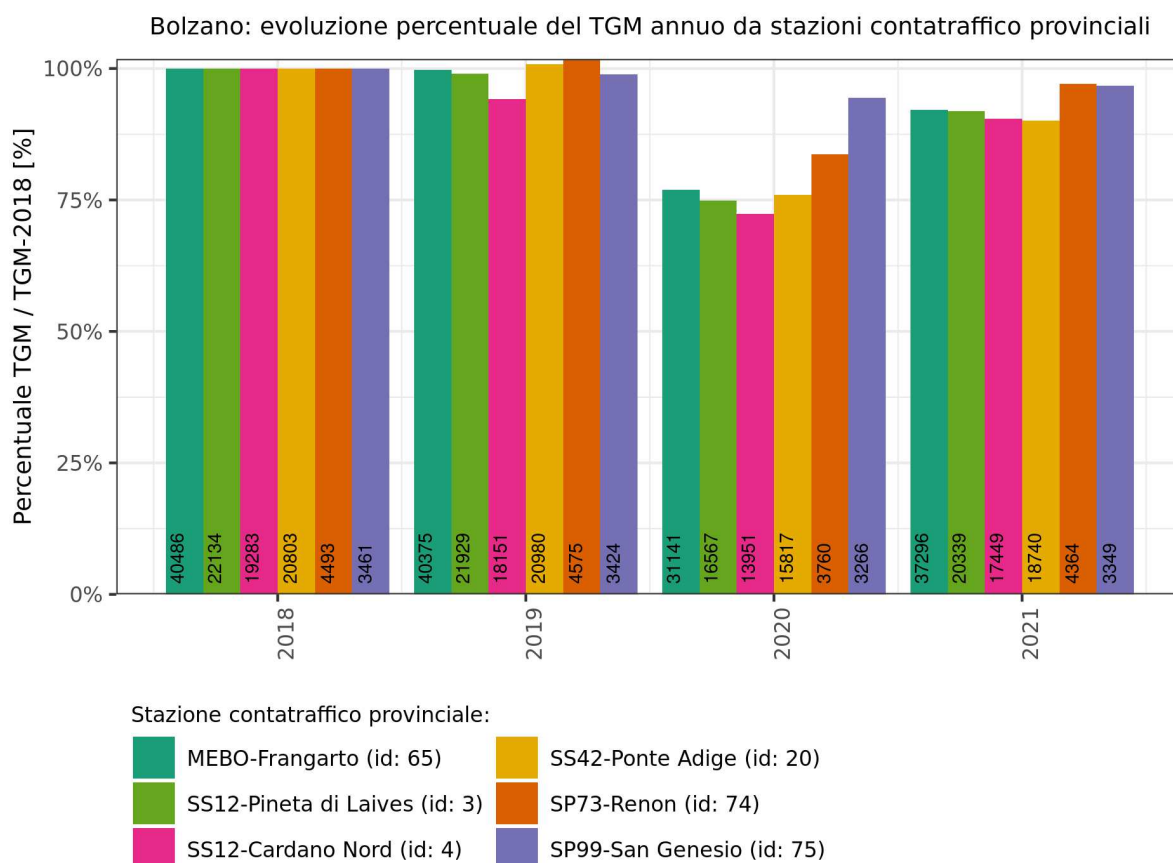


Figura 29: Evoluzione percentuale del TGM totale annuo rilevato dalle stazioni contatraffico provinciali rispetto ai valori osservati nel 2018. I valori numerici indicati alla base degli istogrammi rappresentano il valore di TGM effettivamente osservati.

identici lungo la MEBO, mentre fluttuano maggiormente nel 2019 lungo le restanti strade extra-urbane. Tale comportamento può essere principalmente ricondotto all'incompletezza delle serie rilevate presso le stazioni contatraffico di Cardano Nord, Pineta di Laives e Ponte Adige, che di fatto sono quelle con maggiori valori di TGM ma continue solo nel primo quadrimestre dell'anno (Fig. 28).

- Le restrizioni connesse al contenimento della pandemia COVID-19 modificano il regime del traffico lungo le strade extraurbane caratterizzate da TGM maggiori. Infatti, lungo MEBO, SS12 e SS42 il TGM del 2020 diminuisce del 25% rispetto ai valori osservati nel 2018, mentre torna a crescere nel 2021 attestandosi attorno al 91% del TGM osservato nel 2018. Lungo le strade extra-urbane con TGM inferiore (SP73 e SP99), invece, gli effetti legati alla pandemia sono più attenuati. In particolare, lungo la SP73 il TGM nel 2020 diminuisce 20% rispetto ai valori osservati nel 2018, mentre nel 2021 torna ad una configurazione pre-

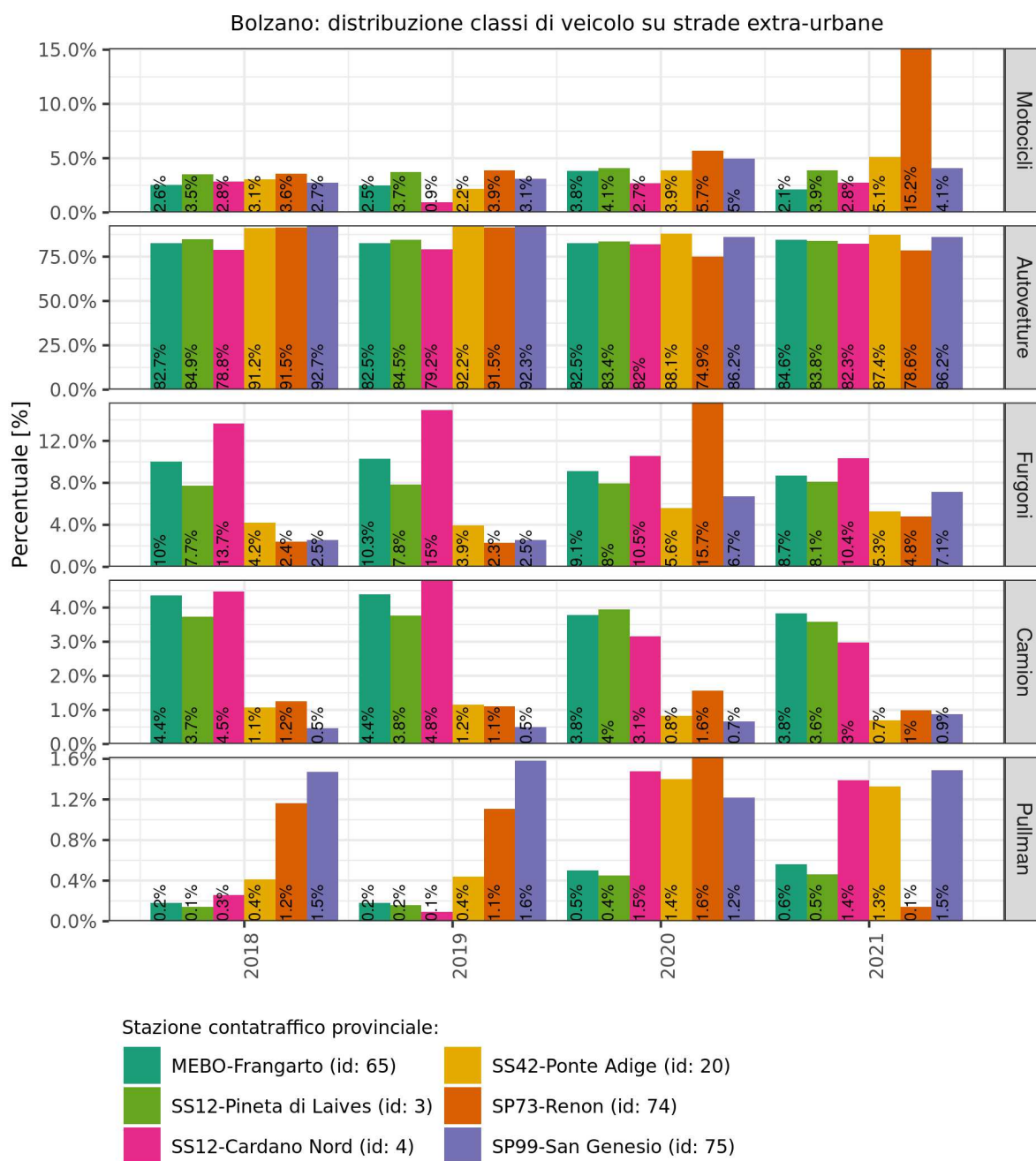


Figura 30: Distribuzione percentuale annua della composizione del traffico lungo ciascuna strada extra-urbana di accesso a Bolzano.

pandemica. Il TGM lungo la SP99, invece, è poco sensibile agli effetti della pandemia, mostrando invece una debole diminuzione attorno al 10% del TGM osservato nel 2018.

Infine, i grafici rappresentati in Fig. 30 permettono di valutare l'evoluzione dal 2018 al 2021 della composizione del traffico circolante lungo ciascuna strada extra-

urbana considerata. I valori in ordinata, e alla base degli istogrammi, rappresentano il contributo percentuale del TGM della macro-classe rispetto al TGM complessivo (valore numerico alla base degli istogrammi in Fig. 29). Le distribuzioni riportate in Fig. 30 mostrano che:

1. I motocicli tendono ad aumentare nel 2020 e 2021 passando dal 3% al 4% del TGM totale soprattutto lungo le strade extra-urbane con transiti inferiori. Il valore registrato nel 2021 lungo la SP73 (15.2% del TGM totale) è da considerare poco realistico e quindi più verosimilmente rappresenta un dato spurio.
2. Le autovetture sono la macro-classe di veicoli dominante e costituisce l'87% del TGM totale sia nel 2018 che nel 2019, mentre rappresentano l'83% del TGM nel 2020 e l'84% del TGM nel 2021. Inoltre, è interessante osservare come la percentuale di autovetture rispetto al TGM totale resti immutata lungo MEBO ed SS12.
3. Le distribuzioni di furgoni, camion e pullman mostrano variabilità maggiori sia lungo ciascuna strada extra-urbana, sia in situazione pre-pandemica (2018-2019) e pandemica (2020-2021). Si deve inoltre tenere in considerazione la modifica del sistema di conteggio del traffico avvenuta nel 2020, di cui si è accennato nelle linee precedenti.

In conclusione, la mancanza di osservazioni determina una sottostima del TGM totale, senza inficiare particolarmente la caratterizzazione della composizione del traffico circolante, che invece è sensibile alla modifica del sistema di acquisizione dei transiti.

4.2.3 Traffico autostradale

Dai transiti autostradali è possibile valutare l'evoluzione del TGM mensile (Fig. 28), la variazione percentuale del TGM annuo rispetto la *baseline* fissata al 2018 (Fig. 29) e la ripartizione del traffico in veicoli leggeri e pesanti (Fig. 30). Si osservano in particolare i seguenti comportamenti:

- I TGM mensili mostrano una ciclicità stagionale per cui i transiti sono maggiori nei mesi estivi ed inferiori nei mesi invernali, indipendentemente dalla macro-classe di veicolo (Fig. 28). L'incremento dei transiti nei mesi estivi è riconducibile alla presenza di massicci flussi turistici. Infatti, nel mese di agosto si osserva il massimo TGM mensile dei veicoli leggeri a cui corrisponde un minimo locale nel TGM dei mezzi pesanti. Nonostante le alterazioni dei regimi

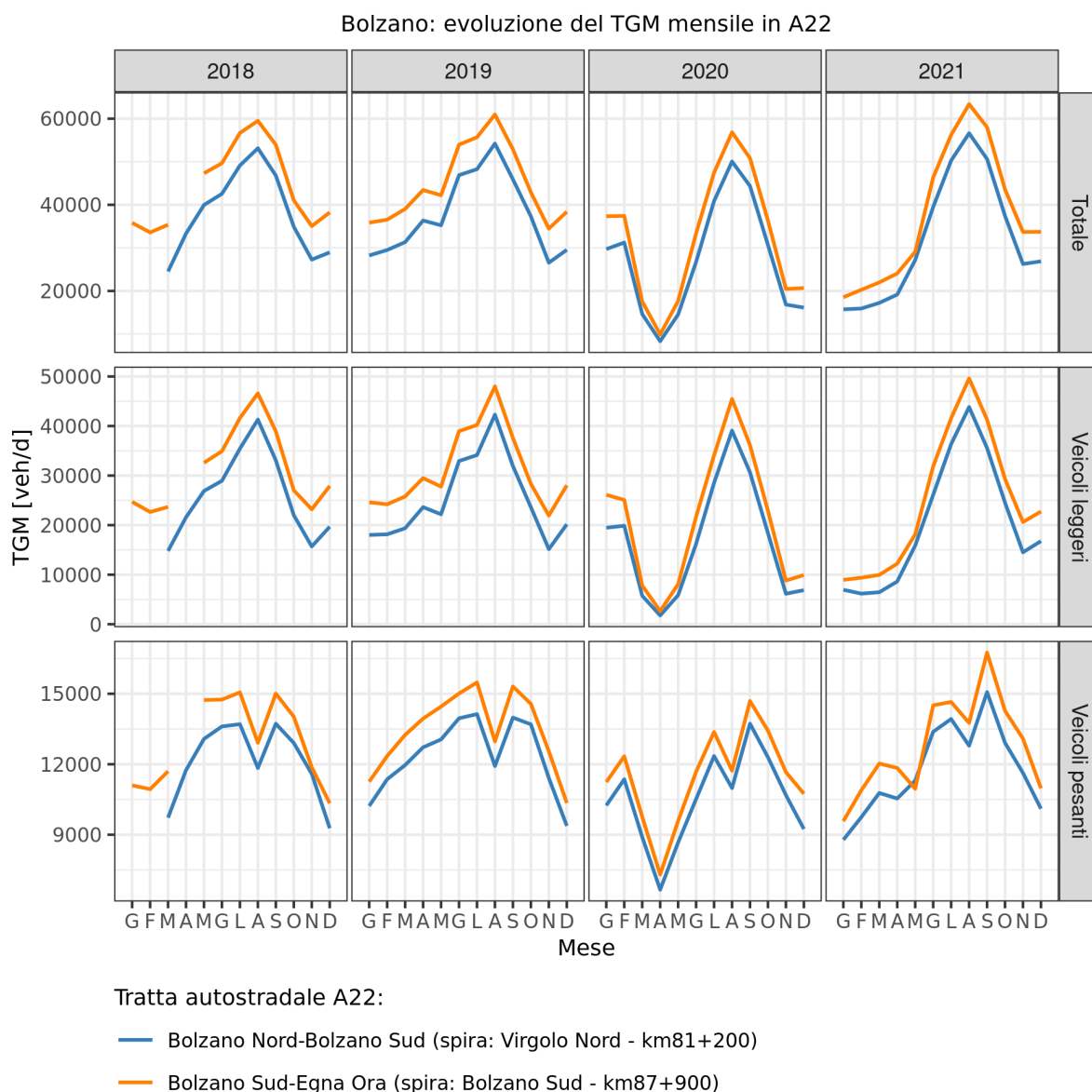


Figura 31: Evoluzione mensile del TGM misurato nel periodo 2018-2021 dalle stazioni contraffico collocate lungo l'Autostrada del Brennero in corrispondenza delle tratte Bolzano Nord-Bolzano Sud e Bolzano Sud-Egna/Ora.

veicolari connesse alle misure di contenimento della pandemia COVID-19, però questi comportamenti sono comunque marcati nei pattern ottenuti per gli anni 2020 e 2021.

- Il confronto dei TGM lungo le due tratte autostradali mostra che i transiti che insistono nella tratta Bolzano Sud-Egna/Ora sono sempre maggiori di quelli che percorrono la tratta Bolzano Nord-Bolzano Sud (Fig. 31 e 32). Ciò implica che attraverso il casello di Bolzano Sud è presente un flusso netto veicolare in

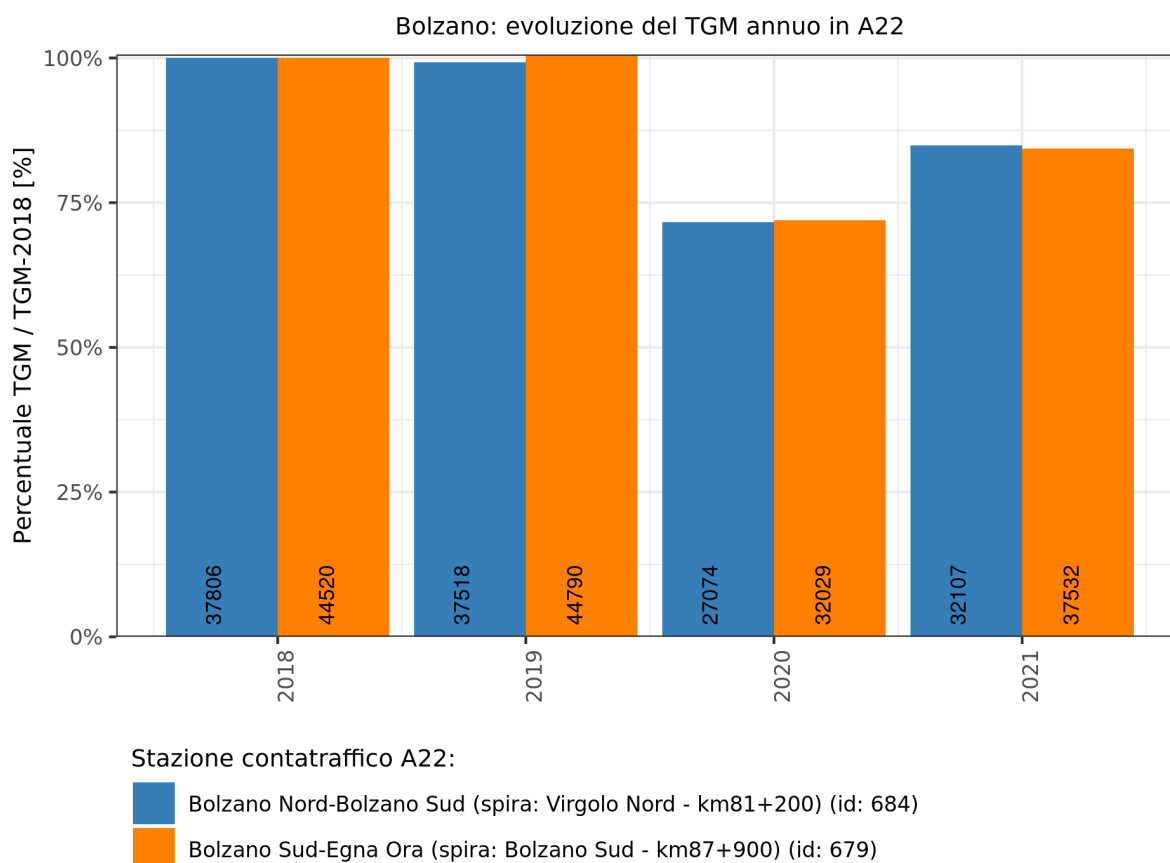


Figura 32: Evoluzione annuale del TGM totale misurato dalle stazioni contatraffico collocate lungo l'Autostrada del Brennero in corrispondenza delle tratte Bolzano Nord-Bolzano Sud e Bolzano Sud-Egna/Ora. In ordinata si riporta il rapporto percentuale tra il TGM annuo ed il TGM osservato nel 2018, mentre i valori numerici indicati alla base degli istogrammi rappresentano il valore di TGM effettivamente osservato.

ingresso alla città. Tale flusso, calcolato su base annua (da TGM in Fig. 32), assume valori pari a 6714 veicoli nel 2018; 7272 veicoli nel 2019; 4955 veicoli nel 2020 e 5425 veicoli nel 2021. La diminuzione del flusso nel 2020 è una conseguenza delle restrizioni connesse alla pandemia COVID-19 ed in particolare sintomo di una situazione in cui il fenomeno di pendolarismo (soprattutto con mezzi privati/leggeri) è fortemente inibito se non soppresso. Infatti, durante i periodi di *lockdown* (Fig. 32) i flussi lungo le due tratte tendono ad uguagliarsi (Fig. 28). Nel 2021 l'aumento del flusso netto tra le due tratte è indicativo di una ripresa, seppure lenta, del pendolarismo con mezzi privati.

- Come anticipato, la pandemia COVID-19 ha contribuito modificando il regime dei transiti. L'evoluzione percentuale del TGM annuo riportata in Fig. 29 mostra infatti che nel 2020 i flussi autostradali diminuiscono del 28% rispetto alla

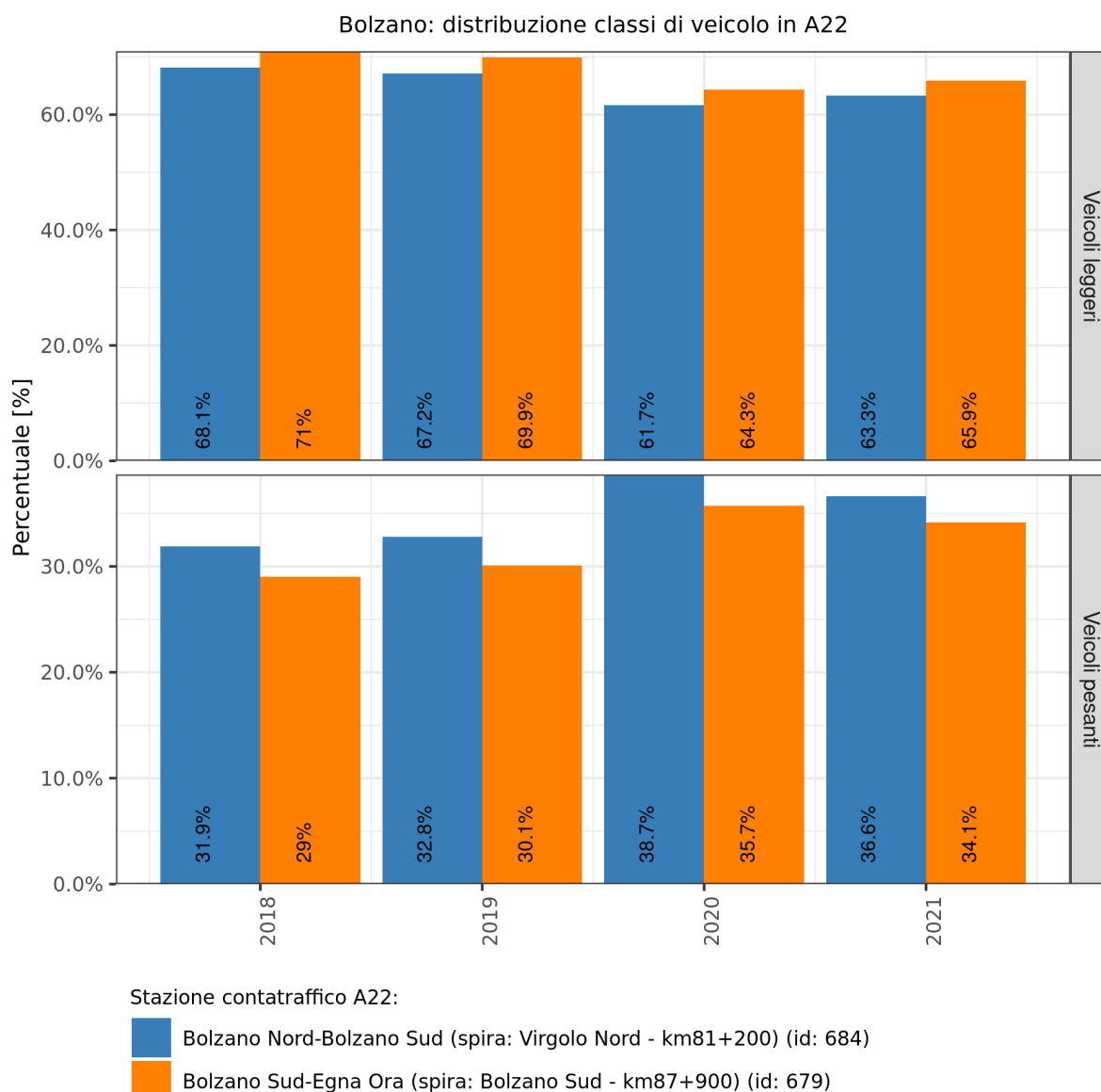


Figura 33: Composizione percentuale annua del traffico circolante in A22, suddiviso tra veicoli leggeri e pesanti lungo le tratte tra i caselli Bolzano Nord-Bolzano Sud e tra Bolzano Sud-Egna/Ora.

situazione pre-pandemica riferita al 2018. Nel 2021 tale discrepanza si attenua assestandosi attorno al 15% rispetto al 2018. Un altro effetto legato alla pandemia è l'alterazione della composizione del traffico circolante. Nel 2018 il traffico pesante lungo entrambe le tratte è circa il 30.5% del TGM totale, nel 2019 questo rapporto cresce leggermente dell'1% (31.5%) ed aumenta significativamente nel 2020 fino al 37.2%. Nel 2021, invece, decresce attestandosi al 35.5%. Si può quindi ritenere che lungo le tratte considerate fosse già presente

Tabella 24: Dati disponibili per aggiornare il grafo di Bolzano in corrispondenza di ciascun anno investigato.

Dati di traffico	Grafo stradale			
	2018	2019	2020	2021
Distribuzione del traffico da PUMS	X			
Stazioni contatraffico autostradali	X	X	X	X
Stazioni contatraffico provinciali	X	X	X	X
Stazioni contatraffico comunali		X		
Sensori bluetooth			X	X
Campagna di rilievo del traffico		X		

un lieve incremento del traffico pesante. Durante la pandemia questo rapporto è aumentato da un lato per la diminuzione del traffico leggero e dall'altro per l'aumento del trasporto su gomma connesso al fenomeno di acquisto di beni su piattaforme on-line.

4.3 Aggiornamento del grafo stradale

Al fine di poter procedere al calcolo delle emissioni veicolari, a ciascun arco del grafo stradale di Bolzano (1) e per ciascun anno dal 2018 al 2021 è necessario assegnare un valore medio annuo del TGM, espresso come numero di veicoli transitati in un giorno. Come precedentemente illustrato, per quanto riguarda la città di Bolzano i dati disponibili sono quelli riassunti in Tab. 24.

Per quanto riguarda flussi di transito della MEBO e dell'Autostrada del Brennero sono stati imposti pari ai valori medi annui misurati dalle stazioni contatraffico di riferimento:

- MEBO: stazione MEBO-Frangarto (id 65);
- A22 - tratta Bolzano Nord - Bolzano Sud: spira al km 81+200;
- A22 - tratta Bolzano Sud - Egna Ora Termeno: spira ala km 87+800.

Similmente, anche per le strade del reticolo urbano in cui è presente una stazione contatraffico provinciale è stato utilizzato il valore misurato.

Le analisi approfondite effettuate sui dati di traffico all'interno della rete stradale della città e riportate in Sez. 4.2.1 hanno permesso di caratterizzare il traffico delle diverse strade, in termini di traffico di attraversamento o locale e in termini di tipologia di veicoli transitanti. Il fatto che si tratti di una base dati discontinua dal punto di vista temporale, incompleta e in parte poco affidabile ne ha purtroppo impedito

Tabella 25: Trend evolutivi del TGM rispetto alla baseline 2018 utilizzati per gli archi stradali della città di Bolzano (esclusi MEBO e A22).

Periodo temporale	Percentuale di evoluzione del TGM
2019-2018	+0.39%
2020-2018	-23.64%
2021-2018	-7.25%

l'utilizzo diretto per l'aggiornamento dei valori di TGM lungo gli archi del grafo stradale di Bolzano. Per questa ragione, per poter stimare correttamente il TGM è stato necessario utilizzare un diverso approccio, che fosse affidabile e ripetibile in tutti gli anni considerati. Il metodo implementato ha previsto di utilizzare:

- per il 2018 il valore di TGM ricavato dal PUMS;
- per gli anni successivi (dal 2019 al 2021) i dati di traffico lungo il grafo di Bolzano sono stati aggiornati sulla base del trend evolutivo calcolato utilizzando l'andamento del traffico misurato dalle sole stazioni contatraffico provinciali, che pur essendo posizionate su strade di accesso alla città, mostrano dati più affidabili e completi (si veda la Sez. 4.2.2).

Il trend di evoluzione del TGM è stato valutato annualmente rispetto alla baseline del 2018 come segue:

1. per ciascuna stazione contatraffico sono stati considerati rappresentativi i mesi con almeno 25 giorni di dati validi;
2. per ciascun mese dell'anno si è calcolata la percentuale media di evoluzione del TGM ottenuta considerando solo le spire con dati validi;
3. si è calcolata la media annua del trend evolutivo.

Il risultato ottenuto è riportato in Tab. 25.

Relativamente alla distribuzione percentuale annua della composizione del traffico lungo ciascuna strada, si è utilizzato lo stesso approccio adottato per il calcolo del TGM:

- per l'Autostrada del Brennero è stata utilizzata la distribuzione ottenuta dai risultati del progetto BrennerLEC⁹;
- per la MEBO si è utilizzata la distribuzione media annua rilevata dalla stazione contatraffico di Frangarto;

⁹BrennerLEC - Low Emission Corridor : progetto Europeo finanziato dal programma LIFE 2014-2020 per l'ambiente e il clima della Commissione Europea - www.brennerlec.life

Tabella 26: Valori di velocità media per le diverse categorie di veicoli utilizzati per il calcolo delle emissioni di A22 e MEBO nel comune di Bolzano.

	Velocità [km/h ⁻¹]		
	A22 BZ Nord-BZ Sud	A22 BZ Sud-Egna	MEBO
Autovetture	108.0	121.0	96.6
Motocicli	108.0	121.0	88.0
Furgoni	97.5	110.0	83.3
Mezzi pesanti	65.0	85.0	70.8
Autobus	84.0	96.0	72.0

- per il resto del reticolo urbano, è stata utilizzata la distribuzione ottenuta mediando i dati delle stazioni contatraffico della provincia.

I risultati ottenuti sono riassunti in Tab. 27.

Al fine del calcolo emissivo, oltre ai valori di TGM, è necessario considerare anche i valori di velocità media del flusso veicolare. Nel presente studio non si è ipotizzata alcuna variazione annua delle velocità dei transiti. In questo modo ogni variazione del regime emissivo è direttamente riconducibile alla variazione del numero di transiti o alla caratterizzazione del parco circolante. Per i transiti che insistono sulla rete urbana della città sono stati utilizzati i valori di velocità media già presenti all'interno del grafo stradale messo a disposizione e utilizzati in fase di redazione del PUMS. In particolare, non sono state effettuare distinzioni sulla velocità del traffico leggero e del traffico pesante, ma si è considerato un flusso con velocità omogenea. Infatti, il regime di flusso in area urbana è pressoché indipendente dalla tipologia di veicolo in quanto la velocità del flusso è fortemente condizionata dalla topologia del reticolo stradale e dalla morfologia delle strade. Diverso è il discorso per i transiti che interessano MEBO e A22, dove è stato adottato un valore di velocità diverso per ciascuna macrocategoria di veicoli. Le velocità sono state ricavate sulla base delle analisi dati condotte all'interno del progetto BrennerLEC per quanto riguarda l'autostrada, e dei dati medi rilevati dalla spira contatraffico per quanto riguarda la MEBO. In particolare, per quest'ultima sono stati utilizzati i dati di velocità medi annui relativi all'anno 2021. Questo perché con la sostituzione delle spire nel 2020 si è osservata una variazione significativa dei valori di velocità delle macrocategorie di veicoli, probabilmente dovuta al diverso algoritmo utilizzato per la classificazione dei veicoli stessi. I valori del 2021 sono stati ritenuti affidabili, compatibilmente con i limiti vigenti sul tratto di MEBO considerato. I valori utilizzati sono riassunti in Tab. 26.

Tabella 27: Distribuzione percentuale annua della composizione del traffico utilizzata per il calcolo delle emissioni nel comune di Bolzano

	2018	2019	2020	2021
A22 Bolzano Nord- Bolzano Sud				
Autovetture	61.0%	60.1%	55.2%	56.7%
Motocicli	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Furgoni	7.2%	7.1%	6.5%	6.6%
Mezzi pesanti	31.2%	32.2%	37.9%	35.9%
Autobus	0.6%	0.7%	0.8%	0.7%
A22 Bolzano Sud - Egna Ora Termeno				
Autovetture	63.5%	62.6%	57.6%	59.0%
Motocicli	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Furgoni	7.5%	7.3%	6.8%	6.9%
Mezzi pesanti	28.4%	29.5%	35.0%	33.4%
Autobus	0.6%	0.6%	0.7%	0.7%
MEBO				
Autovetture	82.7%	82.5%	82.5%	84.6%
Motocicli	2.6%	2.5%	3.8%	2.1%
Furgoni	10.0%	10.3%	9.1%	8.7%
Mezzi pesanti	4.4%	4.4%	3.8%	3.8%
Autobus	0.2%	0.2%	0.5%	0.6%
Rete urbana				
Autovetture	87.8%	87.9%	82.9%	83.7%
Motocicli	3.1%	2.8%	4.3%	6.2%
Furgoni	6.1%	6.3%	9.3%	7.1%
Mezzi pesanti	2.2%	2.3%	2.1%	1.8%
Autobus	0.7%	0.7%	1.2%	1.0%

4.4 Analisi degli scenari emissivi

L'implementazione dei criteri descritti ha permesso di distribuire sul grafo stradale di Bolzano i valori di TGM annuo dal 2018 al 2021 e conseguentemente calcolare delle emissioni di NO_x da traffico veicolare attraverso i fattori di emissione (Sez. 2.4) stimati sulla base dei parchi circolanti (Sez. 2.3). A titolo di esempio, le mappe riportate in Fig. 34 ed in Fig. 35 mostrano rispettivamente le distribuzioni di TGM e di emissioni di NO_x ottenute per l'anno 2018 sul grafo stradale di Bolzano. Nelle mappe il colore identifica la tipologia di strada mentre lo spessore del tratto è proporzionale al valore delle variabile mappata. Per maggiori dettagli si rimanda alle mappe nelle Tavole allegate e alla Tab. 29 che riporta, per ciascuna strada del grafo stradale, la lunghezza e la velocità media del traffico, unitamente ai valori medi annui di TGM, emissioni di NO_x e le loro variazioni percentuali rispetto allo scenario di riferimento (anno 2018). Si ricorda che, come descritto in Sez. 2.4.1, i valori medi di TGM

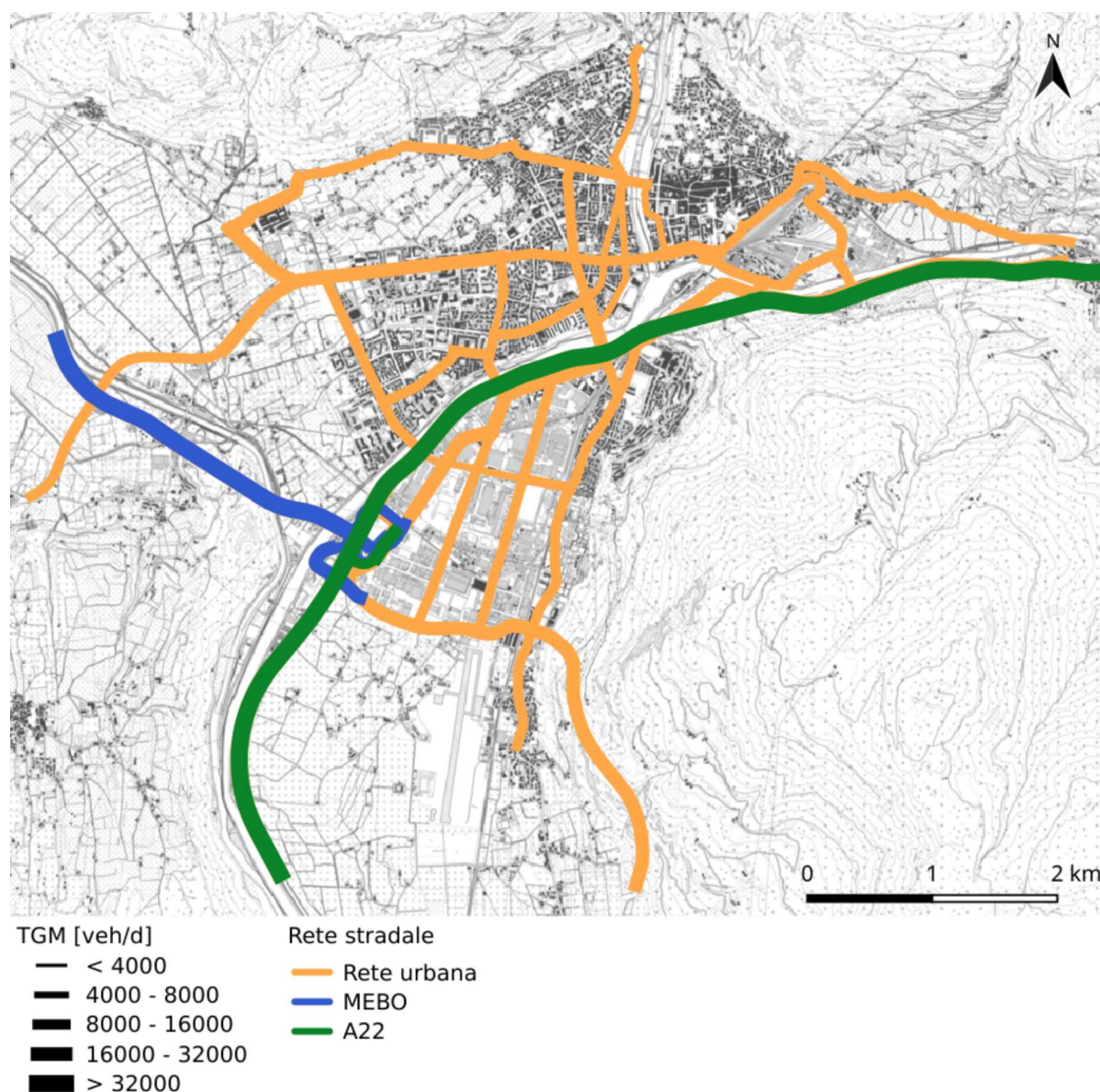


Figura 34: Distribuzione del TGM relativo all'anno 2018 all'interno del grafo stradale di Bolzano. Per ulteriori dettagli e la mappatura del TGM per gli anni 2019, 2020 e 2021 si rimanda alle Tavole allegate.

e di emissione sono stati calcolati pesando i valori disponibili lungo gli archi che costituiscono la strada riportata con le rispettive lunghezze.

Infine, si procede confrontando l'evoluzione annua del traffico e del regime emissivo di NO_x associato con le concentrazioni medie annue di NO_2 misurate in aria ambiente a Bolzano (Sez. 1.2 e Tab. 22). A tal fine, i valori medi annui di TGM, emissioni e fattori di emissione di NO_x sono stati estratti in corrispondenza di 7 punti del grafo stradale ritenuti significativi per l'area di studio. Tali punti sono:

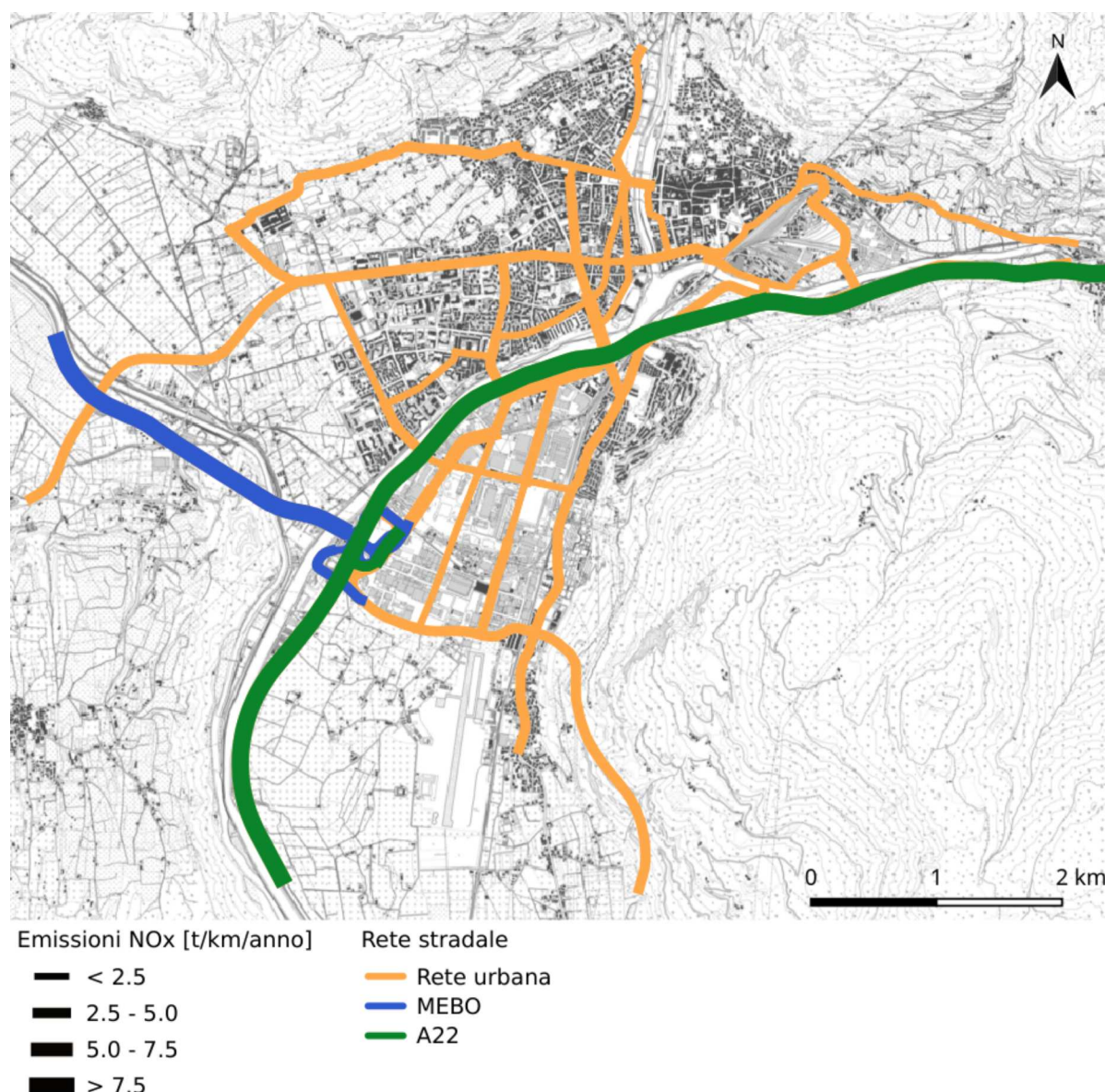


Figura 35: Distribuzione delle emissioni di NO_x relativo all'anno 2018 e generate dal traffico veicolare all'interno del grafo stradale di Bolzano. Per ulteriori dettagli e la mappatura delle emissioni per gli anni 2019, 2020 e 2021 si rimanda alle Tavole allegate.

1. A22-viadotto, collocato in A22 lungo il viadotto compreso tra il tunnel del Virgolo ed il tunnel di Cardano. Questo punto è rappresentativo flusso veicolare autostradale;
2. MEBO-ponte sull'Isarco, collocato nel tratto iniziale di MEBO (verso Bolzano) sul ponte che attraversa fiume Isarco. Questo punto è rappresentativo del flusso veicolare extra-urbano;
3. Arginale-ponte Twenty, collocato lungo Via Innsbruck (SS12) all'altezza del cen-

tro commerciale Twenty. Questo punto è rappresentativo del flusso veicolare di transito in direzione Sud;

4. Via Galilei-Twenty, collocato lungo Via Galilei all'altezza del centro commerciale Twenty. Questo punto è rappresentativo del flusso veicolare di transito in direzione Nord;
5. Via Einstein-Via Galvani, collocato all'incrocio tra le due strade, è rappresentativo del flusso veicolare di transito;
6. Via Roma-Via Novacella, collocato all'incrocio tra le due strade, è rappresentativo del flusso veicolare urbano;
7. Viale Druso-Via Positano, collocato all'incrocio tra le due strade, è rappresentativo del flusso veicolare di transito.

Inoltre, i valori di TGM e di emissioni di NO_x di tutte le strade urbane di Bolzano (ossia tutte le strade del grafo escluse: A22, MEBO ed i rispettivi svincoli) sono state aggregate secondo procedura descritta in Sez. 2.4.1 al fine di ottenere dei valori medi annui di TGM, emissioni e fattori di emissione di NO_x rappresentativi del traffico cittadino. In Tab. 28 si riportano i valori stimati unitamente alle loro variazioni percentuali rispetto l'anno 2018.

I grafici riportati in Fig. 36 mostrano l'evoluzione annua di NO_2 , TGM, emissioni e fattori di emissione di NO_x dal 2018 al 2021, mentre i grafici in e Fig. 37 mostrano le variazioni percentuali delle precedenti grandezze rispetto ai valori osservati nel 2018. Per facilitare il confronto si riportano le grandezze connesse al traffico veicolare suddivise tra A22, MEBO e strade urbane.

Dall'analisi degli andamenti riportati in Fig. 36 emerge che:

1. Le concentrazioni di NO_2 restano pressoché costanti tra 2018 e 2019, mentre subiscono una significativa riduzione nel 2020 e nel 2021.
2. Coerentemente con quanto osservato in precedenza (Sez. 4.2), il traffico veicolare risente delle restrizioni sulla mobilità connesse al contenimento della pandemia COVID-19 su tutte le tipologie di strada considerate. Diminuisce infatti nel 2020 e torna a crescere nel 2021, non raggiungendo ancora i valori medi pre-pandemici.
3. Le emissioni mostrano un andamento identico a quello del TGM, tuttavia si osserva un'asimmetria tra TGM ed emissioni in A22 e in MEBO. Infatti, il TGM in MEBO è maggiore che in A22, mentre le emissioni in MEBO sono inferiori che in

Tabella 28: Valori annui di TGM, emissione (E-NO_x) e fattori di emissione (EF-NO_x) di NO_x con relative variazioni percentuali (Δ) dal 2018 lungo alcuni punti selezionati del del grafo stradale di Bolzano e mediati sulle strade urbane.

Strada	Velocità [km/h]	Anno	TGM [veh/d]	E-NO _x [g/km/d]	EF-NO _x [g/veh/d]	Δ TGM [%]	Δ E-NO _x [%]	Δ EF-NO _x [%]
A22- viadotto	Tab. 26	2018	37806	29016	0.77	0.00	0.00	0.00
		2019	37518	25791	0.69	-0.76	-11.11	-10.52
		2020	27074	18139	0.67	-28.39	-37.49	-13.06
		2021	32107	19189	0.60	-15.07	-33.87	-22.05
MEBO-ponte sull'Isarco	Tab. 26	2018	40446	23317	0.58	0.00	0.00	0.00
		2019	40335	21753	0.51	-0.27	-6.71	-12.07
		2020	31048	15897	0.51	-23.24	-31.82	-12.07
		2021	37221	18227	0.49	-7.97	-21.82	-15.52
Arginale- ponte Twenty	44	2018	18110	9409	0.52	0.00	0.00	0.00
		2019	18182	8980	0.49	0.40	-4.56	-4.94
		2020	13815	6896	0.50	-23.71	-26.71	-3.92
		2021	16780	7488	0.45	-7.34	-20.42	-14.11
Via Galilei- Twenty	44	2018	29865	15516	0.52	0.00	0.00	0.00
		2019	29985	14810	0.49	0.40	-4.55	-4.94
		2020	22782	11372	0.50	-23.72	-26.71	-3.92
		2021	27673	12348	0.45	-7.34	-20.42	-14.11
Via Einstein- Via Galvani	38	2018	22112	12133	0.55	0.00	0.00	0.00
		2019	21929	11449	0.52	-0.83	-5.64	-4.86
		2020	16534	8728	0.53	-25.23	-28.07	-3.80
		2021	20298	9545	0.47	-8.20	-21.33	-14.30
Via Roma- Via Novacella	25	2018	15887	10341	0.65	0.00	0.00	0.00
		2019	15951	9894	0.62	0.40	-4.33	-4.71
		2020	12120	7616	0.63	-23.71	-26.36	-3.46
		2021	14721	8164	0.55	-7.34	-21.06	-14.80
Viale Druso- Via Positano	36	2018	17287	9689	0.56	0.00	0.00	0.00
		2019	17356	9258	0.53	0.40	-4.45	-4.83
		2020	13187	7114	0.54	-23.72	-26.58	-3.76
		2021	16017	7687	0.48	-7.35	-20.66	-14.37
Media strade urbane	39	2018	15883	8733	0.55	0.00	0.00	0.00
		2019	15917	8298	0.52	0.21	-4.98	-5.18
		2020	12105	6322	0.52	-23.79	-27.60	-5.00
		2021	14684	6914	0.47	-7.55	-20.83	-14.36

A22. Questo comportamento può essere ricondotto in parte alla diversa velocità media di transito dei veicoli lungo le due strade, ma soprattutto alla diversa composizione del parco circolante: in sede autostradale il traffico pesante è maggiore rispetto a quello osservato in MEBO.

4. I fattori di emissione di NO_x consentono di valutare l'efficacia del ricambio del parco auto. Lungo tutte le tipologie di strada investigata si osserva una progressiva diminuzione dei fattori di emissione. In particolare, tale diminuzione è molto più rapida in sede autostradale, dove il ricambio del parco mezzi è mol-

to più rapido che non in sede urbana. Inoltre, nel 2021 i fattori di emissione in A22 assumono valori confrontabili con quelli delle strade urbane. Il leggero aumento dei fattori di emissione del 2020 rispetto al 2019 nelle strade urbane è principalmente dovuto al fatto che nel 2020 è significativamente aumentata la percentuale di furgoni rispetto agli anni precedenti, come si può osservare dai dati in Tab. 27.

Le distribuzioni riportate in Fig. 37 quantificano (in percentuale) l'entità delle variazioni annue osservate in Fig. 36 rispetto allo scenario di baseline. Oltre a confermare i trend descritti, si osserva che nel 2020 e nel 2021 le riduzioni percentuali delle emissioni di NO_x sono pressoché confrontabili. Tuttavia:

1. Nel 2020 la riduzione percentuale delle emissioni di NO_x è confrontabile con quella del TGM, soprattutto in area urbana.
2. Nel 2021, la riduzione percentuale delle emissioni di NO_x è confrontabile più con la riduzione dei fattori di emissione piuttosto che del TGM (che invece aumenta tra 2020 e 2021).

Alla luce delle precedenti considerazioni, si può quindi ritenere che le significative riduzioni di NO_2 in aria ambiente osservate nel 2020 e nel 2021 possano essere ricondotte a due diversi effetti:

1. Nel 2020, il miglioramento della qualità dell'aria è connesso prevalentemente alla riduzione del traffico come risultato dell'emergenza pandemica, ossia una sorta di "annullamento" o riduzione della sorgente emissiva.
2. Nel 2021, il miglioramento della qualità dell'aria è connesso prevalentemente al rinnovo del parco auto, ossia all'entrata in funzionamento di nuove tecnologie a bordo dei veicoli per l'abbattimento degli inquinanti dei fumi di scarico.

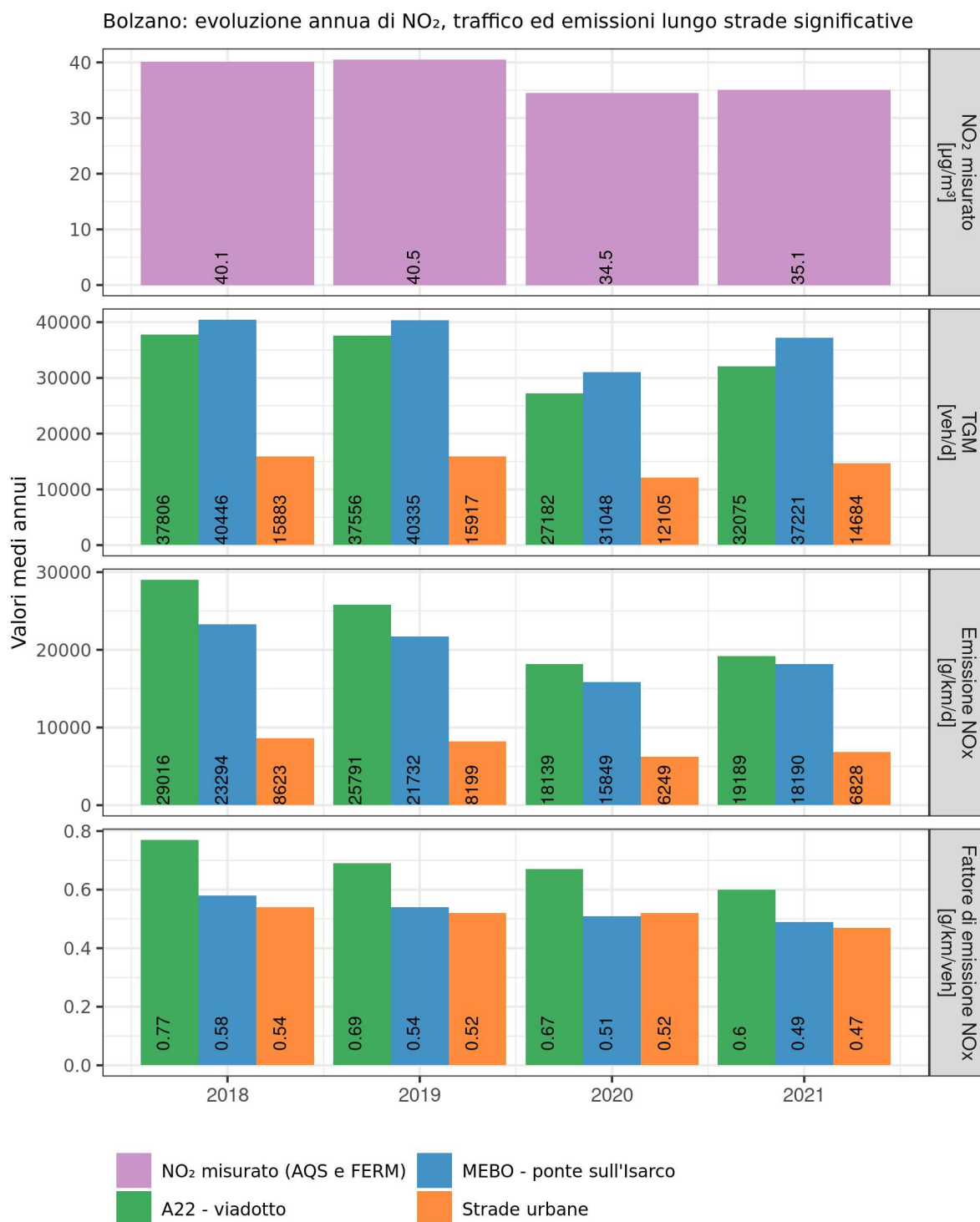


Figura 36: Evoluzione annua delle concentrazioni di NO₂, TGM, emissioni e fattori di emissione di NO_x a Bolzano.

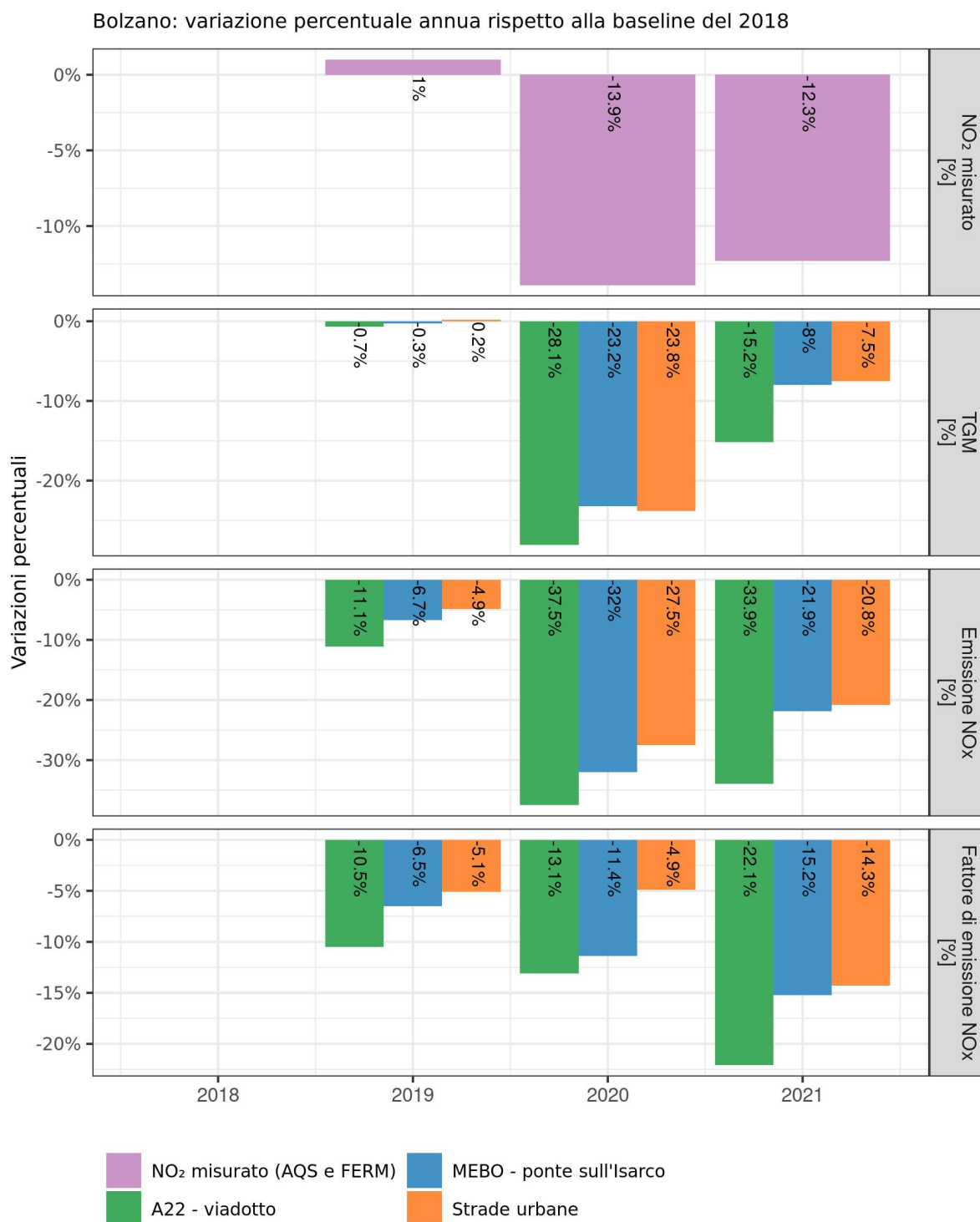


Figura 37: Variazione percentuale annua delle concentrazioni di NO₂, TGM, emissioni e fattori di emissione di NO_x rispetto ai valori osservati nel 2018 a Bolzano.

4.5 Conclusioni

La valutazione dell'impatto delle emissioni veicolari di NO_x sulla qualità dell'aria di Bolzano è stata condotta attraverso l'analisi di dati medi mensili e medi annui di concentrazioni di NO_2 e di traffico.

La prima fase dello studio ha riguardato l'analisi della base dati disponibile con lo scopo di:

1. determinare la qualità dell'informazione disponibile, identificando criticità ed implementando, laddove possibile, metodi per risolvere o attenuare le problematiche riscontrate;
2. delineare le strategie di analisi più adeguate e rappresentative per raggiungere gli scopi dello studio, tra cui la determinazione del criterio con cui aggiornare annualmente i dati di traffico all'interno del grafo stradale della città (Sez. 4.3);
3. caratterizzare l'evoluzione temporale delle concentrazioni di inquinanti e del regime del traffico.

Una volta effettuato il calcolo delle emissioni di NO_x si è proceduto valutando l'evoluzione annuale del regime emissivo in funzione del regime dei transiti e delle concentrazioni di NO_2 in aria ambiente.

Le analisi condotte ed i risultati ottenuti permettono di formulare le seguenti considerazioni e conclusioni:

1. La base dati relativa ai flussi veicolari all'interno della città di Bolzano ha permesso di caratterizzare alla scala mensile i diversi flussi di traffico e di apprezzare la risposta del traffico alle restrizioni sulla circolazione imposte dalla pandemia COVID-19.
2. L'elevata frammentazione temporale delle osservazioni ed i diversi gradi di affidabilità dei dati hanno però reso particolarmente difficoltosa la determinazione di una procedura per l'aggiornamento annuale del grafo stradale. L'impossibilità di ottenere stime statisticamente robuste di valori medi annui hanno di fatto portato ad escludere dall'analisi tutti i dati disponibili misurati in sede urbana (stazioni contatraffico comunali, sensori bluetooth e campagna di rilievo del traffico). Pertanto, l'aggiornamento annuale del grafo stradale è stato condotto sulla base della variazione annua del traffico registrato dalle stazioni contatraffico provinciali.
3. Nonostante le limitazioni riscontrate in sede di analisi dei dati è però stato possibile ottenere riscontri realistici (soprattutto in termini qualitativi) tra il regime del traffico, il regime emissivo di NO_x e le concentrazioni di NO_2 .

4. Si osserva che dal 2018 è in atto un progressivo miglioramento della qualità dell'aria. Nel 2020 le limitazioni sui trasporti introdotte per il contenimento della pandemia COVID-19 ha forzatamente ridotto il numero dei veicoli circolanti e quindi delle emissioni di NO_x in sede stradale. Nel 2021 il miglioramento della qualità dell'aria è invece più compatibile con il rinnovo del parco circolante, soprattutto in area urbana, che nonostante la ripresa dei flussi veicolari (quasi a livelli pre-pandemici) ha permesso di mantenere basse le emissioni di NO_x .

Tabella 29: TGM ed emissioni di NO_x (E-NO_x) all'interno del grafo stradale di Bolzano dal 2018 al 2021. Per ciascuna grandezza si riportano le variazioni percentuali (Δ) rispetto ai valori di baseline (anno 2018).

Strada	Lung. [m]	Velocità [km/h]	Anno	TGM [veh/d]	E-NO _x [g/km/d]	Δ TGM [%]	Δ E-NO _x [%]
A22 – tratta Bolzano Nord- Bolzano Sud	7554	Tab. 26	2018	37806	29016	0.00	0.00
			2019	37556	25791	-0.66	-11.11
			2020	27182	18139	-28.10	-37.49
			2021	32075	19189	-15.16	-33.87
A22 – tratta Bolzano Sud- Egna/Ora	2839	Tab. 26	2018	44520	32631	0.00	0.00
			2019	44790	29768	0.61	-8.77
			2020	32061	20329	-27.99	-37.70
			2021	37532	21281	-15.70	-34.78
A22 – svincolo casello Bolzano Sud	508	40	2018	20441	10998	0.00	0.00
			2019	20523	10503	0.40	-4.50
			2020	15593	8067	-23.72	-26.65
			2021	18940	8739	-7.35	-20.54
MEBO	3029	Tab. 26	2018	40446	23317	0.00	0.00
			2019	40335	21753	-0.27	-6.71
			2020	31048	15897	-23.24	-31.82
			2021	37221	18227	-7.97	-21.82
MEBO – ingresso A22	331	40	2018	1891	1017	0.00	0.00
			2019	1899	972	0.42	-4.49
			2020	1442	746	-23.74	-26.67
			2021	1752	809	-7.33	-20.52
MEBO – uscita A22	693	40	2018	11035	5937	0.00	0.00
			2019	11080	5670	0.40	-4.50
			2020	8418	4355	-23.72	-26.65
			2021	10225	4718	-7.35	-20.54
MEBO – ingresso Via Einstein	284	40	2018	1891	1017	0.00	0.00
			2019	1899	972	0.42	-4.49
			2020	1442	746	-23.74	-26.67
			2021	1752	809	-7.33	-20.52
MEBO – uscita Via Einstein	943	40	2018	18551	9981	0.00	0.00
			2019	18625	9531	0.40	-4.50
			2020	14151	7321	-23.72	-26.65
			2021	17188	7931	-7.35	-20.54
MEBO – uscita Via Torricelli	424	40	2018	14848	7989	0.00	0.00
			2019	14908	7629	0.40	-4.50
			2020	11326	5860	-23.72	-26.65
			2021	13757	6348	-7.35	-20.54

Continua nella prossima pagina

Continua dalla pagina precedente

Strada	Lung. [m]	Velocità [km/h]	Anno	TGM [veh/d]	E-NO _x [g/km/d]	Δ TGM [%]	Δ E-NO _x [%]
Via Innsbruck	6449	44	2018	18201	9430	0.00	0.00
			2019	18274	9000	0.40	-4.56
			2020	13885	6911	-23.72	-26.71
			2021	16864	7506	-7.34	-20.41
Via Einstein	4659	46	2018	19858	10099	0.00	0.00
			2019	19743	9541	-0.57	-5.53
			2020	14910	7281	-24.92	-27.90
			2021	18264	7986	-8.02	-20.93
Via Galilei	879	44	2018	29865	15516	0.00	0.00
			2019	29985	14810	0.40	-4.55
			2020	22782	11372	-23.72	-26.71
			2021	27673	12348	-7.34	-20.42
Corso Italia	745	30	2018	11541	6656	0.00	0.00
			2019	11588	6361	0.40	-4.42
			2020	8804	4890	-23.72	-26.54
			2021	10694	5275	-7.34	-20.74
Corso della Libertà	952	33	2018	9048	5284	0.00	0.00
			2019	9084	5050	0.40	-4.42
			2020	6902	3883	-23.72	-26.52
			2021	8383	4186	-7.34	-20.77
Piazza Verdi	219	44	2018	18580	9653	0.00	0.00
			2019	18655	9214	0.40	-4.55
			2020	14174	7075	-23.72	-26.71
			2021	17216	7682	-7.34	-20.42
Ponte Talvera	183	25	2018	14449	9405	0.00	0.00
			2019	14506	8998	0.40	-4.33
			2020	11022	6926	-23.72	-26.36
			2021	13387	7424	-7.35	-21.06
Via Bari	720	25	2018	8590	5592	0.00	0.00
			2019	8625	5350	0.40	-4.33
			2020	6553	4118	-23.72	-26.36
			2021	7960	4414	-7.34	-21.05
Via Bhler	739	55	2018	17418	8457	0.00	0.00
			2019	17487	8058	0.40	-4.72
			2020	13286	6186	-23.72	-26.85
			2021	16139	6755	-7.34	-20.13

Continua nella prossima pagina

Continua dalla pagina precedente

Strada	Lung. [m]	Velocità [km/h]	Anno	TGM [veh/d]	E-NO _x [g/km/d]	Δ TGM [%]	Δ E-NO _x [%]
Via Buoizzi	1344	44	2018	10760	5591	0.00	0.00
			2019	10803	5336	0.40	-4.56
			2020	8208	4097	-23.72	-26.71
			2021	9970	4449	-7.34	-20.42
Via Cadorna	921	25	2018	7486	4872	0.00	0.00
			2019	7515	4661	0.40	-4.33
			2020	5711	3588	-23.71	-26.35
			2021	6936	3847	-7.34	-21.05
Via Cagliari	289	25	2018	10160	6613	0.00	0.00
			2019	10201	6327	0.41	-4.32
			2020	7750	4870	-23.71	-26.36
			2021	9414	5221	-7.34	-21.05
Via Castel Firmiano	776	55	2018	20782	10091	0.00	0.00
			2019	20980	9668	0.95	-4.19
			2020	15785	7349	-24.04	-27.17
			2021	18703	7828	-10.01	-22.43
Via Claudia Augusta	1650	38	2018	12133	6612	0.00	0.00
			2019	12181	6315	0.40	-4.49
			2020	9255	4851	-23.72	-26.63
			2021	11242	5252	-7.34	-20.57
Via Dante	291	25	2018	2256	1468	0.00	0.00
			2019	2265	1405	0.41	-4.32
			2020	1721	1081	-23.73	-26.37
			2021	2090	1159	-7.36	-21.07
Via Diaz	185	25	2018	11363	7396	0.00	0.00
			2019	11408	7076	0.40	-4.33
			2020	8668	5446	-23.72	-26.36
			2021	10528	5839	-7.35	-21.06
Via Firenze	347	40	2018	6290	3384	0.00	0.00
			2019	6315	3232	0.40	-4.50
			2020	4798	2482	-23.71	-26.64
			2021	5828	2689	-7.34	-20.53
Via Galvani	1271	44	2018	13482	7004	0.00	0.00
			2019	13536	6686	0.40	-4.55
			2020	10284	5134	-23.72	-26.71
			2021	12492	5574	-7.34	-20.42

Continua nella prossima pagina

Continua dalla pagina precedente

Strada	Lung. [m]	Velocità [km/h]	Anno	TGM [veh/d]	E-NO _x [g/km/d]	Δ TGM [%]	Δ E-NO _x [%]
Via Garibaldi	298	44	2018	12449	6468	0.00	0.00
			2019	12498	6173	0.40	-4.56
			2020	9496	4740	-23.72	-26.71
			2021	11535	5147	-7.34	-20.42
Via Lancia	842	44	2018	14240	7398	0.00	0.00
			2019	14297	7061	0.40	-4.55
			2020	10862	5422	-23.72	-26.71
			2021	13195	5888	-7.34	-20.42
Via Macello	1350	44	2018	12335	6409	0.00	0.00
			2019	12384	6117	0.40	-4.55
			2020	9410	4697	-23.72	-26.71
			2021	11429	5100	-7.34	-20.42
Via Marconi	207	44	2018	16437	8540	0.00	0.00
			2019	16502	8150	0.40	-4.56
			2020	12539	6259	-23.71	-26.70
			2021	15229	6796	-7.34	-20.42
Via Maso Della Pieve	2066	38	2018	14845	8146	0.00	0.00
			2019	14905	7781	0.40	-4.48
			2020	11324	5978	-23.72	-26.62
			2021	13755	6468	-7.34	-20.59
Via Mattei	660	48	2018	7218	3642	0.00	0.00
			2019	7247	3474	0.40	-4.61
			2020	5506	2667	-23.72	-26.76
			2021	6688	2902	-7.35	-20.31
Via Merano	662	36	2018	18816	10547	0.00	0.00
			2019	18892	10078	0.40	-4.45
			2020	14353	7743	-23.72	-26.58
			2021	17434	8368	-7.35	-20.66
Via Nusser	869	44	2018	13207	6862	0.00	0.00
			2019	13260	6549	0.40	-4.56
			2020	10074	5029	-23.72	-26.71
			2021	12237	5461	-7.34	-20.42
Via Oltradige	2166	55	2018	15365	7460	0.00	0.00
			2019	15426	7108	0.40	-4.71
			2020	11721	5457	-23.72	-26.85
			2021	14236	5959	-7.34	-20.13

Continua nella prossima pagina

Continua dalla pagina precedente

Strada	Lung. [m]	Velocità [km/h]	Anno	TGM [veh/d]	E-NO _x [g/km/d]	Δ TGM [%]	Δ E-NO _x [%]
Via Pacinotti	625	44	2018	17074	8871	0.00	0.00
			2019	17143	8467	0.40	-4.55
			2020	13025	6502	-23.72	-26.71
			2021	15820	7059	-7.34	-20.42
Via Palermo	1163	25	2018	12222	7955	0.00	0.00
			2019	12270	7611	0.40	-4.33
			2020	9323	5858	-23.72	-26.36
			2021	11324	6280	-7.34	-21.06
Via Piani di Bolzano	378	44	2018	13520	7025	0.00	0.00
			2019	13575	6705	0.40	-4.55
			2020	10314	5149	-23.71	-26.70
			2021	12528	5590	-7.34	-20.42
Via Rencio	2431	44	2018	10199	5299	0.00	0.00
			2019	10240	5058	0.40	-4.55
			2020	7780	3884	-23.71	-26.70
			2021	9450	4217	-7.34	-20.42
Via Renon	585	44	2018	11650	6053	0.00	0.00
			2019	11697	5777	0.40	-4.56
			2020	8887	4436	-23.72	-26.71
			2021	10795	4817	-7.34	-20.42
Via Resia	1617	37	2018	12623	6944	0.00	0.00
			2019	12673	6632	0.40	-4.48
			2020	9629	5096	-23.71	-26.61
			2021	11696	5513	-7.34	-20.60
Via Roma	1131	29	2018	19192	12147	0.00	0.00
			2019	19269	11619	0.40	-4.35
			2020	14641	8940	-23.71	-26.40
			2021	17783	9598	-7.34	-20.99
Via Rosmini	330	25	2018	4511	2937	0.00	0.00
			2019	4530	2810	0.41	-4.32
			2020	3441	2162	-23.73	-26.37
			2021	4181	2318	-7.33	-21.05
Via San Maurizio	937	41	2018	14083	7507	0.00	0.00
			2019	14139	7168	0.40	-4.52
			2020	10742	5505	-23.72	-26.67
			2021	13049	5968	-7.34	-20.51

Continua nella prossima pagina

Continua dalla pagina precedente

Strada	Lung. [m]	Velocità [km/h]	Anno	TGM [veh/d]	E-NO _x [g/km/d]	Δ TGM [%]	Δ E-NO _x [%]
Via San Quirino	671	25	2018	7368	4796	0.00	0.00
			2019	7398	4588	0.41	-4.32
			2020	5620	3531	-23.72	-26.36
			2021	6827	3786	-7.34	-21.05
Via Simens	475	44	2018	28310	14708	0.00	0.00
			2019	28423	14038	0.40	-4.56
			2020	21596	10780	-23.72	-26.71
			2021	26230	11705	-7.34	-20.42
Via Torino	816	25	2018	8434	5490	0.00	0.00
			2019	8467	5252	0.40	-4.33
			2020	6433	4042	-23.72	-26.36
			2021	7814	4334	-7.34	-21.06
Via Torricelli	695	44	2018	21970	11414	0.00	0.00
			2019	22058	10894	0.40	-4.56
			2020	16759	8366	-23.72	-26.71
			2021	20357	9084	-7.34	-20.42
Via Veneto	850	41	2018	14083	7507	0.00	0.00
			2019	14139	7168	0.40	-4.52
			2020	10742	5505	-23.72	-26.67
			2021	13049	5968	-7.34	-20.51
Via Venezia	529	25	2018	6943	4519	0.00	0.00
			2019	6971	4324	0.40	-4.33
			2020	5296	3328	-23.72	-26.36
			2021	6433	3568	-7.34	-21.06
Via Volta	1198	44	2018	7788	4046	0.00	0.00
			2019	7819	3862	0.40	-4.55
			2020	5941	2966	-23.71	-26.70
			2021	7216	3220	-7.35	-20.42
Viale Druso	3003	32	2018	16209	9370	0.00	0.00
			2019	16274	8956	0.40	-4.42
			2020	12364	6884	-23.72	-26.53
			2021	15018	7426	-7.34	-20.75
Viale Trieste	592	25	2018	5701	3711	0.00	0.00
			2019	5724	3550	0.40	-4.33
			2020	4349	2733	-23.71	-26.36
			2021	5282	2930	-7.35	-21.06

5. Risultati: Comune di Merano

5.1 Analisi dei dati di qualità dell'aria

Le concentrazioni medie mensili e medie annue di NO₂ ottenute elaborando i dati misurati dalla rete di monitoraggio attiva a Merano (Sez. 1.2 e Tab. 1) permettono di valutare l'evoluzione temporale di questo inquinante nel periodo 2018-2021.

L'andamento delle concentrazioni medie mensili misurate presso la stazione di qualità dell'aria ME1 sono riportate in Fig. 38. Come atteso, i dati evidenziano una marcata ciclicità stagionale, in cui le concentrazioni assumono valori maggiori nei mesi invernali (aree azzurre) ed inferiori nei mesi estivi (aree gialle). Le concentrazioni invernali possono essere interpretate come l'effetto combinato di:

1. aumento del regime emissivo connesso ad impianti di riscaldamento;
2. condizioni meteorologiche avverse.

Infatti, i fenomeni meteorologici alla scala locale influenzano la dinamica dei processi connessi al trasporto e alla dispersione degli inquinanti atmosferici. Essi sono responsabili del ristagno degli inquinanti in prossimità del suolo, soprattutto quando i venti sono deboli e la colonna atmosferica è stabile o molto stabile, come tipicamente accade nei mesi invernali. Viceversa, la rimozione e la diluizione degli inquinanti diventa più efficiente quando i venti si intensificano e l'instabilità della colonna atmosferica consente lo sviluppo di moti convettivi, come tipicamente accade nei mesi estivi. Le minori concentrazioni osservate in estate possono quindi essere associate sia all'assenza delle emissioni da impianti di riscaldamento, sia alla maggiore capacità dell'atmosfera nel diluire le sostanze inquinanti.

In Tab. 30 si riportano i valori numerici delle concentrazioni medie annue rappresentate in Fig. 39. Le medie d'insieme, relative a tutti i punti della rete di monitoraggio di Merano (stazione di qualità dell'aria e campionatori passivi FERM), restituiscono concentrazioni che diminuiscono dal 2018 al 2020 mentre tornano ad aumentare nel 2021. Le serie riportate in Fig. 39 mostrano concentrazioni medie annue che:

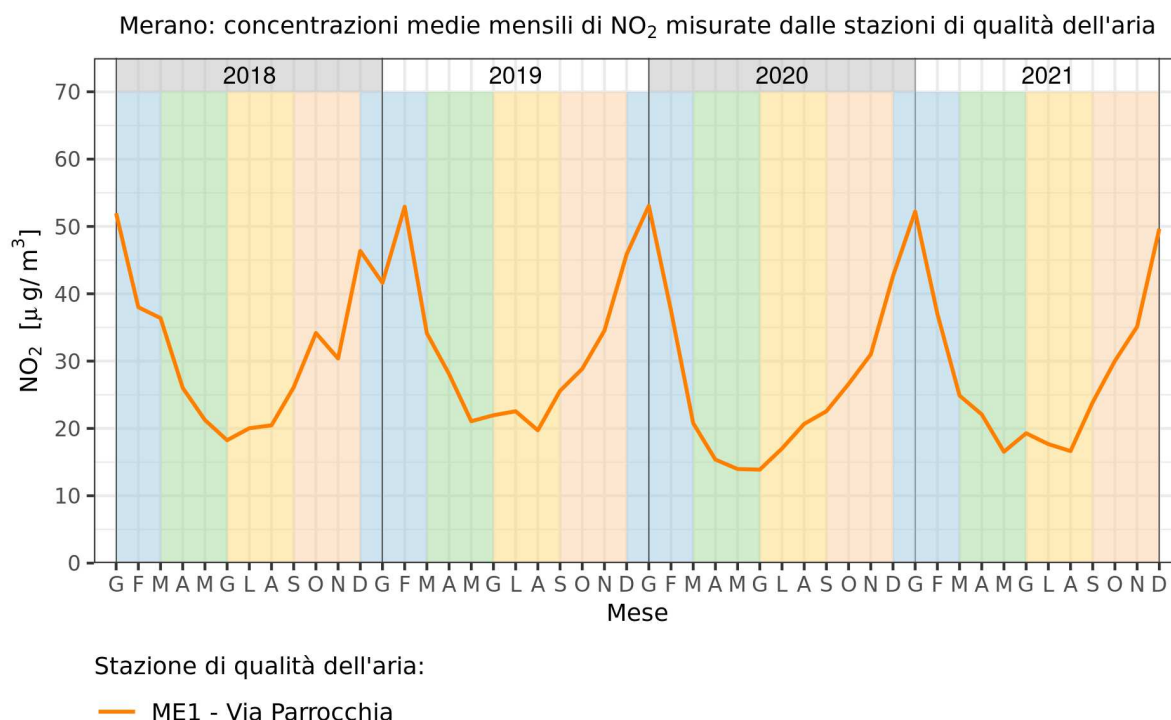


Figura 38: Evoluzione delle concentrazioni medie mensili di NO₂ misurate a Merano dalla centralina di qualità dell'aria nel periodo 2018-2021. Le bande colorate sullo sfondo identificano il ciclo stagionale: inverno (dicembre-febbraio, azzurro), primavera (marzo-maggio, verde), estate (giugno-agosto, giallo), autunno (settembre-novembre, arancio).

- diminuiscono tra 2018 e 2019 in tutti i punti di misura ad eccezione della serie misurata presso la stazioni di qualità dell'aria ME1 dove le concentrazioni restano costanti;
- diminuiscono significativamente nel 2020 a seguito degli effetti dell'implementazione delle restrizioni sulla circolazione per il contenimento della pandemia COVID-19;
- crescono nel 2021.

L'aumento delle concentrazioni osservate nel 2021 rispetto ai valori raggiunti nel 2020 è interpretabile come un effetto della ripresa dei flussi veicolari dopo l'allentamento delle restrizioni sui trasporti, causa pandemia COVID-19, ancora in vigore nella prima metà dell'anno. Questa serie mostra infatti una diminuzione delle concentrazioni, che potrebbe indicare un trend di decrescita e quindi essere sintomo di un miglioramento della qualità dell'aria.

In Tab. 30 si riportano inoltre le variazioni percentuali annue di NO₂ calcolate rispetto ai valori osservati nel 2018 (anno di baseline dello studio). I valori ottenuti mostrano che a Merano è in atto progressivo miglioramento della qualità dell'aria

Tabella 30: Concentrazioni medie annue di NO₂ misurate dalla stazione di qualità dell'aria (AQS) e dai campionatori passivi (FERM) operativi a Merano nel periodo 2018-2021.

ID	Sensore	Collocazione	NO ₂ [µg/m ³]			
			2018	2019	2020	2021
ME1	AQS	Via Trogmann	31.3	31.3	26.0	29
1ME	FERM	Via delle Palade 3	40	36	26	31
2ME	FERM	Via Roma 27	36	-	-	-
3ME	FERM	Via Roma 10	47	40	34	35
4ME	FERM	Via delle Corse 3	45	41	34	38
5ME	FERM	Via Rezia 12	53	51	42	43
6ME	FERM	Via Roma 260	-	34	30	31
7ME	FERM	Via Laurin 9	-	36	29	30
Media d'insieme			42.1	38.5	31.6	33.4
Deviazione standard			7.9	6.4	5.7	5.7
Errore standard			3.2	2.4	2.1	2.3
Variazione percentuale rispetto il 2018				-8.6%	-24.9%	-20.7%

(in termini di ossidi di azoto), già presente nel 2019 ed enfatizzato nel 2020 come conseguenza delle restrizioni sulla circolazione causati dalla pandemia COVID-19.

5.2 Analisi dei dati di traffico

5.2.1 Traffico all'interno della rete stradale della città

La caratterizzazione dei flussi veicolari all'interno del tessuto urbano di Merano è stata possibile solo per il periodo 2020-2021 attraverso l'analisi dei dati forniti dalle stazioni contatraffico comunali (Sez. 1.3.1) e dai sensori bluetooth (Sez. 1.3.2). Nelle tabelle di consistenza dei dei TGM mensili (Appendice A, Figure 60-63) si osserva inoltre che per l'anno 2021 sono disponibili dati attendibili di traffico dalla rete di stazioni comunali, ma è assente il numero di giorni per ciascun mese di cui si ha la misura.

Gli andamenti mensili del TGM mostrati in Fig. 40 ed in Fig. 41 sono stati ottenuti dall'analisi dei dati misurati rispettivamente dalla rete di monitoraggio costituita dalle stazioni contatraffico comunali e dalla rete di sensori bluetooth. Da un primo confronto degli andamenti riportati nelle due figure si osserva la congruenza dei valori di TGM mensile ottenuti dall'analisi delle catture bluetooth con quelli osservati dalle stazioni contatraffico comunali. Ciò avvalora la correttezza del coefficiente di conversione catture-TGM utilizzato. Tali distribuzioni permettono di:

1. Osservare l'effetto delle restrizioni connesse alla pandemia COVID-19 sulla circolazione. Infatti, tra marzo e aprile 2020 (*lockdown*) e da novembre 2020

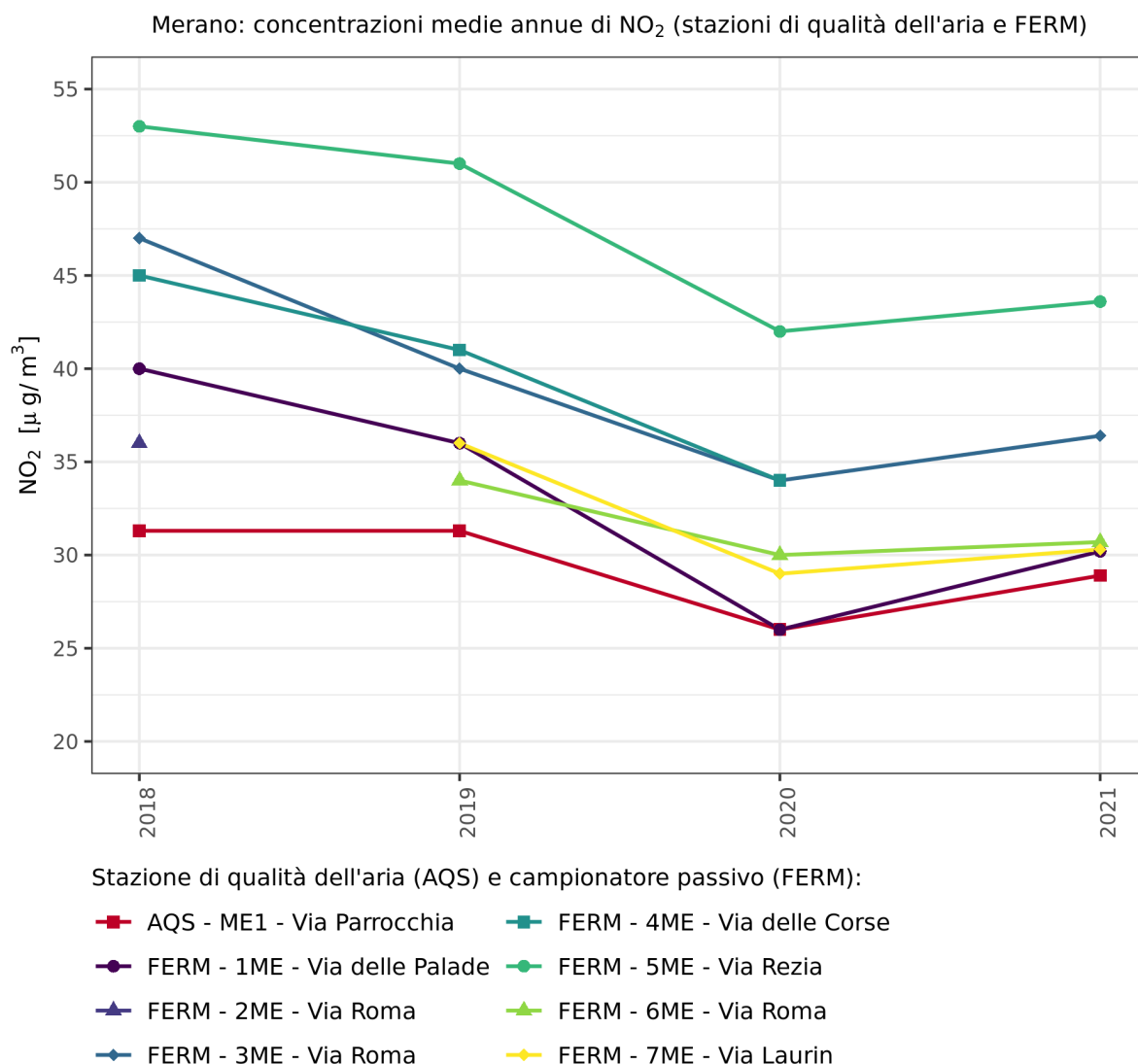


Figura 39: Evoluzione delle concentrazioni medie annue di NO₂ misurate a Merano dalle centraline di qualità dell'aria (AQS) e dai campionatori passivi (FERM) nel periodo 2018-2021.

(restrizioni locali sulla base dei contagi) la limitazione della circolazione dei veicoli ha determinato una brusca riduzione dei valori di TGM. Viceversa, nei mesi estivi (periodo di “convivenza” con il virus) i valori di TGM tornano a crescere grazie anche alla ripresa di alcune attività turistiche.

2. Caratterizzare la viabilità in termini di traffico di transito e di traffico locale. Le strade caratterizzate da traffico di transito mostrano i maggiori valori di TGM e sono riconducibili alle strade della città a maggiore scorrimento: Via Roma, Via delle Palade, Via Zuegg, Via IV Novembre, Via Scena, Via Piave, Via Rezia, Via Cavour. Le restanti strade (e.g. Via Petrarca, Via Manzoni, Via Ivigna)

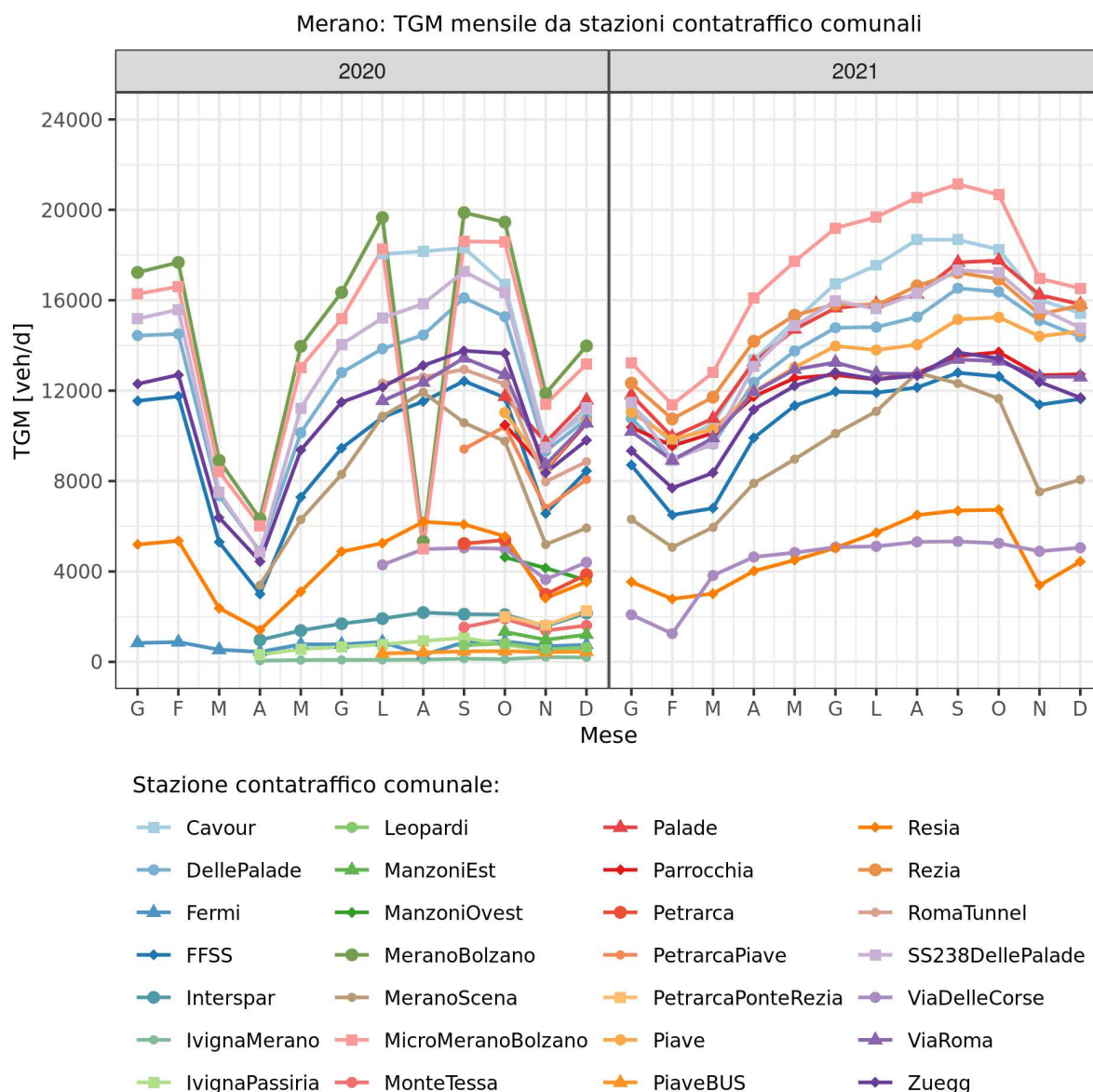


Figura 40: Evoluzione mensile del TGM durante l'anno 2020 misurato dalle stazioni contatraffico gestite dal Comune di Merano.

sono invece caratterizzate da valori di TGM significativamente inferiori, non mostrano particolari variazioni connesse alle restrizioni COVID-19 e risultano quindi essere rappresentative di una tipologia di traffico urbano/locale.

Le stazioni contatraffico MeranoBolzano e MicroMeranoBolzano sono collocate lungo il tratto di Via Roma a sud della città e mostrano una significativa riduzione del TGM nel mese di agosto 2020 che è compatibile con la parziale chiusura della sede stradale per consentire l'esecuzione di lavori.

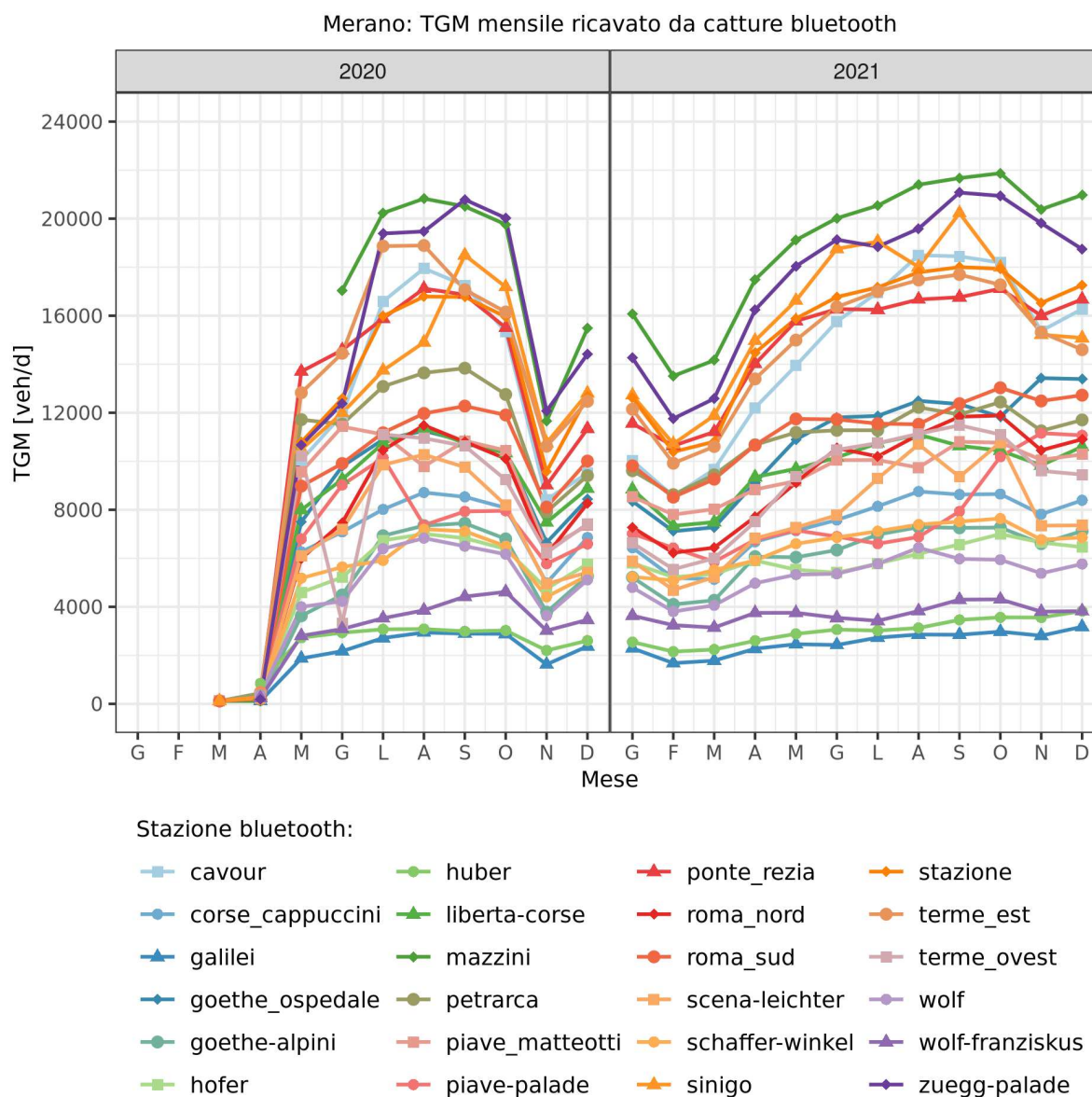


Figura 41: Evoluzione mensile del TGM totale ottenuto elaborando le catture dei sensori bluetooth dislocati a Merano nel periodo 2020-2021. Come riportato in Sez. 2.1, i valori di TGM sono stati ottenuti moltiplicando per 5 le catture bluetooth giornaliere medie mensili.

5.2.2 Traffico lungo strade extraurbane di accesso alla città

L'elaborazione dei transiti misurati dalle stazioni contatraffico provinciali consente di valutare i flussi veicolari che insistono sulla rete di strade extraurbane in ingresso alla città di Merano attraverso:

- l'evoluzione del TGM mensile totale e per macro-classi di veicolo (Fig. 42);
- l'evoluzione percentuale del TGM annuo totale rispetto al 2018, che definisce

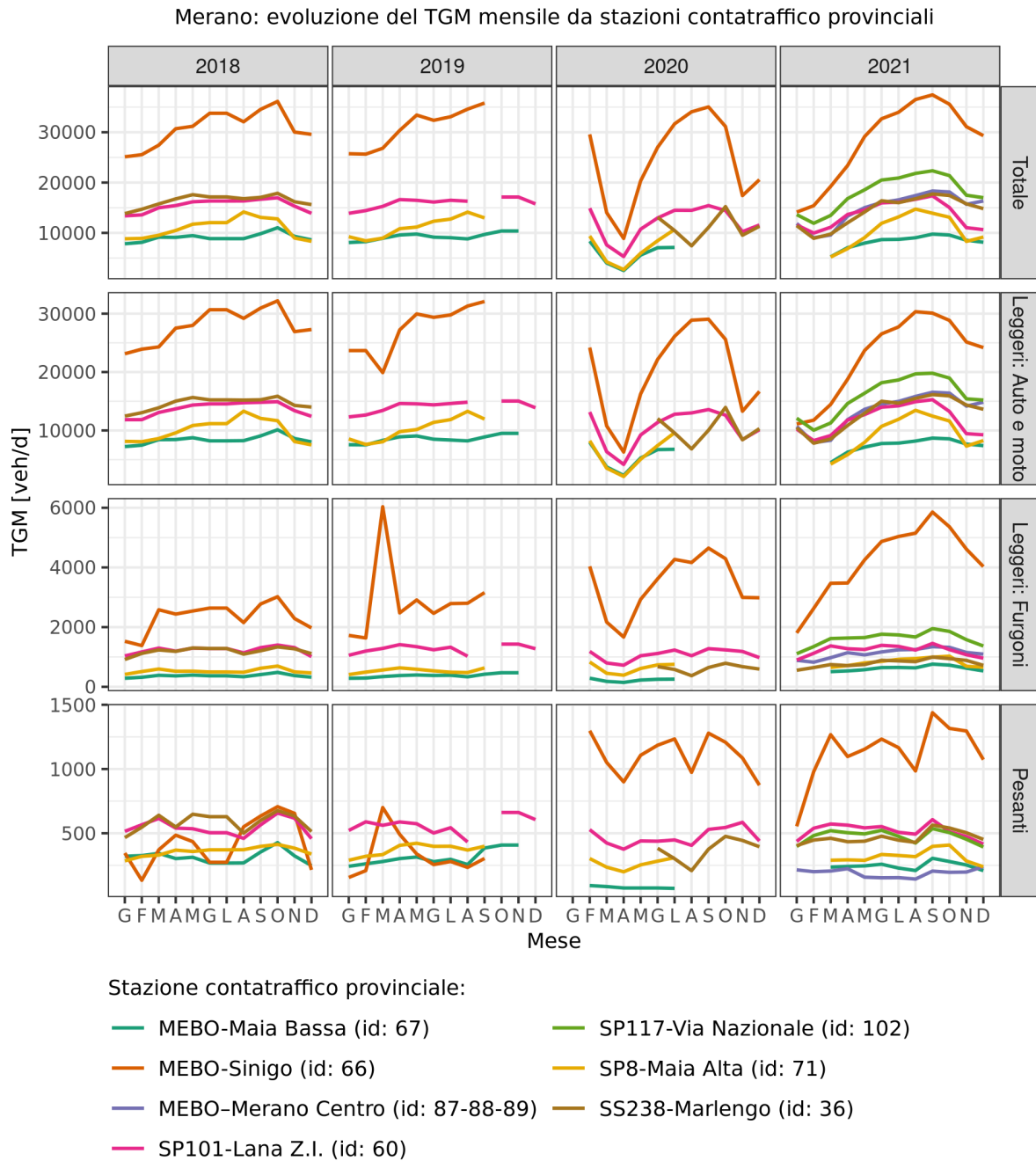


Figura 42: Evoluzione mensile del TGM misurato dalle stazioni contatraffico provinciali nel periodo 2018-2021 lungo le extraurbane di accesso alla città di Merano. Si riportano i valori mensili delle stazioni per cui si ha a disposizione almeno 15 giorni di misurazioni.

la baseline dello studio (Fig. 43);

- la composizione annua del parco circolante (Fig. 44).

L'evoluzione mensile del TGM nel periodo 2018-2021 misurata dalle stazioni conta-

Tabella 31: TGM annui [veh/d] misurati dalle stazioni contatraffico provinciali dislocate a Merano. Per ciascun anno si riporta il numero (num) di giorni disponibile per le analisi.

ID	Collocazione	2018	2019	2020	2021
36	SS238-Marlengo	16260	-	11217	14298
60	SP101-Lana Z.I.	15438	15759	12094	13677
66	MEBO-Sinigo	30677	30907	24625	28714
67	MEBO-Maia Bassa	9051	9159	5722	8184
71	SP8-Maia Alta	10934	11219	6819	10466
87-88-89	MEBO-Merano Centro	-	-	-	14837
102	Sp117-Via Nazionale	-	-	-	18022

traffico provinciali (Tab. 7) è riportata in Fig. 42. In figura si mostra sia l'andamento mensile del TGM totale (pannelli superiori), sia l'andamento del TGM per tipologia di veicoli accorpata nelle macro-classi: motocicli e autovetture, furgoni e mezzi pesanti. Nonostante una significativa lacuna di dati che ha interessato la seconda metà del 2019 e gennaio 2020, le distribuzioni ottenute mostrano che la MEBO (stazione MEBO-Sinigo) è, come atteso, la strada extraurbana caratterizzata dai valori maggiori di TGM. Risultano quindi caratterizzate da valori di TGM sostenuto anche tutte quelle strade che connettono la rete viaria di Merano con la MEBO e che sono monitorate dalle stazioni contatraffico MEBO-Merano Centro, SP101-Lana Z.I., SP117-Via Nazionale e SS238-Marlengo. I transiti misurati dalle stazioni MEBO-Maia Bassa e SP8-Maia Alta sono invece inferiori ma con TGM totali dell'ordine dei 10000 veh/d.

Le distribuzioni mensili riportate in Fig. 42 permettono anche di osservare gli effetti delle restrizioni per il contenimento della pandemia COVID-19 che determinano la riduzione dei transiti in corrispondenza dei periodi di *lockdown* (marzo-aprile 2020) o di parziale chiusura delle Province (gennaio-febbraio 2021).

In Tab. 31 si riportano i valori annui di TGM misurati dalle stazioni contatraffico provinciali dal 2018 al 2021, mentre il grafico riportato in Fig. 43 mostra l'evoluzione percentuale del TGM rispetto ai valori osservati nel 2018 (*baseline*) per le sole stazioni contatraffico di cui si hanno osservazioni sull'intero periodo investigato. L'analisi degli andamenti riportati in Fig. 43 consente di osservare che:

1. In condizioni pre-pandemiche (2018 e 2019) i valori di TGM sono pressoché identici lungo la MEBO, mentre tendono ad aumentare nel 2019 lungo le restanti strade extra-urbane. Tale comportamento può essere principalmente ricondotto all'incompletezza delle serie rilevate soprattutto presso le stazioni contatraffico SP101-Lana Z.I. e SP8-Maia Alta.
2. Le restrizioni connesse al contenimento della pandemia COVID-19 modificano il regime del traffico lungo tutte le strade extraurbane. Lungo MEBO (e quindi anche sullo svincolo in cui è installata la stazione SP101-Lana Z.I.) il TGM del

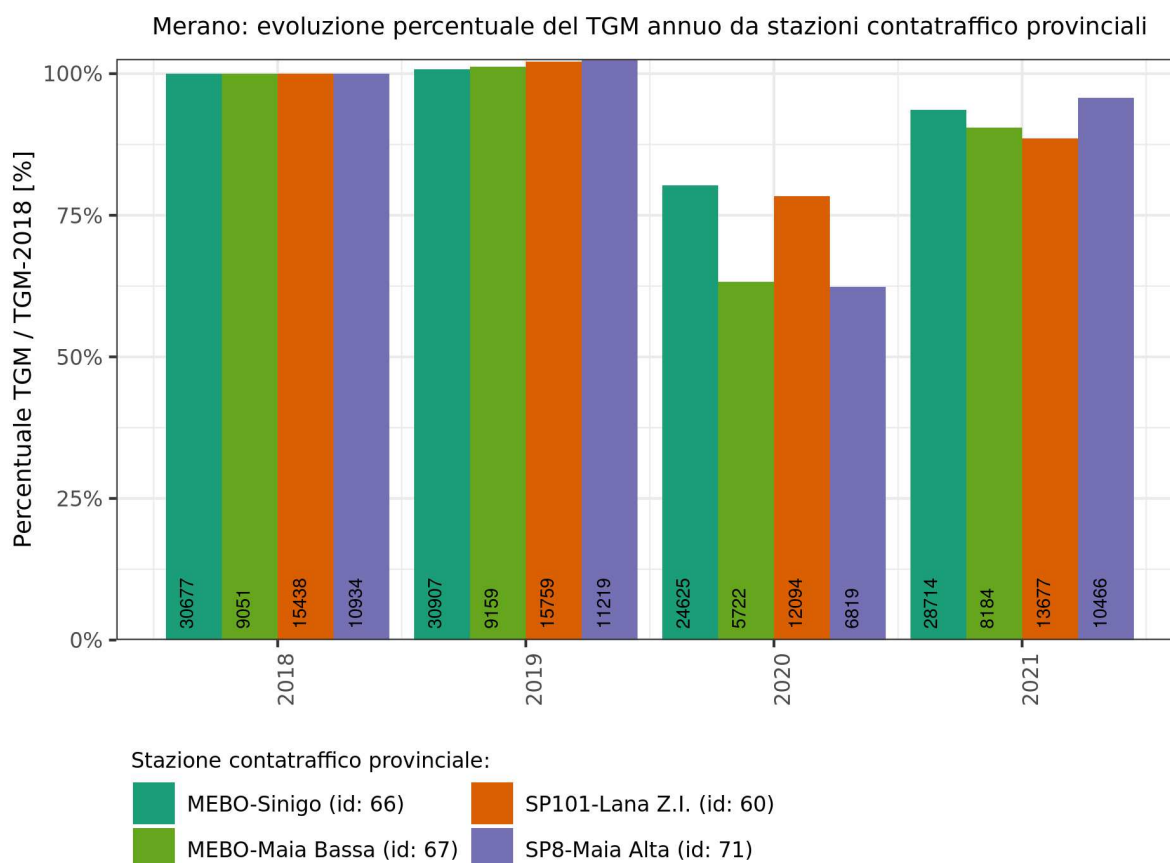


Figura 43: Evoluzione annuale del TGM totale misurato dalle stazioni contatraffico provinciali nel periodo 2018-2021 distinguendo tra strade extraurbane di accesso alla città di Merano e MEBO.

2020 diminuisce del 25% rispetto ai valori osservati nel 2018, mentre torna a crescere nel 2021 attestandosi attorno all'85-90% del TGM osservato nel 2018. Lungo le strade extra-urbane con TGM inferiore (MEBO-Maia Bassa e SP8-Maia Alta), invece, gli effetti legati alla pandemia sono ancora più evidenti ma le stime ottenute sono più incerte, soprattutto per SP8-Maia Alta, a causa dei periodi estesi con mancanza di dati.

Infine, i grafici rappresentati in Fig. 44 permettono di valutare l'evoluzione dal 2018 al 2021 della composizione del traffico circolante lungo ciascuna strada extra-urbana considerata, nonché la presenza di comportamenti anomali. I valori in ordinata, e alla base degli istogrammi, rappresentano il contributo percentuale del TGM di ciascuna macro-classe rispetto al TGM complessivo (valore numerico alla base degli istogrammi in Fig. 43). Le distribuzioni riportate in Fig. 44 mostrano che:

1. Le autovetture sono la macro-classe di veicoli dominante e costituisce l'85-90% circa del TGM totale in tutti gli anni investigati, a meno del 2020, anno

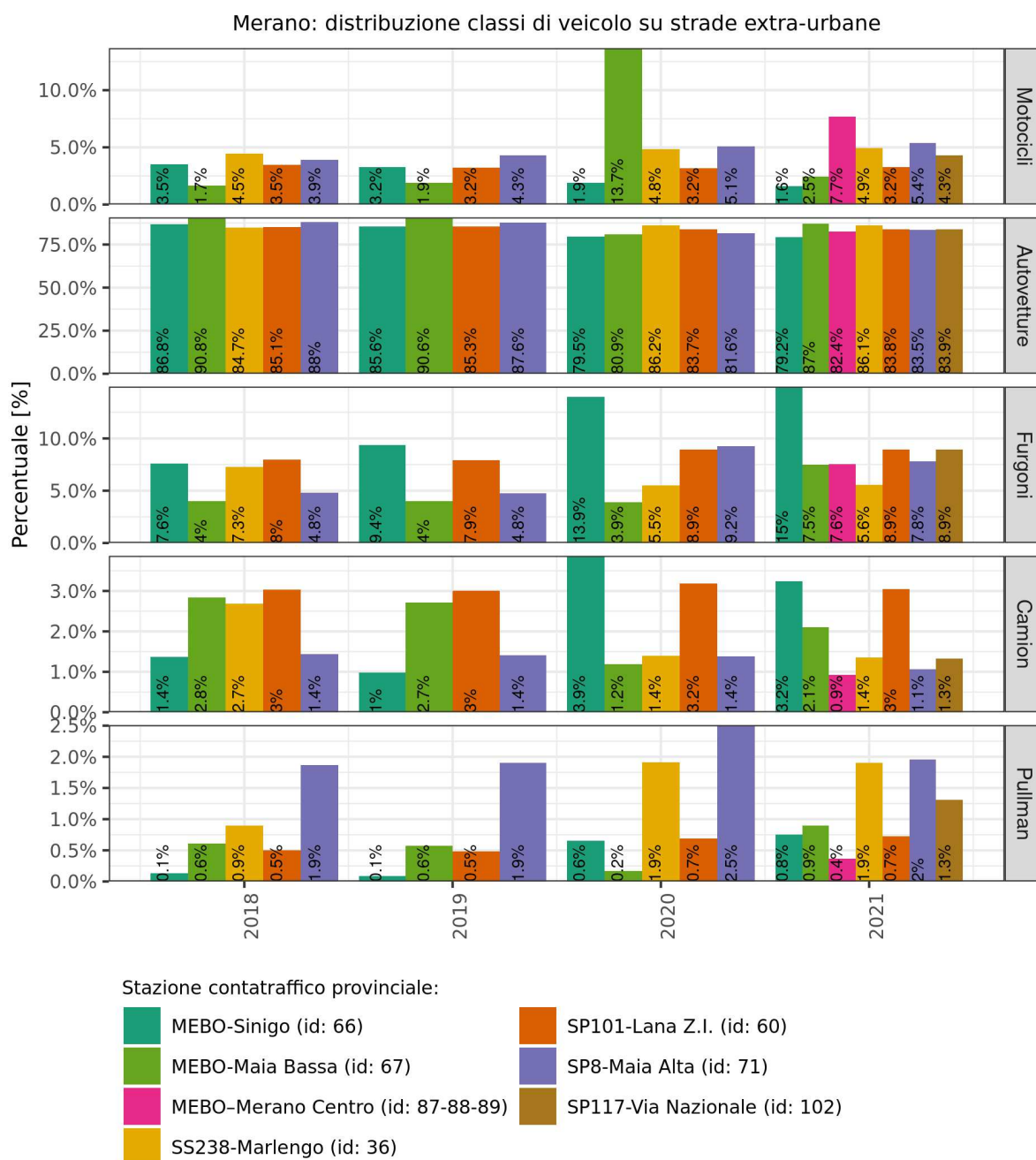


Figura 44: Distribuzione percentuale annua della composizione del traffico lungo ciascuna strada extra-urbana di accesso a Merano.

in cui a seguito della pandemia COVID-19 tale rapporto diminuisce attorno all'80%.

2. I motocicli costituiscono solo una piccola percentuale del TGM totale, che si attesta attorno al 5%. Il valore registrato nel 2020 dalla stazione MEBO-Maia

Tabella 32: Dati di traffico disponibili per aggiornare il grafo di Merano in corrispondenza di ciascun anno investigato.

Dati di traffico	Grafo stradale			
	2018	2019	2020	2021
Distribuzione del traffico da PUMS	X			
Stazioni contatraffico provinciali	X	X	X	X
Stazioni contatraffico comunali			X	X
Sensori bluetooth			X	X

Bassa e quello registrato nel 2021 dalla stazione MEBO–Merano Centro sono invece da ritenersi errati, in quanto poco realistici. Il lieve aumento dei motocicli tra 2020 e 2012 presso le stazioni SS238–Marlengo e SP8–Maia Alta potrebbero invece essere rappresentativi di una modifica nella modalità di spostamento delle persone all'interno della città.

- Relativamente alla distribuzione di furgoni, e mezzi pesanti (camion) in MEBO si osserva un brusco aumento dal 2020. Tale comportamento è invece legato alla modifica/sostituzione del dispositivo di conteggio del traffico in corrispondenza della stazione MEBO–Sinigo. L'incertezza associata all'utilizzo di questo dato nelle successive elaborazioni previene l'utilizzo di questa stazione per la caratterizzazione del flusso veicolare lungo la MEBO. Come dettagliato in Sez. 4.3, nel presente studio si ipotizza che la spira MEBO–Sinigo sia effettivamente in grado di cogliere la totalità dei transiti, mentre per la distribuzione percentuale delle classi veicolari si farà riferimento alla stazione contatraffico MEBO–Frangarto.

5.2.3 Aggiornamento del grafo stradale

Al fine di poter procedere al calcolo delle emissioni veicolari, per ciascun arco del grafo stradale di Merano (1) e per ciascun anno dal 2018 al 2021 è necessario assegnare un valore medio annuo del TGM, espresso come numero di veicoli transitati in un giorno. Come precedentemente illustrato, per quanto riguarda la città di Merano i dati disponibili sono quelli riassunti in Tab. 32.

I flussi di transito della MEBO sono stati imposti pari ai valori medi annui misurati dalla stazione contatraffico provinciale di riferimento, MEBO–Sinigo (id 66). Similmente, il dato misurato dalla stazione contatraffico provinciale SP101–Lana Z.I. (id 60) è stato utilizzato per caratterizzare i transiti annui lungo l'arco di competenza in quanto l'informazione disponibile risulta essere sufficientemente affidabile e continua nel tempo.

Le analisi approfondite effettuate sui dati di traffico all'interno della rete stradale della città e riportate in Sez. 5.2.1 hanno permesso di caratterizzare il traffico delle diverse strade, in termini di traffico di attraversamento o locale e in termini di tipologia di veicoli transitanti. Il fatto che si tratti di una base dati discontinua dal punto di vista temporale, incompleta e in parte poco affidabile ne ha purtroppo impedito l'utilizzo diretto per l'aggiornamento dei valori di TGM lungo gli archi del grafo stradale di Merano. Per quanto riguarda infatti le stazioni contatraffico comunali, non essendo noto il numero di dati validi per ciascun mese del 2021 e non riuscendo a valutare correttamente l'affidabilità del dato restituito da ciascuna stazione, si è deciso di non utilizzare questi dati per l'aggiornamento del grafo. Per le valutazioni delle emissioni nei prossimi anni però queste spire costituiscono una risorsa importante, dal momento che forniscono un'informazione spazializzata e dettagliata lungo il reticolo stradale. Anche i transiti misurati dalla rete di sensori bluetooth non possono essere utilizzati efficacemente per la valutazione dell'evoluzione del traffico tra 2020 e 2021 a causa della mancanza di dati proprio nei primi mesi del 2020, caratterizzati dalle maggiori limitazioni del traffico a seguito della pandemia da COVID-19.

Per questa ragione, per poter stimare correttamente il TGM è stato necessario utilizzare, analogamente a quanto fatto per Bolzano, un diverso approccio, che fosse affidabile e ripetibile in tutti gli anni considerati. Il metodo implementato ha previsto di utilizzare:

- per il 2018 il valore di TGM ricavato dal PUT;
- per gli anni successivi (dal 2019 al 2021), i dati di traffico lungo il grafo di Merano sono stati aggiornati sulla base del trend evolutivo calcolato utilizzando l'andamento del traffico misurato dalle sole stazioni contatraffico provinciali, che pur essendo posizionate su strade di accesso alla città, restituiscono osservazioni più affidabili e complete (Si veda la Sez. 5.2.2).

Il trend di evoluzione del TGM è stato valutato annualmente rispetto alla baseline del 2018, come segue:

1. per ciascuna stazione contatraffico sono stati considerati rappresentativi i mesi con almeno 25 giorni di dati validi;
2. per ciascun mese dell'anno si è calcolata la percentuale media di evoluzione del TGM ottenuta considerando solo le spire con dati validi;
3. si è calcolata la media annua del trend evolutivo.

Tabella 33: Trend evolutivi del TGM rispetto alla baseline 2018 utilizzati per gli archi stradali della città di Merano (esclusa la MEBO)

Periodo temporale	Percentuale di evoluzione del TGM
2019-2018	+0.87%
2020-2018	-25.86%
2021-2018	-12.08%

Tabella 34: Distribuzione percentuale annua della composizione del traffico utilizzata per il calcolo delle emissioni nel comune di Merano

	2018	2019	2020	2021
MEBO				
Autovetture	82.7%	82.5%	82.5%	84.6%
Motocicli	2.6%	2.5%	3.8%	2.1%
Furgoni	10.0%	10.3%	9.1%	8.7%
Mezzi pesanti	4.4%	4.4%	3.8%	3.8%
Autobus	0.2%	0.2%	0.5%	0.6%
Rete urbana				
Autovetture	87.1%	87.9%	83.1%	85.1%
Motocicli	3.4%	3.1%	6.7%	4.0%
Furgoni	6.0%	5.6%	6.9%	7.4%
Mezzi pesanti	2.5%	2.4%	1.8%	1.9%
Autobus	1.0%	1.0%	1.3%	1.4%

Il risultato ottenuto è riportato in Tab. 33.

Successivamente si è proceduto a determinare la distribuzione percentuale annua della composizione del traffico lungo ciascuna strada.

L'aggiornamento della composizione del traffico lungo la MEBO è stato condotto utilizzando la distribuzione media annua rilevata dalla spira di Frangarto e non quella di Sinigo, usata invece per il TGM. Infatti, come osservato in Sez. 5.2.2, a seguito della sostituzione/modifica dei dispositivi di conteggio del traffico condotta nel 2020, la stazione di Sinigo restituisce dati di traffico con un significativo aumento di mezzi pesanti e furgoni, che invece non si osserva presso la stazione di Frangarto. Questo comportamento pare essere dovuto al cambio del sistema di classificazione dei veicoli. Per questa ragione si è deciso di utilizzare la distribuzione del traffico in macroclassi ottenuta dai dati di spira di Frangarto.

Per quanto riguarda il resto del reticolo urbano, l'aggiornamento delle distribuzioni di traffico è stato condotto utilizzando il medesimo approccio implementato per i valori di TGM, utilizzando la distribuzione ottenuta mediando i dati delle stazioni contatraffico della provincia. I risultati ottenuti sono riassunti in Tab. 34.

Al fine del calcolo emissivo, oltre ai valori di TGM, è necessario considerare anche

Tabella 35: Valori di velocità media per le diverse categorie di veicoli utilizzati per il calcolo delle emissioni della MEBO nel comune di Merano.

	Velocità [km/h ⁻¹]
	MEBO
Autovetture	115.1
Motocicli	114.0
Furgoni	112.3
Mezzi pesanti	81.8
Autobus	84.0

i valori di velocità media del flusso veicolare. Nel presente studio non si è ipotizzata alcuna variazione annua delle velocità dei transiti. In questo modo ogni variazione del regime emissivo è direttamente riconducibile alla variazione del numero di transiti o alla caratterizzazione del parco circolante. Per i transiti che insistono sulla rete urbana della città sono stati utilizzati i valori di velocità media già presenti all'interno del grafo stradale messo a disposizione e utilizzati in fase di redazione del PUT. In particolare, non sono state effettuate distinzioni sulla velocità del traffico leggero e del traffico pesante, ma si è considerato un flusso con velocità omogenea. Infatti, il regime di flusso in area urbana è pressoché indipendente dalla tipologia di veicolo in quanto la velocità del flusso è fortemente condizionata dalla topologia del reticolo stradale e dalla morfologia delle strade. Diverso è il discorso per i transiti che interessano la MEBO, dove è stato adottato un valore di velocità diverso per ciascuna macrocategoria di veicoli. Le velocità sono state ricavate sulla base dei dati medi rilevati dalla spira contatraffico di Sinigo. In particolare, per quest'ultima sono stati utilizzati i dati di velocità medi annui relativi all'anno 2021, ritenuti affidabili, compatibilmente con i limiti vigenti sul tratto di MEBO considerato. I valori utilizzati sono riassunti in Tabella 35.

5.3 Analisi degli scenari emissivi

L'implementazione dei criteri descritti ha permesso di distribuire sul grafo stradale di Merano i valori di TGM annuo dal 2018 al 2021 e conseguentemente calcolare delle emissioni di NO_x da traffico veicolare attraverso i fattori di emissione (Sez. 2.4) stimati sulla base dei parchi circolanti (Sez. 2.3). A titolo di esempio, le mappe riportate in Fig. 45 ed in Fig. 46 mostrano rispettivamente le distribuzioni di TGM e di emissioni di NO_x ottenute per l'anno 2018 sul grafo stradale di Merano. Nelle mappe il colore identifica la tipologia di strada mentre lo spessore del tratto è proporzionale al valore delle variabili mappate. Per maggiori dettagli si rimanda alle mappe nelle Tavole allegate e alla Tab. 39 che riporta, per ciascuna strada del grafo stradale, la

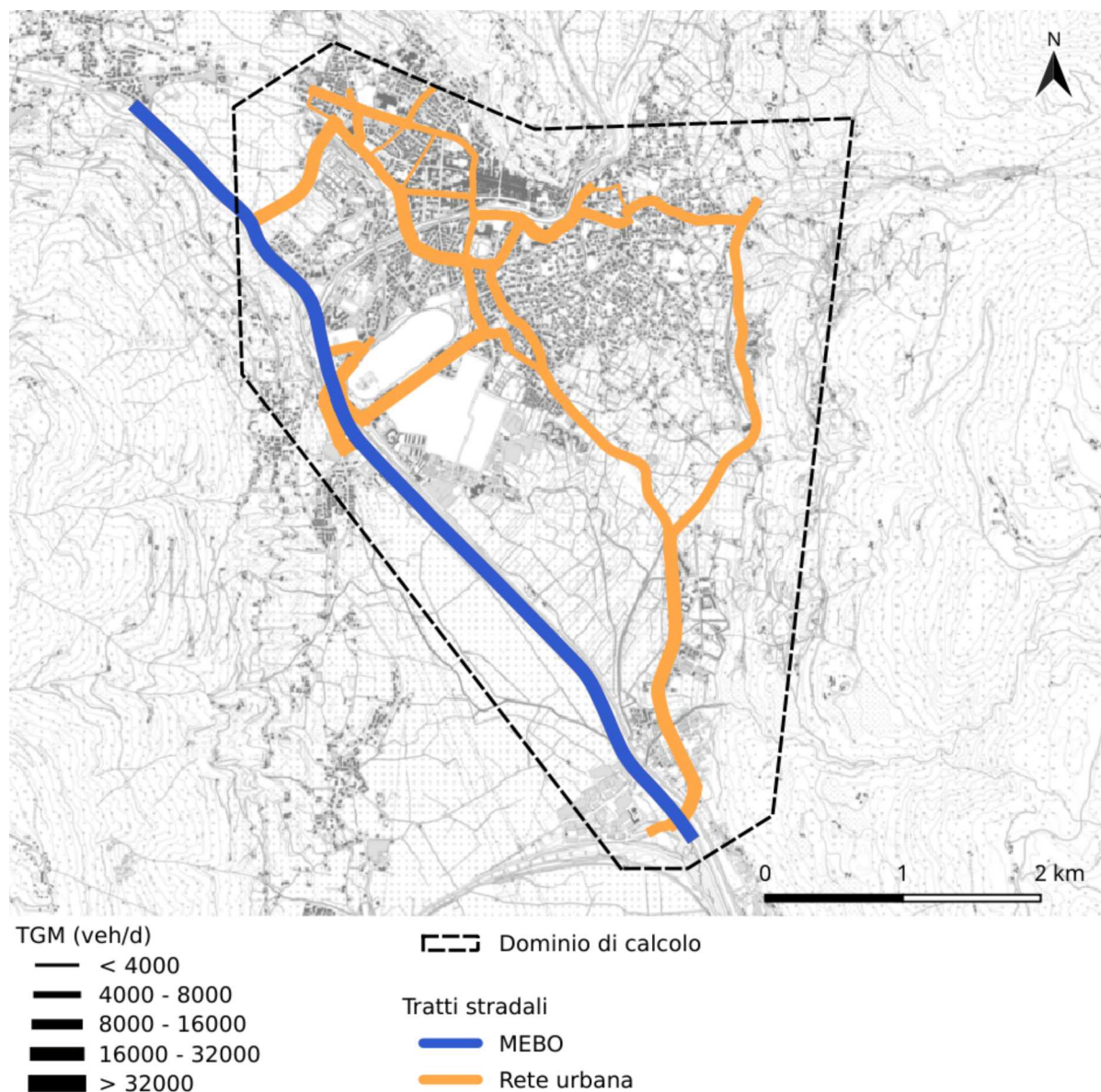


Figura 45: Distribuzione del TGM relativo all'anno 2018 all'interno del grafo stradale di Merano. Per ulteriori dettagli e la mappatura del TGM per gli anni 2019, 2020 e 2021 si rimanda alle Tavole allegate.

lunghezza e la velocità media del traffico, unitamente ai valori medi annui di TGM, emissioni di NO_x e le loro variazioni percentuali rispetto allo scenario di riferimento (anno 2018). Si ricorda che, come descritto in Sez. 2.4.1, i valori medi di TGM e di emissione sono stati calcolati pesando i valori disponibili lungo gli archi che costituiscono la strada riportata con le rispettive lunghezze.

Si procede ora confrontando l'evoluzione annua del traffico e del regime emissivo di NO_x associato con le concentrazioni medie annue di NO_2 misurate in aria ambiente

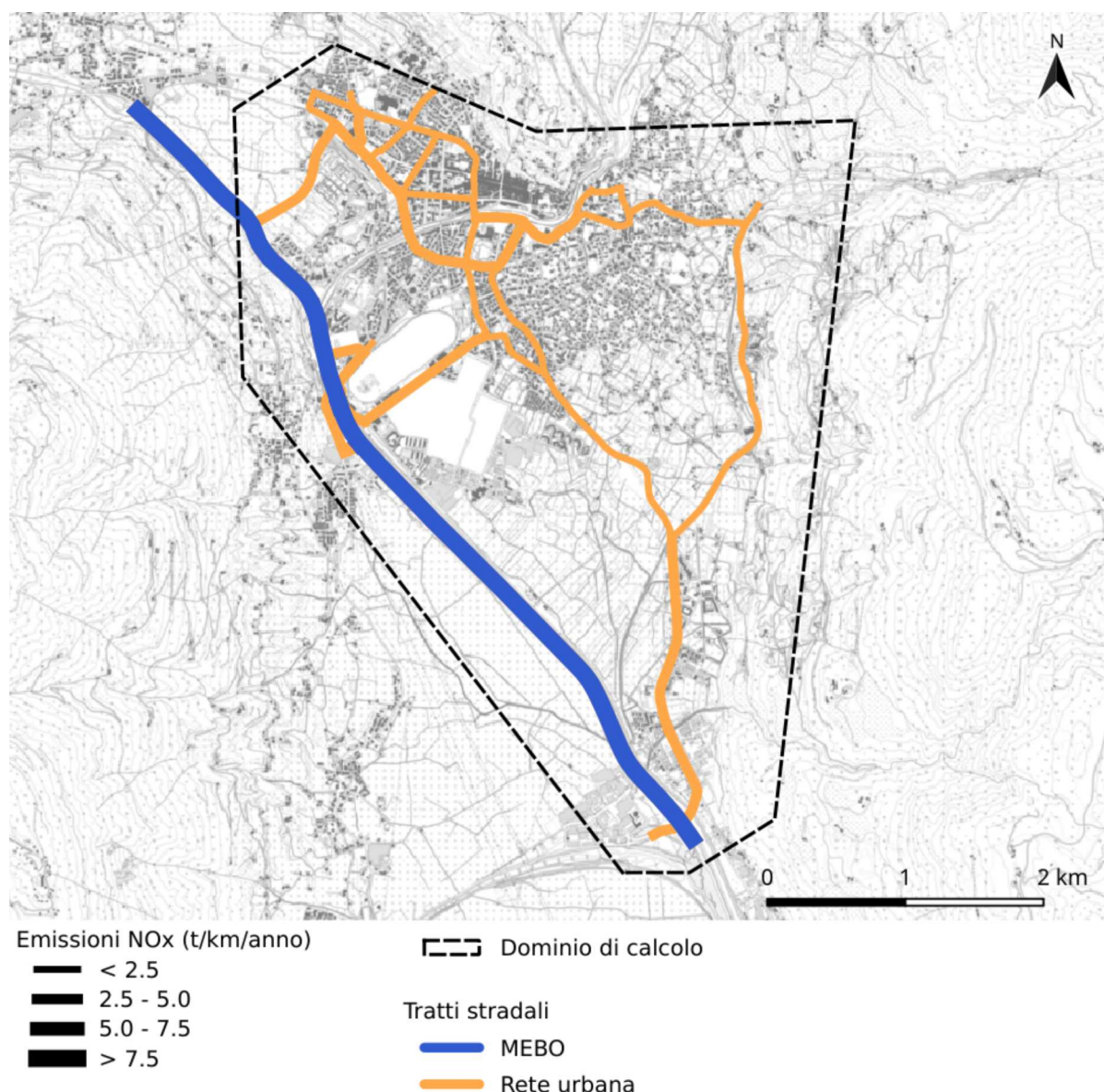


Figura 46: Distribuzione delle emissioni di NO_x relativo all'anno 2018 e generate dal traffico veicolare all'interno del grafo stradale di Merano. Per ulteriori dettagli e la mappatura delle emissioni per gli anni 2019, 2020 e 2021 si rimanda alle Tavole allegate.

a Merano (Sez. 1.2 e Tab. 30). A tal fine, i valori di TGM e di emissioni di NO_x di tutte le strade urbane di Merano (ossia tutte le strade del grafo esclusa MEBO ed i rispettivi svincoli) sono state aggregate secondo procedura descritta in Sez. 2.4.1 al fine di ottenere dei valori medi annui di TGM, di emissioni e i fattori di emissione di NO_x rappresentativi del traffico cittadino.

In Tab. 28 si riportano i valori ottenuti per MEBO e per la rete stradale urbana, rappresentati graficamente in Fig. 47 e in Fig. 48. In particolare, i grafici riportati in

Tabella 36: Valori annui di TGM, emissione (E-NO_x) e fattori di emissione (EF-NO_x) di NO_x con relative variazioni percentuali (Δ) dal 2018 lungo la MEBO ed aggregati sulle strade urbane della città di Merano.

Strada	Velocità [km/h]	Anno	TGM [veh/d]	E-NO _x [g/km/d]	EF-NO _x [g/veh/d]	Δ TGM [%]	Δ E-NO _x [%]	Δ EF-NO _x [%]
MEBO	Tab. 35	2018	30677	21292	0.69	0.00	0.00	0.00
		2019	30907	20195	0.65	0.75	-5.15	-5.80
		2020	24625	15251	0.62	-19.73	-28.37	-10.14
		2021	28714	17091	0.60	-6.40	-19.73	-13.04
Media strade urbane	36	2018	11476	6559	0.57	0.00	0.00	0.00
		2019	11520	6106	0.53	0.39	-6.91	-7.27
		2020	8515	4231	0.50	-25.80	-35.49	-13.07
		2021	10081	4923	0.49	-12.15	-24.95	-14.57

Fig. 47 mostrano l'evoluzione annua di NO₂, TGM, emissioni e fattori di emissione di NO_x dal 2018 al 2021, mentre i grafici in e Fig. 48 mostrano le variazioni percentuali delle precedenti grandezze rispetto ai valori osservati nel 2018. Per facilitare il confronto si riportano le grandezze connesse al traffico veicolare suddivise tra MEBO e strade urbane.

Dall'analisi degli andamenti riportati in Fig. 47 emerge che:

1. Le concentrazioni di NO₂ iniziano a diminuire tra 2018 e 2019, subiscono una significativa riduzione nel 2020 mentre nel 2021 aumentano leggermente.
2. Coerentemente con quanto osservato in precedenza (Sez. 5.2), il traffico veicolare risente delle restrizioni sulla mobilità connesse al contenimento della pandemia COVID-19 su tutte le tipologie di strada considerate. Diminuisce infatti nel 2020 e torna a crescere nel 2021, non raggiungendo ancora i valori medi pre-pandemici.
3. Le emissioni mostrano un andamento coerente con quello del TGM.
4. I fattori di emissione di NO_x consentono di valutare l'efficacia del ricambio del parco auto. Sia lungo la MEBO che in area urbana si osserva una progressiva diminuzione dei fattori di emissione.

Le distribuzioni riportate in Fig. 48 quantificano (in percentuale) l'entità delle variazioni annue osservate in Fig. 47 rispetto allo scenario di baseline. Oltre a confermare i trend descritti, si osserva che:

1. Nel 2020 la riduzione percentuale delle emissioni di NO_x è confrontabile con quella del TGM, soprattutto in area urbana.
2. Nel 2021, la riduzione percentuale delle emissioni di NO_x maggiore rispetto alla riduzione del TGM per effetto della riduzione dei fattori di emissione.

Alla luce delle precedenti considerazioni, si può quindi ritenere che le riduzioni di NO₂ in aria ambiente osservate nel 2020 e nel 2021 possano essere ricondotte a due diversi effetti:

1. Nel 2020, il miglioramento della qualità dell'aria è connesso prevalentemente alla riduzione del traffico come risultato dell'emergenza pandemica, ossia una sorta di "annullamento" o riduzione della sorgente emissiva.
2. Nel 2021, il miglioramento della qualità dell'aria è connesso prevalentemente al rinnovo del parco auto, ossia all'entrata in funzionamento di nuove tecnologie a bordo dei veicoli per l'abbattimento degli inquinanti dei fumi di scarico.

Per poter valutare l'evoluzione di traffico e regime emissivo all'interno del tessuto urbano della città sono stati selezionati i seguenti punti del grafo stradale ritenuti rappresentativi ai fini dello studio:

1. MEBO-Sinigo, collocato in corrispondenza della stazione contatraffico provinciale, è rappresentativo del flusso veicolare extra-urbano;
2. Via delle Palade-Meranoarena, collocato lungo Viale delle Palade, all'altezza di Meranoarena, è rappresentativo del flusso veicolare di transito;
3. Via Cavour-Via Innerhofer, collocato all'incrocio tra Via Cavour e Via Innerhofer, è rappresentativo del flusso veicolare di transito;
4. Viale Europa-Stazione, collocato lungo Viale Europa di fronte alla stazione ferroviaria, è rappresentativo del flusso veicolare di transito;
5. Via Roma-Via Ortwein, collocato all'incrocio tra Via Rome e Via Ortwein, è rappresentativo del flusso veicolare di transito;
6. Via Goethe-Ospedale, collocato lungo Viale Europa all'ospedale della città, è rappresentativo del flusso veicolare locale;
7. Via delle Corse-Via Portici, collocato all'incrocio tra Via delle Corse e Via Portici è rappresentativo del flusso veicolare locale;
8. Via Piave-Via Schiller, collocato all'incrocio tra Via Piave e Via Schiller è rappresentativo del flusso veicolare locale.

In corrispondenza di tali punti sono stati estratti i valori di TGM, emissioni (E-NO_x), fattori di emissione (EF-NO_x) e sono state calcolate le loro variazioni Δ rispetto al 2018. Tali valori sono riassunti in Tab. 38. In Fig. 54 si riportano le distribuzioni di TGM e delle emissioni di NO_x ottenute presso i punti selezionati, mentre in Fig. 55 si

riportano le variazioni percentuali annue delle emissioni di NO_x calcolate rispetto la baseline 2018. Tali distribuzioni permettono di identificare le strade caratterizzate da una condizione di traffico di transito rispetto quelle con traffico locale.

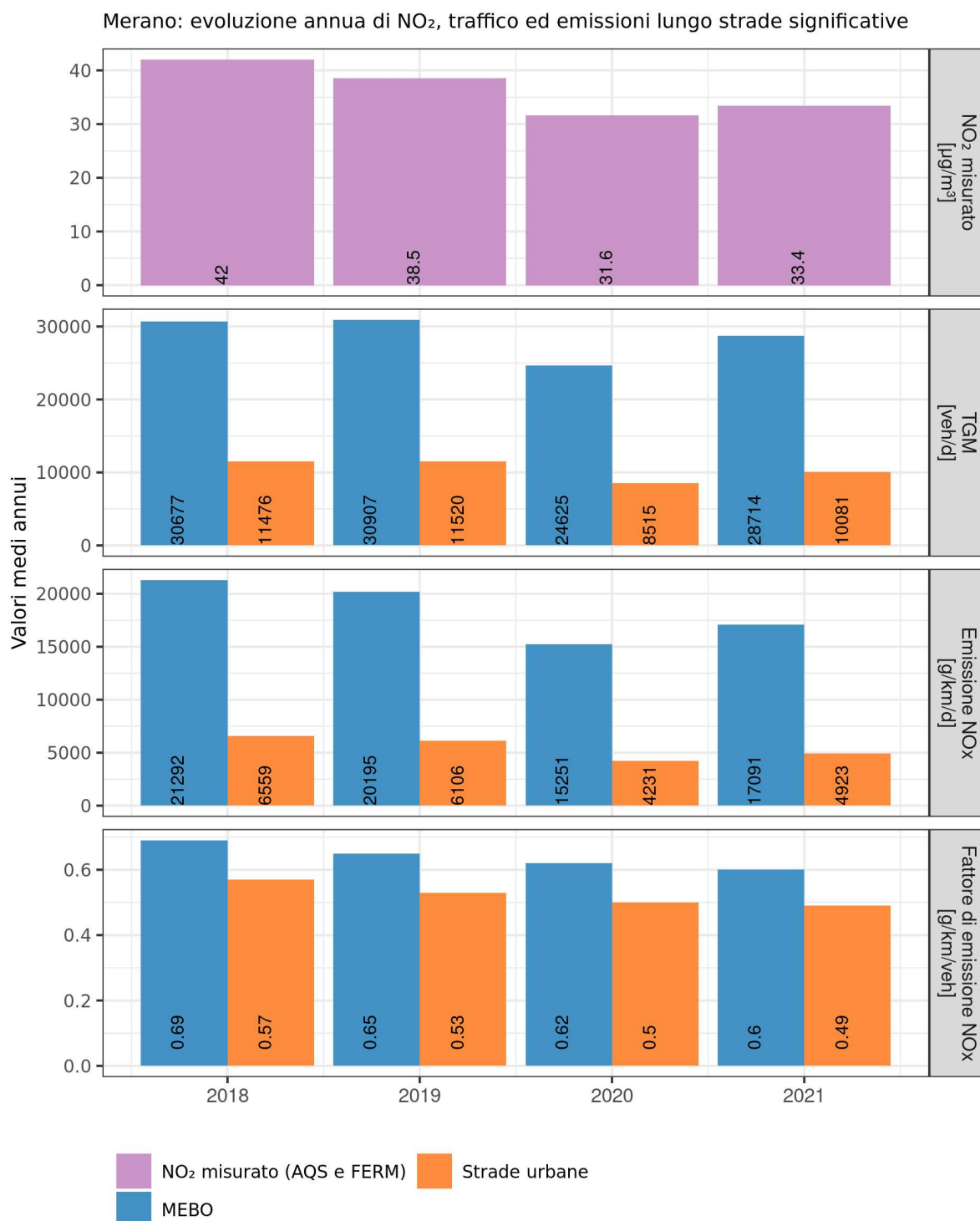


Figura 47: Evoluzione annua delle concentrazioni di NO₂, TGM, emissioni e fattori di emissione di NO_x a Merano.

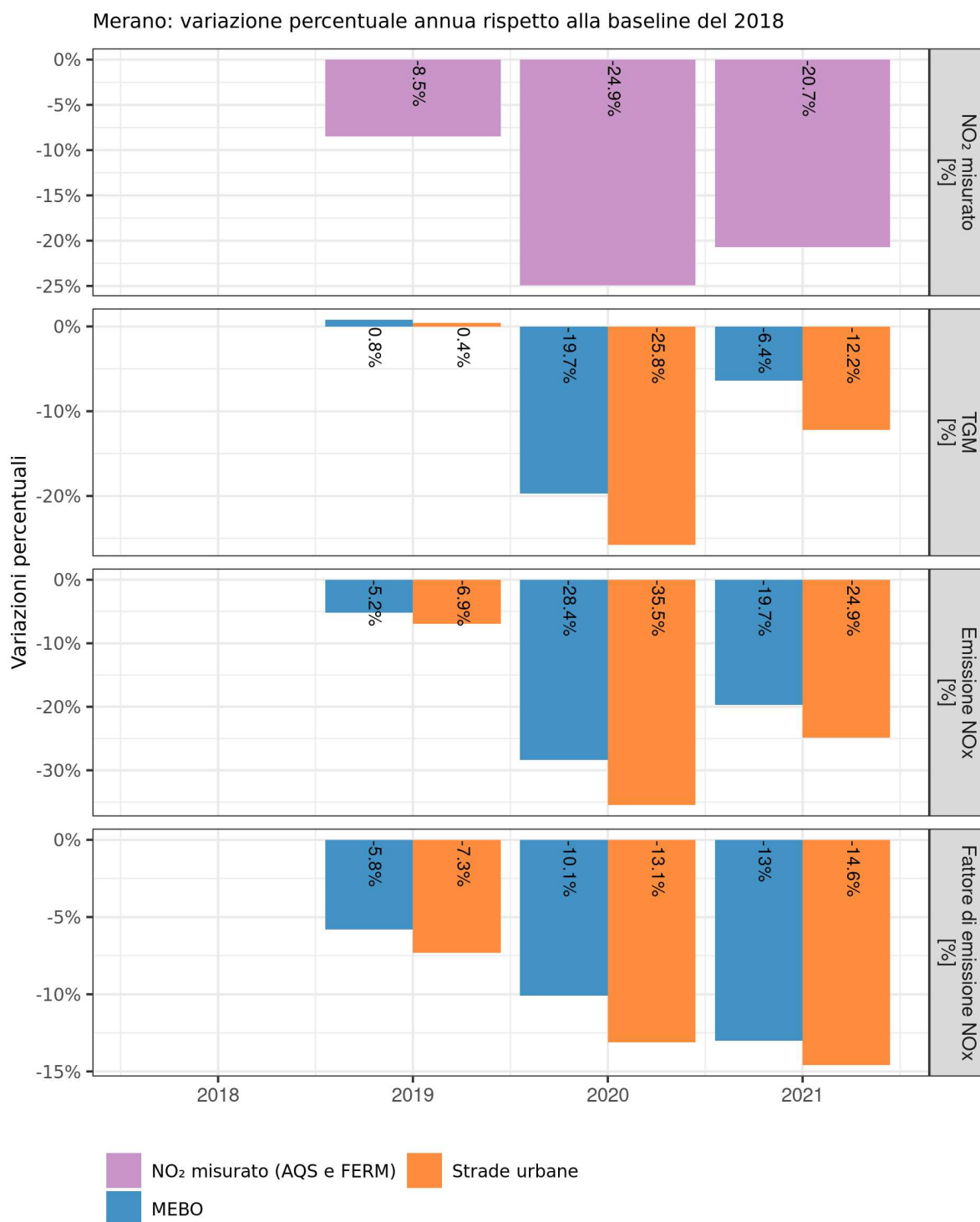


Figura 48: Variazione percentuale annua delle concentrazioni di NO₂, TGM, emissioni e fattori di emissione di NO_x rispetto ai valori osservati nel 2018 a Merano.

5.4 Analisi degli scenari di dispersione simulati

La distribuzione annua delle emissioni di NO_x lungo il grafo stradale di Merano è stata fornita in input al modello di dispersione R-LINE per screening descritto in Sez. 3.1. L'utilizzo del modello di qualità dell'aria permette di disperdere nell'atmosfera adiacente alla città le emissioni di NO_x , ottenendo una mappatura delle concentrazioni medie annue di NO_2 . Si ricorda che gli scenari simulati dal modello non sono la ricostruzione di un caso studio, bensì si rendono necessari per poter rendere confrontabili le variazioni annue del traffico e del regime emissivo associato. Infatti, le simulazioni sono state condotte imponendo per tutti gli anni investigati (periodo 2018–2021) la medesima forzante meteorologica riferita all'anno 2013, che risulta essere meteorologicamente rappresentativo per l'area studio (Sez. 3.3). A titolo di confronto per valutare la rappresentatività degli scenari simulati, in Tabella 37 si riportano le concentrazioni medie annue di NO_2 misurate dalla stazione di qualità dell'aria ME1 e simulate nell'intorno della stazione. Le concentrazioni medie simulate riportate in Tab. 37 sono state ottenute su di un'area rappresentativa nell'intorno del punto di misura e non sono rappresentative della cella in cui ricade il punto di misura. Infatti, per come è stata impostata la calibrazione degli scenari, le concentrazioni simulate nelle celle in cui ricadono le stazioni di misura sono identiche ai valori osservati.

In questo modo è possibile identificare le aree della città maggiormente impattate dal traffico veicolare e, allo stesso tempo, valutare come la variazione annua del regime emissivo si rifletta sulla qualità dell'aria.

Nell'ambito del presente studio sono state prodotte le seguenti elaborazioni, riportate nelle Tavole allegate:

- mappe delle concentrazioni medie annue di NO_2 generate dalle sole emissioni veicolari lungo il grafo stradale di Merano (emissioni da sorgenti lineari, Tav. 10–13);
- mappe delle concentrazioni medie annue di NO_2 generate da altre fonti (traffico diffuso, riscaldamento, industria, artigianato e fondo ambientale, Tav. 14–17),

Tabella 37: Confronto tra le concentrazioni medie annue di NO_2 misurate a Merano dalla stazione di qualità dell'aria ME1 e simulate dal modello R-LINE per screening nell'intorno della stazione.

	$\text{NO}_2 [\mu\text{g}/\text{m}^3]$			
	2018	2019	2020	2021
Concentrazione misurata (ME1)	31.3	31.3	26.0	29.0
Concentrazione simulata	29.7	29.0	24.8	26.8

come specificato in Sez 2.5;

- mappe delle concentrazioni medie annue di NO₂ totali, ottenute sommando alle concentrazioni generate da sorgenti lineari le concentrazioni generate da altre sorgenti (Tav. 18-21);
- mappe del contributo percentuale delle concentrazioni medie annue di NO₂ da traffico rispetto alle concentrazioni totali (Tav. 22-25);
- mappe delle variazioni percentuali delle concentrazioni medie annue di NO₂ generate dalle sole emissioni veicolari rispetto alle corrispondenti concentrazioni simulate per lo scenario di baseline (anno 2018, Tav. 26-29).

A titolo di esempio si riportano per il solo 2018 le mappe delle concentrazioni medie annue di NO₂ generate da sorgenti lineari (Fig. 49), da altre sorgenti (Fig. 50), le concentrazioni totali (Fig. 51) ed il peso percentuale delle concentrazioni da traffico sul totale (Fig. 52). Si riporta inoltre la mappe delle variazioni percentuali delle concentrazioni medie annue di NO₂ generate dal traffico veicolare nel 2019 rispetto alle corrispondenti concentrazioni simulate per il 2018 (Fig. 53).

Dall'analisi delle mappe riportate nelle Tavole allegate (Tav. 10-25) si può osservare come il modello abbia correttamente modellato la dispersione in corrispondenza degli archi stradali che si sviluppano in galleria (linee rosse nel grafo di Fig. 22). Infatti, le concentrazioni di NO₂ derivanti dalle emissioni dei veicoli che percorrono il tratto in galleria non sono distribuite lungo l'arco ma sono riportate all'imbocco e/o allo sbocco del tratto in funzione delle direzioni del traffico. Da ciò segue il deterioramento della qualità dell'aria in corrispondenza delle sezioni di imbocco/sbocco di un tunnel. Oltre alle precedenti osservazioni, l'analisi delle mappe prodotte evidenziano che:

1. Le concentrazioni di NO₂ generate dalle emissioni veicolari (Tav 10-13) diminuiscono progressivamente soprattutto in area extra-urbana/residenziale, a sud-est della città.
2. La MEBO è la strada caratterizzata dalle maggiori concentrazioni di NO₂, anche superiori a 30 µg/m⁻³. Ciò è realistico in quanto il TGM di questa strada è elevato se confrontato con quello delle rimanenti strade investigate.
3. All'interno dell'area urbana di Merano, le strade con maggiori concentrazioni di NO₂ sono: Viale Europa, Via Petrarca, Via Roma, Via Cavour e Via delle Palade.
4. Le mappe delle concentrazioni medie annue di NO₂ generate da altre fonti emissive (Tav. 14-17) assumono valori massimi in corrispondenza delle prin-

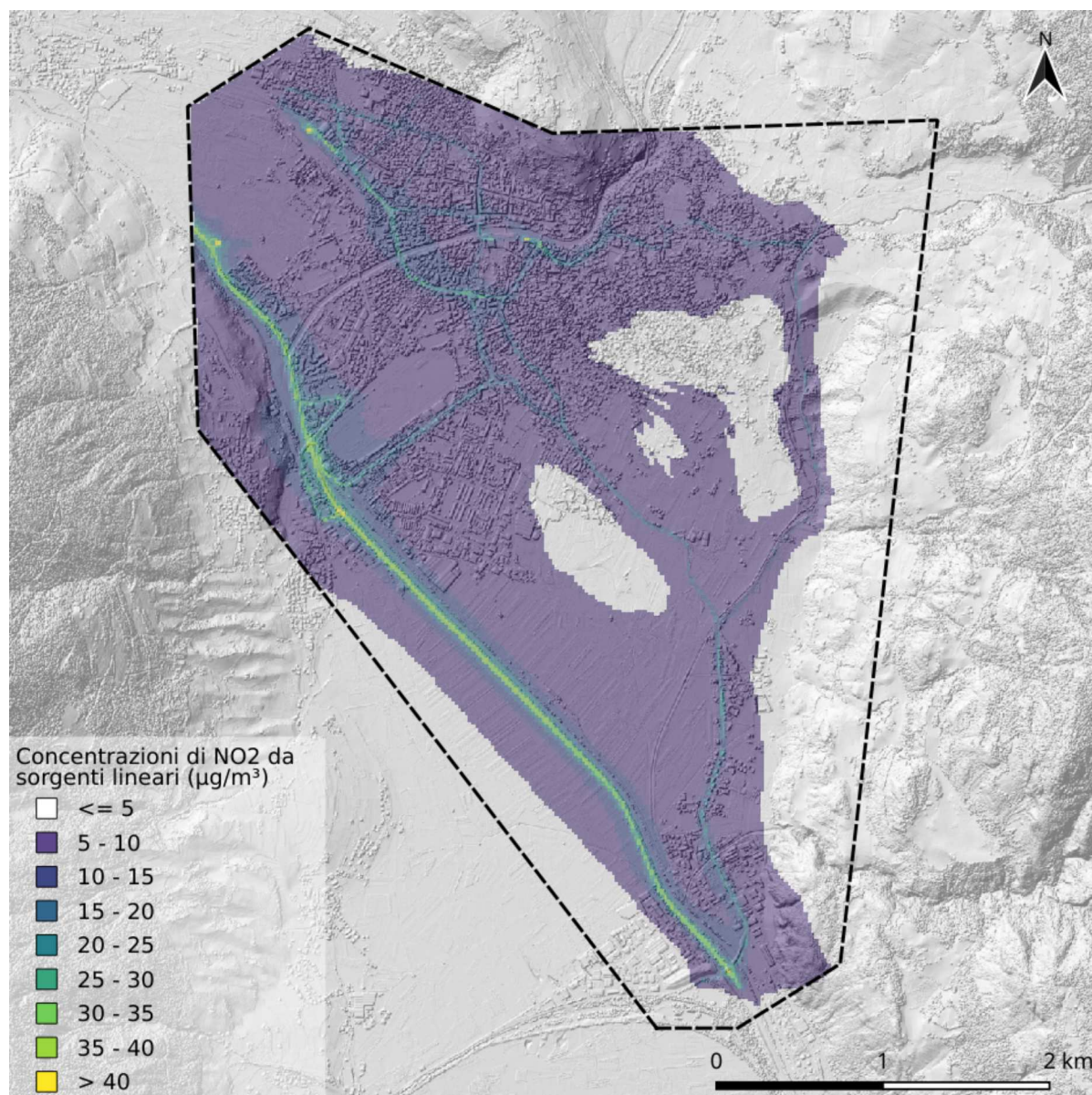


Figura 49: Mappa delle concentrazioni medie annue di NO₂ generate dalle sole emissioni veicolari lungo il grafo stradale di Merano relative all'anno 2018.

cipali aree produttive e nel centro della città (per effetto degli impianti di riscaldamento). La loro variazione temporale dal 2018 al 2021 è invece poco apprezzabile.

5. Le concentrazioni medie annue totali di NO₂ (Tav. 18-21), coerentemente con i pattern sopra descritti, mostrano un progressivo miglioramento della qualità dell'aria soprattutto all'interno del tessuto urbano di Merano. Le limitazioni alla circolazione per il contenimento della pandemia COVID-19 nel 2020 ed il rinnovo del parco circolante nel 2021 hanno contribuito positivamente in

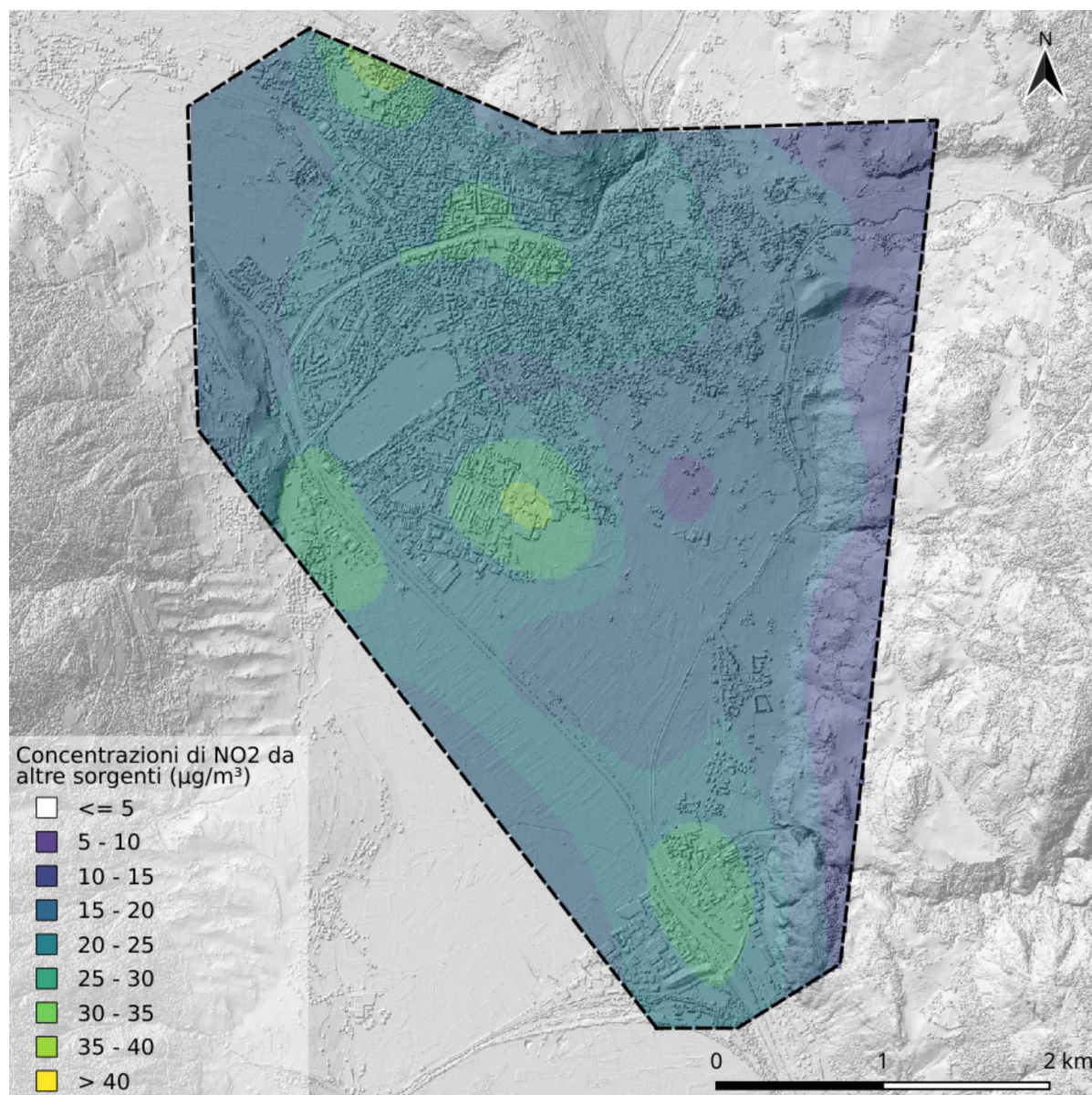


Figura 50: Mappa delle concentrazioni medie annue di NO₂ generate da altre fonti emissive diverse dal traffico veicolare a Merano relative all'anno 2018.

questa direzione. Infatti, nell'arco temporale investigato il peso percentuale delle emissioni di NO₂ da traffico (Tav. 22-25), calcolato come frazione delle concentrazioni totali, diminuisce fino al 6% all'interno della rete stradale della città.

6. Le variazioni percentuali annue delle concentrazioni da traffico ottenute per gli anni 2019, 2020 e 2021 (Tav. 26-28), calcolate rispetto corrispondenti concentrazioni ottenute per la baseline del 2018, mostrano infatti una significativa riduzione dell'impatto delle emissioni veicolari su tutta l'area.

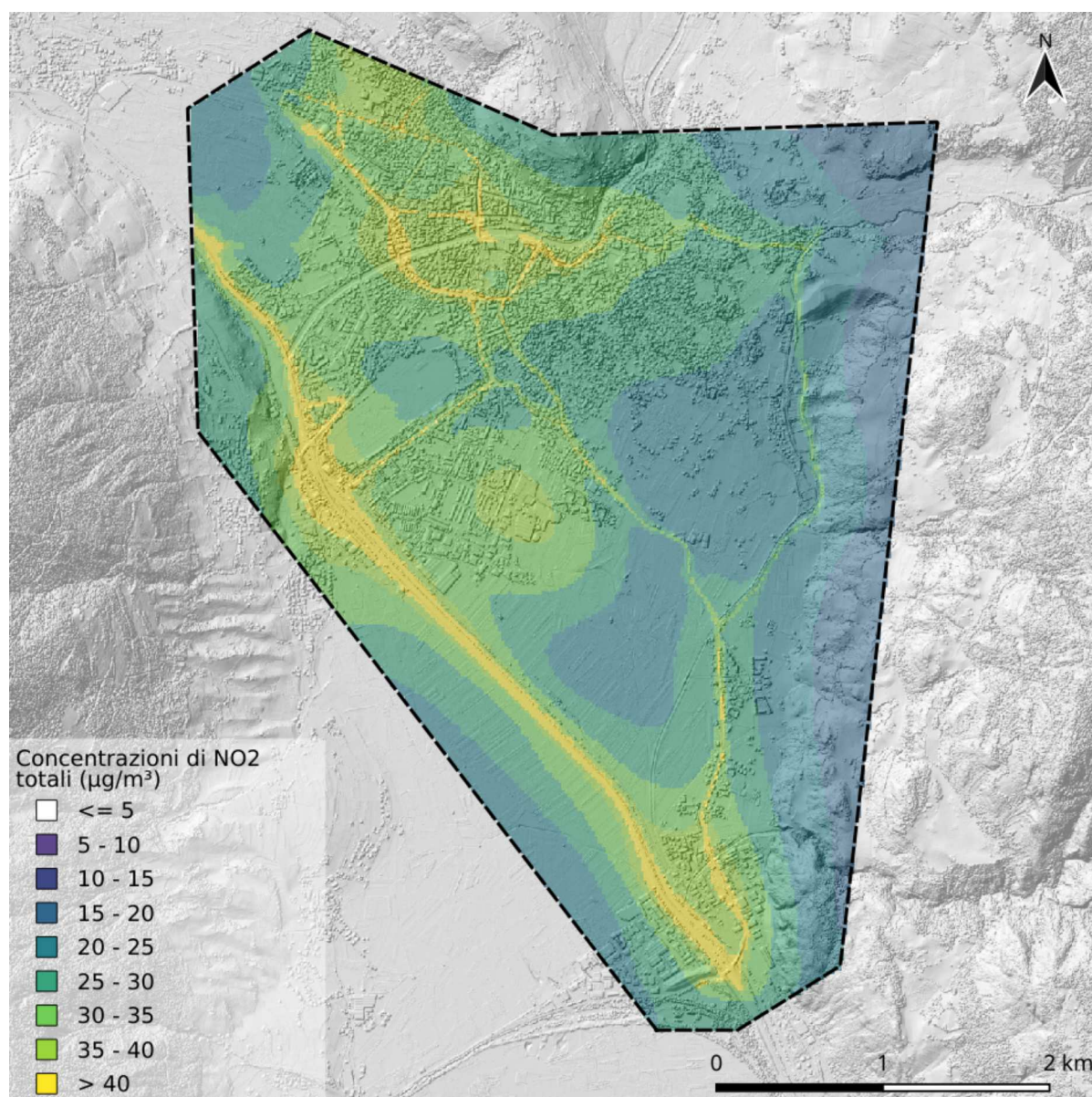


Figura 51: Mappa delle concentrazioni medie annue totali di NO₂ (sorgenti lineari e altre sorgenti) a Merano e relative all'anno 2018.

In Tab. 38, invece, si riportano per ciascun punto del grafo urbano di Merano selezionato in Sez. 5.3 le concentrazioni di NO₂ e le loro variazioni rispetto al 2018. In particolare, sono riportati: (i) le concentrazioni annue di NO₂ da traffico (NO₂-lin), da altre fonti (NO₂-altro) e totali (NO₂-tot); (ii) il peso percentuale degli NO₂ da traffico rispetto alle concentrazioni totali (% NO₂-lin); (iii) le variazioni di rispetto al 2018 di NO₂ da traffico (ΔNO₂-lin) e totali (ΔNO₂-tot). Le distribuzioni riportate in Fig. 54 permettono di confrontare l'evoluzione media annua dell'NO₂ misurato in aria ambiente con i valori di TGM, emissioni di NO_x e concentrazioni di NO₂ simulate

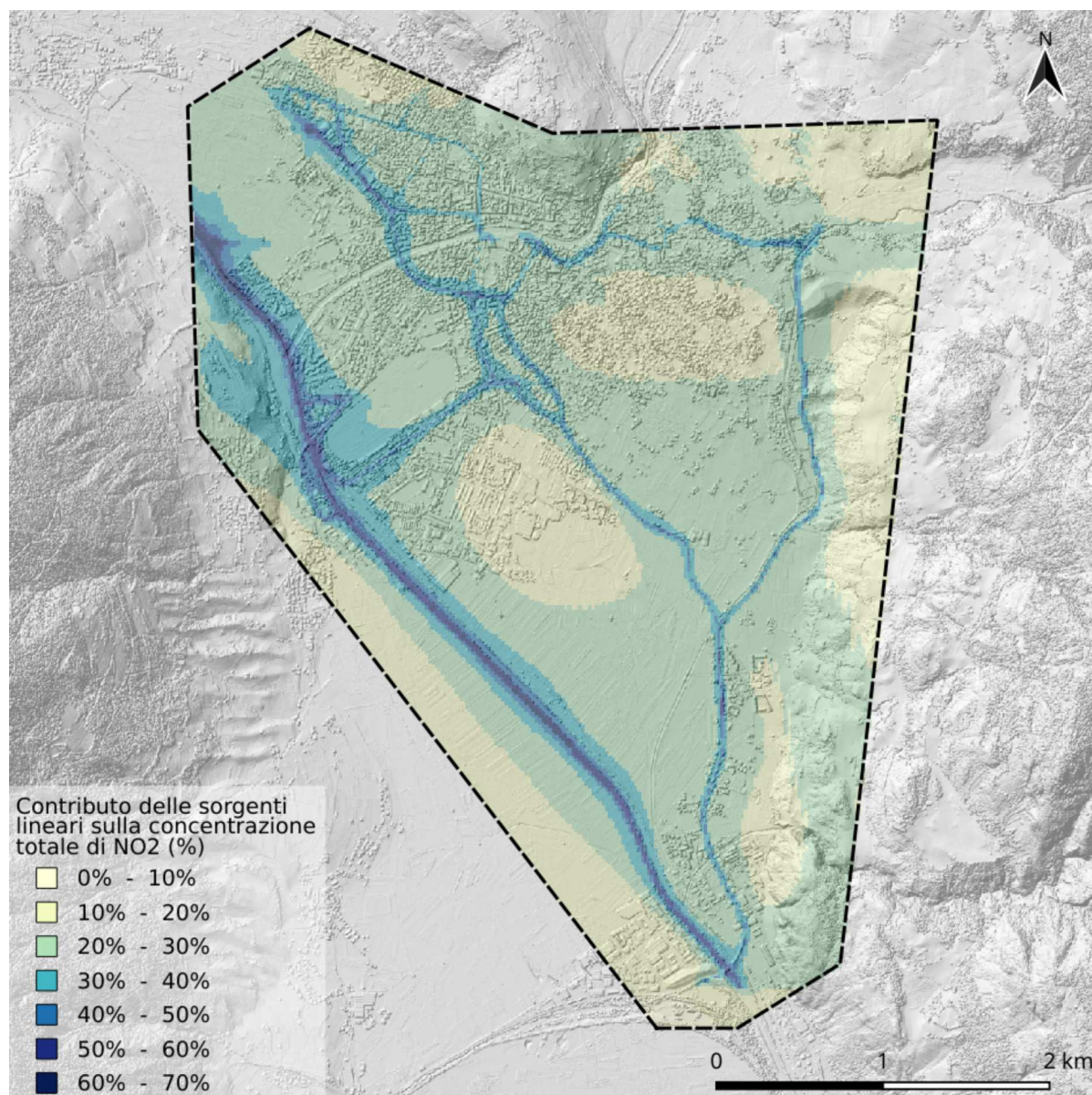


Figura 52: Mappa del contributo percentuale delle concentrazioni medie annue di NO₂ da traffico veicolare sulle concentrazioni totali a Merano, relative all'anno 2018.

(totali e da traffico) in corrispondenza dei punti selezionati.

Da un primo confronto si osserva come le concentrazioni di NO₂ totali simulate assumano valori molto prossimi a quelle misurate in aria ambiente, validando quindi l'efficacia delle simulazioni condotte. Le maggiori differenze si hanno tra MEBO e le altre strade selezionate poiché le misure disponibili di NO₂ in aria ambiente sono di fatto collocate in area urbana e quindi il valore riportato non è rappresentativo del regime delle concentrazioni lungo la MEBO. Si osserva inoltre che in corrispondenza delle strade caratterizzate da un flusso veicolare di transito le concentrazioni

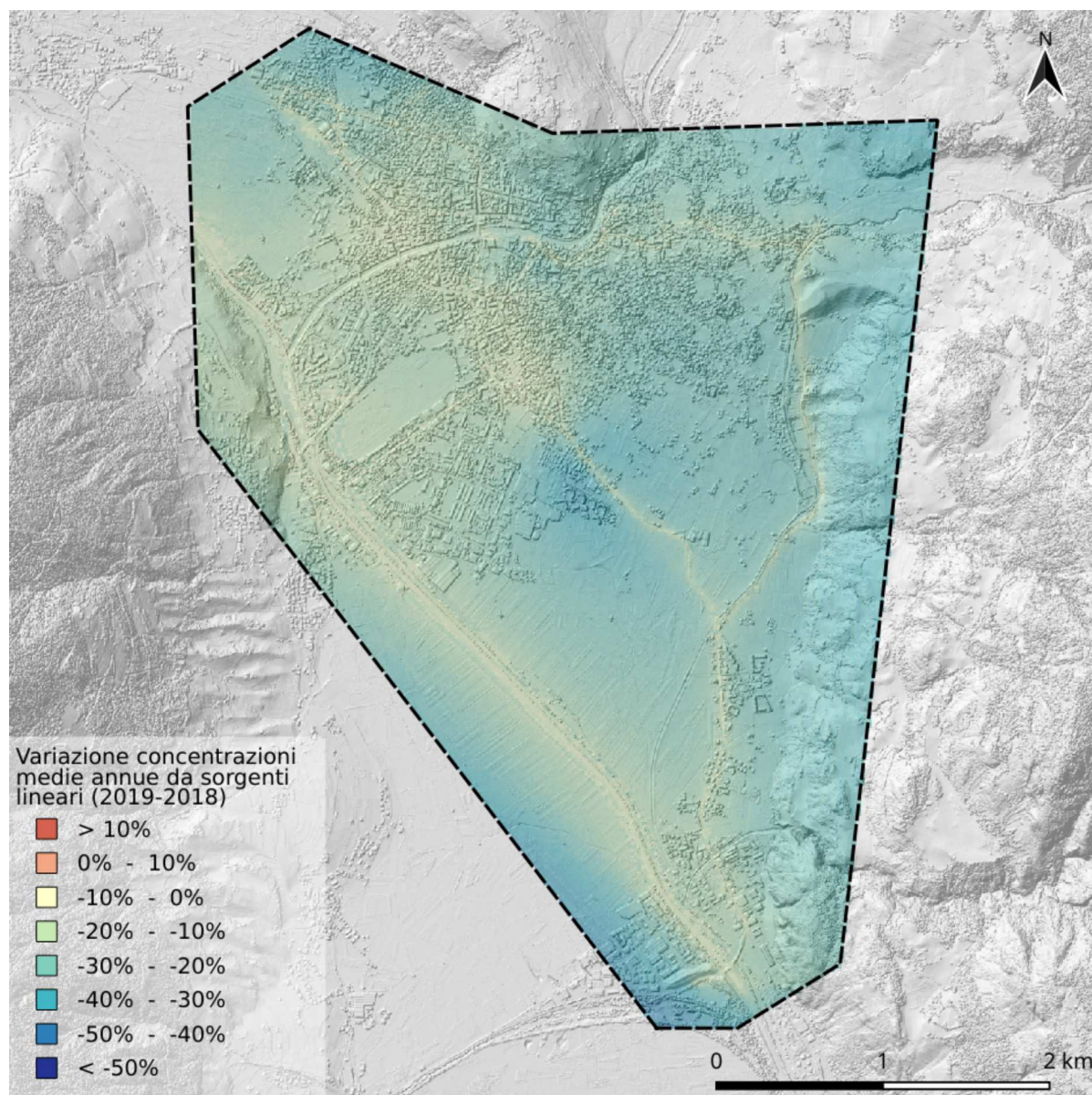


Figura 53: Mappa delle variazioni percentuali delle concentrazioni medie annue di NO_2 generate dalle sole emissioni veicolari nel 2019 rispetto alle corrispondenti concentrazioni simulate nel 2018 (baseline).

di NO_2 connesse al transito dei veicoli assumono valori prossimi ai valori totali di NO_2 . Viceversa, le strade caratterizzate da un flusso veicolare locale hanno un impatto inferiore sulla qualità dell'aria e quindi le concentrazioni di NO_2 totali simulate possono essere ricondotte ad effetti di trasporto dell'inquinante da parte dei processi atmosferici.

Il ruolo dei fenomeni atmosferici e della geometria della strada nella dispersione degli inquinanti è ben visibile confrontando Via delle Palade e Via Cavour. Queste

due strade sono infatti caratterizzate da valori di TGM e di emissioni di NO_x pressoché identici, tuttavia le concentrazioni di NO_2 in Via Cavour sono sempre superiori di quelle simulate in via delle Palade. Via Cavour è collocata nel centro della città, dove l'effetto canyon urbano è più marcato, mentre Via delle Palade è collocata nella periferia della città. Dunque nel primo caso la meteorologia è meno efficiente nel rimuovere gli inquinanti che tendono a restare "intrappolati" all'interno della strada.

Le distribuzioni riportate in Fig. 55 mostrano la variazione percentuale annua rispetto al 2018 di: (i) NO_2 in aria ambiente; (ii) emissioni di NO_x e (iii) concentrazioni di NO_2 simulate (totali e da traffico) in corrispondenza dei punti selezionati. Dagli andamenti ottenuti si osserva che la progressiva riduzione del biossido di azoto in aria ambiente è ben correlata con la riduzione delle emissioni di NO_x e con le corrispondenti concentrazioni di NO_2 . In particolare si osserva che:

1. La riduzione delle emissioni di NO_x è di fatto costante in corrispondenza dei punti che appartengono al reticolo urbano della città ed è nettamente superiore alla riduzione osservata in MEBO. Questo comportamento può essere giustificato considerando che la MEBO è una strada ad elevato scorrimento e quindi eventuali fluttuazioni di traffico possono essere attenuate dalla grande capacità di trasporto di questa infrastruttura. Viceversa, all'interno del reticolo urbano e soprattutto laddove il regime di traffico è pressoché locale, variazioni nel TGM possono portare a significative variazioni del regime emissivo. Ad esempio, durante i periodi di lockdown che hanno interessato il 2020 il traffico in MEBO si è ridotto senza annullarsi (Fig. 42), mentre è lecito attendersi che all'interno della città il traffico è diminuito drasticamente, portando all'effetto osservato sulle emissioni di NO_x .
2. A fronte di una riduzione abbastanza uniforme delle emissioni di NO_x in ambito urbano, le concentrazioni di NO_2 simulate (totali e da traffico) risultano essere molto più variabili. Questo effetto, come già osservato nelle linee precedenti, è verosimilmente legato alla geometria delle strade e quindi all'effetto dell'interazione meteorologia-superficie urbana nella rimozione degli inquinanti.

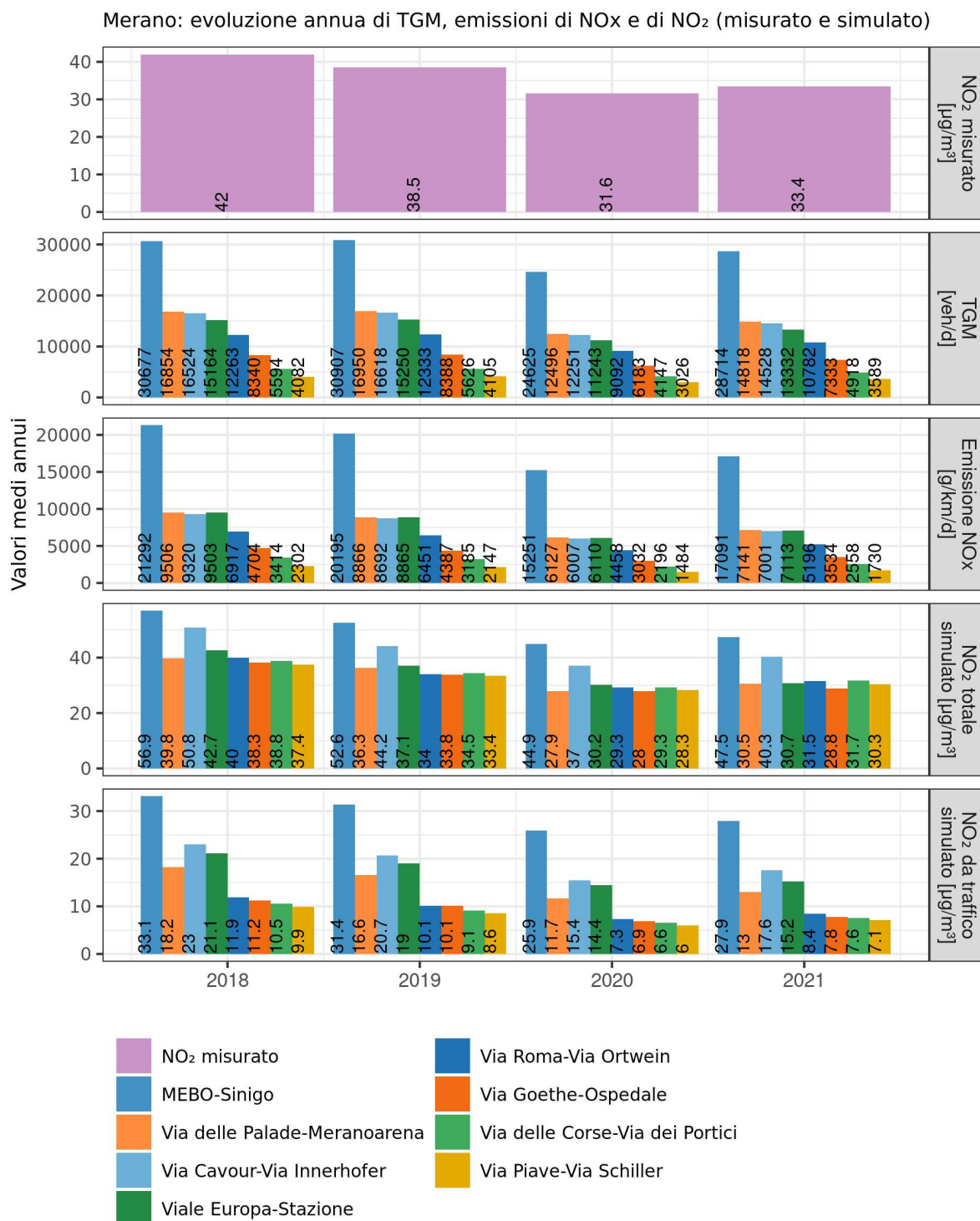


Figura 54: Evoluzione annua delle concentrazioni di NO₂ misurato in aria ambiente e distribuzioni annue dei valori di TGM, emissioni di NO_x e di concentrazioni di NO₂ simulate (totali e generate dal traffico) in corrispondenza dei punti selezionati lungo il grafo stradale di Merano.

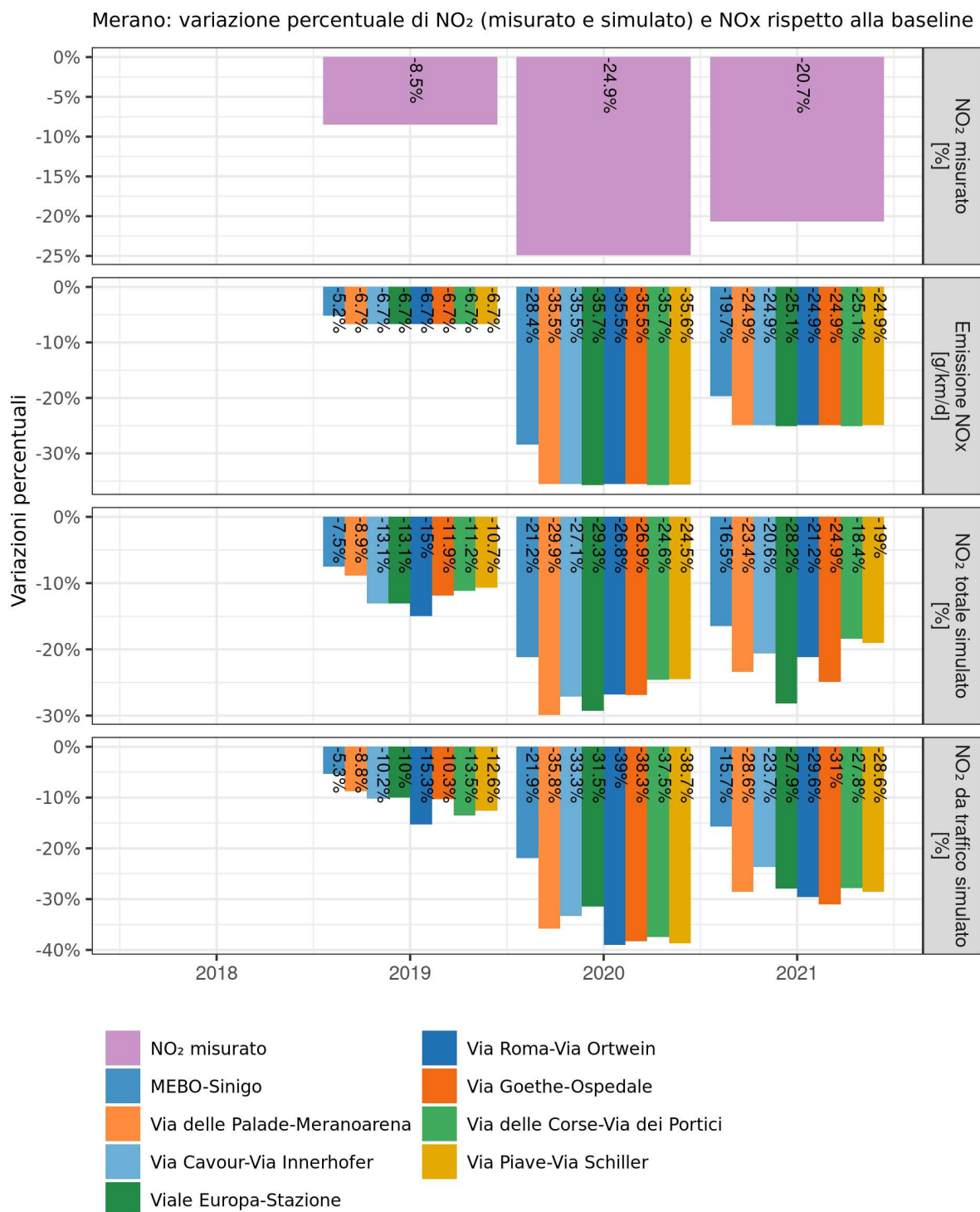


Figura 55: Variazione percentuale annua rispetto ai valori osservati nel 2018 delle emissioni di NO_x e delle corrispondenti concentrazioni di NO₂ simulate (totali e generate dal traffico) in corrispondenza dei punti selezionati lungo il grafo stradale di Merano. Si riportano inoltre le variazioni delle concentrazioni di NO₂ misurate in aria ambiente.

Tabella 38: Valori annui di TGM, emissione (E-NO_x) e fattori di emissione (EF-NO_x) di NO_x con relative variazioni percentuali (Δ) dal 2018 lungo la MEBO ed aggregati sulle strade urbane della città di Merano.

MEBO-Sinigo							
Anno	TGM [veh/d]	E-NO _x [g/km/d]	EF-NO _x [g/veh/d]	NO ₂ -lin [μg/m ³]	NO ₂ -tot [μg/m ³]	% NO ₂ -lin [%]	NO ₂ -altro [μg/m ³]
2018	30677	21292	0.69	33.1	56.9	58.2	23.8
2019	30907	20195	0.65	31.4	52.6	59.6	21.3
2020	24625	15251	0.62	25.9	44.9	57.7	19.0
2021	28714	17091	0.60	27.9	47.5	58.8	19.6
Anno	Δ TGM [%]	Δ E-NO _x [%]	Δ EF-NO _x [%]	Δ NO ₂ -lin [%]	Δ NO ₂ -tot [%]		
2018	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
2019	0.75	-5.15	-5.80	-5.34	-7.51		
2020	-19.73	-28.37	-10.14	-21.92	-21.20		
2021	-6.40	-19.73	-13.04	-15.70	-16.54		
Via delle Palade-Meranoarena							
Anno	TGM [veh/d]	E-NO _x [g/km/d]	EF-NO _x [g/veh/d]	NO ₂ -lin [μg/m ³]	NO ₂ -tot [μg/m ³]	% NO ₂ -lin [%]	NO ₂ -altro [μg/m ³]
2018	16854	9506	0.56	18.2	39.8	45.6	21.7
2019	16950	8866	0.52	16.6	36.3	45.7	19.7
2020	12496	6127	0.49	11.7	27.9	41.8	16.3
2021	14818	7141	0.48	13.0	30.5	42.5	17.6
Anno	Δ TGM [%]	Δ E-NO _x [%]	Δ EF-NO _x [%]	Δ NO ₂ -lin [%]	Δ NO ₂ -tot [%]		
2018	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
2019	0.57	-6.74	-7.14	-8.77	-8.92		
2020	-25.86	-35.54	-12.50	-35.78	-29.89		
2021	-12.08	-24.88	-14.29	-28.60	-23.40		

Continua nella prossima pagina

Continua dalla pagina precedente

Via Cavour-Via Innerhofer							
Anno	TGM [veh/d]	E-NO _x [g/km/d]	EF-NO _x [g/veh/d]	NO ₂ -lin [μg/m ³]	NO ₂ -tot [μg/m ³]	% NO ₂ -lin [%]	NO ₂ -altro [μg/m ³]
2018	16524	9320	0.56	23.0	50.8	45.3	27.8
2019	16618	8692	0.52	20.7	44.2	46.8	23.5
2020	12251	6007	0.49	15.4	37.0	41.5	21.7
2021	14528	7001	0.48	17.6	40.3	43.6	22.8
Anno	Δ TGM [%]	Δ E-NO _x [%]	Δ EF-NO _x [%]	Δ NO ₂ -lin [%]	Δ NO ₂ -tot [%]		
2018	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
2019	0.57	-6.74	-7.14	-10.22	-13.05		
2020	-25.86	-35.55	-12.50	-33.30	-27.08		
2021	-12.08	-24.88	-14.29	-23.66	-20.57		
Via Roma-Via Ortwein							
Anno	TGM [veh/d]	E-NO _x [g/km/d]	EF-NO _x [g/veh/d]	NO ₂ -lin [μg/m ³]	NO ₂ -tot [μg/m ³]	% NO ₂ -lin [%]	NO ₂ -altro [μg/m ³]
2018	12263	6917	0.56	11.9	40.0	29.8	28.1
2019	12333	6451	0.52	10.1	34.0	29.7	23.9
2020	9092	4458	0.49	7.3	29.3	24.8	22.0
2021	10782	5196	0.48	8.4	31.5	26.6	23.1
Anno	Δ TGM [%]	Δ E-NO _x [%]	Δ EF-NO _x [%]	Δ NO ₂ -lin [%]	Δ NO ₂ -tot [%]		
2018	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
2019	0.57	-6.73	-7.14	-15.29	-15.02		
2020	-25.86	-35.54	-12.50	-39.02	-26.76		
2021	-12.08	-24.88	-14.29	-29.65	-21.24		

Continua nella prossima pagina

Continua dalla pagina precedente

Via Piave-Via Schiller							
Anno	TGM [veh/d]	E-NO _x [g/km/d]	EF-NO _x [g/veh/d]	NO ₂ -lin [μg/m ³]	NO ₂ -tot [μg/m ³]	% NO ₂ -lin [%]	NO ₂ -altro [μg/m ³]
2018	4082	2302	0.56	9.9	37.4	26.4	27.5
2019	4105	2147	0.52	8.6	33.4	25.8	24.8
2020	3026	1484	0.49	6.0	28.3	21.4	22.2
2021	3589	1730	0.48	7.1	30.3	23.3	23.2
Anno	Δ TGM [%]	Δ E-NO _x [%]	Δ EF-NO _x [%]	Δ NO ₂ -lin [%]	Δ NO ₂ -tot [%]		
2018	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
2019	0.56	-6.74	-7.14	-12.64	-10.70		
2020	-25.87	-35.56	-12.50	-38.74	-24.47		
2021	-12.08	-24.88	-14.29	-28.58	-19.03		
Via delle Corse-Via dei Portici							
Anno	TGM [veh/d]	E-NO _x [g/km/d]	EF-NO _x [g/veh/d]	NO ₂ -lin [μg/m ³]	NO ₂ -tot [μg/m ³]	% NO ₂ -lin [%]	NO ₂ -altro [μg/m ³]
2018	5594	3414	0.61	10.5	38.8	27.0	28.3
2019	5626	3185	0.57	9.1	34.5	26.3	25.4
2020	4147	2196	0.53	6.6	29.3	22.4	22.7
2021	4918	2558	0.52	7.6	31.7	23.9	24.1
Anno	Δ TGM [%]	Δ E-NO _x [%]	Δ EF-NO _x [%]	Δ NO ₂ -lin [%]	Δ NO ₂ -tot [%]		
2018	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
2019	0.57	-6.71	-6.56	-13.49	-11.24		
2020	-25.87	-35.67	-13.11	-37.51	-24.62		
2021	-12.08	-25.08	-14.75	-27.75	-18.44		

Continua nella prossima pagina

Continua dalla pagina precedente

Viale Europa-Stazione							
Anno	TGM [veh/d]	E-NO _x [g/km/d]	EF-NO _x [g/veh/d]	NO ₂ -lin [μg/m ³]	NO ₂ -tot [μg/m ³]	% NO ₂ -lin [%]	NO ₂ -altro [μg/m ³]
2018	15164	9503	0.63	21.1	42.7	49.4	21.7
2019	15250	8865	0.58	19.0	37.1	51.1	18.1
2020	11243	6110	0.54	14.4	30.2	47.8	15.8
2021	13332	7113	0.53	15.2	30.7	49.6	15.5
Anno	Δ TGM [%]	Δ E-NO _x [%]	Δ EF-NO _x [%]	Δ NO ₂ -lin [%]	Δ NO ₂ -tot [%]		
2018	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
2019	0.57	-6.71	-7.94	-9.98	-13.12		
2020	-25.86	-35.70	-14.29	-31.54	-29.32		
2021	-12.08	-25.14	-15.87	-27.86	-28.22		
Via Goethe-Ospedale							
Anno	TGM [veh/d]	E-NO _x [g/km/d]	EF-NO _x [g/veh/d]	NO ₂ -lin [μg/m ³]	NO ₂ -tot [μg/m ³]	% NO ₂ -lin [%]	NO ₂ -altro [μg/m ³]
2018	8340	4704	0.56	11.2	38.3	29.3	27.1
2019	8388	4387	0.52	10.1	33.8	29.9	23.7
2020	6183	3032	0.49	6.9	28.0	24.7	21.1
2021	7333	3534	0.48	7.8	28.8	27.0	21.0
Anno	Δ TGM [%]	Δ E-NO _x [%]	Δ EF-NO _x [%]	Δ NO ₂ -lin [%]	Δ NO ₂ -tot [%]		
2018	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
2019	0.58	-6.73	-7.14	-10.28	-11.89		
2020	-25.86	-35.55	-12.50	-38.34	-26.91		
2021	-12.07	-24.88	-14.29	-31.02	-24.92		

5.5 Conclusioni

La valutazione dell'impatto delle emissioni veicolari di NO_x sulla qualità dell'aria di Merano è stata condotta attraverso:

1. l'analisi di dati medi mensili e medi annui di concentrazioni di NO_2 e di traffico;
2. la modellazione numerica della dispersione degli NO_x da traffico al fine di ottenere la distribuzione spaziale media annua delle concentrazioni di NO_2 .

La prima fase dello studio ha riguardato l'analisi della base dati disponibile con lo scopo di:

1. determinare la qualità dell'informazione disponibile, identificando criticità ed implementando, laddove possibile, metodi per risolvere o attenuare le problematiche riscontrate;
2. delineare le strategie di analisi più adeguate e rappresentative per raggiungere gli scopi dello studio, tra cui la determinazione del criterio con cui aggiornare annualmente i dati di traffico all'interno del grafo stradale della città (Sez. 4.3);
3. caratterizzare l'evoluzione temporale delle concentrazioni di inquinanti e del regime del traffico.

Una volta effettuato il calcolo delle emissioni di NO_x si è proceduto valutando l'evoluzione annuale del regime emissivo in funzione del regime dei transiti e delle concentrazioni di NO_2 in aria ambiente. Infine sono state condotte le simulazioni numeriche di qualità dell'aria, che hanno fornito informazioni circa:

1. la distribuzione spaziale media annua delle concentrazioni di NO_2 , utile a definire le aree più impattate;
2. il contributo del traffico lungo il grafo stradale principale della città rispetto alla concentrazione totale di NO_2 ;
3. la distribuzione spaziale delle variazioni percentuali annue delle concentrazioni di NO_2 generate dal traffico stradale calcolate rispetto l'anno 2018 identificato come baseline.

Le analisi condotte ed i risultati ottenuti permettono di formulare le seguenti considerazioni e conclusioni:

1. La base dati relativa ai flussi veicolari all'interno della città di Bolzano ha permesso di caratterizzare alla scala mensile i diversi flussi di traffico e di apprezzare la risposta del traffico alle restrizioni sulla circolazione imposte dalla pandemia COVID-19.

2. L'elevata frammentazione temporale delle osservazioni ed i diversi gradi di affidabilità dei dati hanno però reso particolarmente difficoltosa la determinazione di una procedura per l'aggiornamento annuale del grafo stradale. L'impossibilità di ottenere stime statisticamente robuste di valori medi annui hanno di fatto portato ad escludere dall'analisi tutti i dati disponibili misurati in sede urbana (stazioni contatraffico comunali, sensori bluetooth). Pertanto, l'aggiornamento annuale del grafo stradale è stato condotto sulla base della variazione annua del traffico registrato dalle stazioni contatraffico provinciali.
3. Nonostante le limitazioni riscontrate in sede di analisi dei dati è però stato possibile ottenere riscontri realistici (soprattutto in termini qualitativi) tra il regime del traffico, il regime emissivo di NO_x e le concentrazioni di NO_2 .
4. Si osserva che dal 2018 è in atto un progressivo miglioramento della qualità dell'aria. Nel 2020 le limitazioni sui trasporti introdotte per il contenimento della pandemia COVID-19 ha forzatamente ridotto il numero dei veicoli circolanti e quindi delle emissioni di NO_x in sede stradale e le concentrazioni di NO_2 da traffico in aria ambiente. Nel 2021 il miglioramento della qualità dell'aria è invece più compatibile con il rinnovo del parco circolante, soprattutto in area urbana, che nonostante la ripresa dei flussi veicolari (quasi a livelli pre-pandemici) ha permesso contenere il regime emissivo e le concentrazioni di NO_2 in aria ambiente.
5. Grazie alla modellazione numerica della dispersione delle emissioni stradali è stato possibile apprezzare il miglioramento della qualità dell'aria (in termini di concentrazioni di NO_2) in tutta l'area di calcolo investigata. La possibilità di ottenere un'informazione distribuita spazialmente ha inoltre permesso di identificare le aree che risultano essere critiche in termini di qualità dell'aria, ossia in cui si osservano concentrazioni medie annue superiori a $40\mu\text{g}/\text{m}^3$. Oltre ai punti in corrispondenza degli imbocchi/sbocchi dei tunnel, tali aree coincidono con il tracciato della MEBO, l'area industriale di Sinigo e nel tessuto urbano di Merano con: Viale Europa, Via Petrarca, Via delle Corse e Via Cavour.

Attraverso le analisi condotte è stato inoltre possibile identificare che, oltre al rinnovo del parco circolante, la variazione del regime emissivo di NO_x e delle concentrazioni di NO_2 è connessa a:

1. la tipologia del flusso veicolare;
2. la geometria della strada.

Infatti, se la strada è caratterizzata da un flusso di traffico di tipo locale (bassi valori di TGM) allora eventuali fluttuazioni del TGM porteranno a fluttuazioni del regime emissivo molto più marcate che non lungo strade con maggiore capacità scorrimento. A parità di tipologia del flusso veicolare, invece, la geometria di una strada determina la ventilazione della stessa, ossia se i fenomeni meteorologici alla scala locale saranno in grado o meno di penetrare all'interno del canyon urbano, favorendo la diluizione degli inquinanti.

Tabella 39: TGM ed emissioni di NO_x (E-NO_x) all'interno del grafo stradale di Merano dal 2018 al 2021. Per ciascuna grandezza si riportano le variazioni percentuali (Δ) rispetto ai valori di baseline (anno 2018).

Strada	Lung. [m]	Velocità [km/h]	Anno	TGM [veh/d]	E-NO _x [g/km/d]	Δ TGM [%]	Δ E-NO _x [%]
MEBO	6741	Tab. 35	2018	30677	21292	0.00	0.00
			2019	30907	20195	0.75	-5.15
			2020	24625	15251	-19.73	-28.37
			2021	28714	17091	-6.40	-19.73
MEBO-raccordo-SP185	994	65	2018	18215	8944	0.00	0.00
			2019	18319	8328	0.57	-6.88
			2020	13505	5800	-25.86	-35.16
			2021	16015	6773	-12.08	-24.28
MEBO-raccordo-Via delle Palade	117	28	2018	30677	20081	0.00	0.00
			2019	30907	18767	0.75	-6.54
			2020	24625	13966	-19.73	-30.45
			2021	28714	15982	-6.40	-20.41
Corso della Libertà	531	33	2018	6655	4061	0.00	0.00
			2019	6693	3789	0.57	-6.71
			2020	4934	2613	-25.86	-35.67
			2021	5851	3043	-12.08	-25.08
Ponte Teatro	132	25	2018	7490	5149	0.00	0.00
			2019	7533	4803	0.57	-6.71
			2020	5553	3304	-25.86	-35.83
			2021	6585	3843	-12.08	-25.36
Via Alpini	506	33	2018	3155	1926	0.00	0.00
			2019	3173	1796	0.57	-6.71
			2020	2340	1239	-25.86	-35.66
			2021	2774	1443	-12.09	-25.08
Via Cavour	953	40	2018	12402	6995	0.00	0.00
			2019	12473	6524	0.57	-6.74
			2020	9195	4509	-25.86	-35.55
			2021	10904	5255	-12.08	-24.88
Via Goethe	1233	40	2018	7411	4180	0.00	0.00
			2019	7453	3898	0.57	-6.73
			2020	5494	2694	-25.86	-35.55
			2021	6516	3140	-12.08	-24.88

Continua nella prossima pagina

Continua dalla pagina precedente

Strada	Lung. [m]	Velocità [km/h]	Anno	TGM [veh/d]	E-NO _x [g/km/d]	Δ TGM [%]	Δ E-NO _x [%]
Via Hofer	384	30	2018	2583	1641	0.00	0.00
			2019	2598	1532	0.58	-6.70
			2020	1915	1055	-25.86	-35.72
			2021	2271	1228	-12.08	-25.17
Via IV Novembre	559	40	2018	8348	4709	0.00	0.00
			2019	8396	4392	0.57	-6.73
			2020	6189	3035	-25.86	-35.55
			2021	7340	3537	-12.08	-24.88
Via Laurin	424	33	2018	9499	5797	0.00	0.00
			2019	9553	5408	0.57	-6.71
			2020	7042	3729	-25.86	-35.66
			2021	8352	4343	-12.08	-25.07
Via Lungo Riva	883	40	2018	9712	5478	0.00	0.00
			2019	9767	5109	0.57	-6.74
			2020	7200	3530	-25.86	-35.55
			2021	8539	4115	-12.08	-24.88
Via Nazionale	1946	40	2018	17474	9856	0.00	0.00
			2019	17574	9192	0.57	-6.73
			2020	12955	6352	-25.86	-35.55
			2021	15363	7403	-12.08	-24.88
Via Parrocchia	547	40	2018	8045	4538	0.00	0.00
			2019	8091	4232	0.57	-6.74
			2020	5964	2925	-25.86	-35.55
			2021	7074	3409	-12.07	-24.88
Via Petrarca	1014	40	2018	15972	9009	0.00	0.00
			2019	16063	8402	0.57	-6.74
			2020	11842	5807	-25.86	-35.55
			2021	14043	6767	-12.08	-24.88
Via Piave	885	40	2018	8668	4889	0.00	0.00
			2019	8718	4560	0.57	-6.73
			2020	6426	3151	-25.86	-35.55
			2021	7621	3673	-12.08	-24.88
Via Roma	2936	40	2018	9753	5501	0.00	0.00
			2019	9808	5130	0.57	-6.74
			2020	7231	3545	-25.86	-35.55
			2021	8575	4132	-12.08	-24.88

Continua nella prossima pagina

Continua dalla pagina precedente

Strada	Lung. [m]	Velocità [km/h]	Anno	TGM [veh/d]	E-NO _x [g/km/d]	Δ TGM [%]	Δ E-NO _x [%]
Via San Francesco	311	30	2018	6397	4065	0.00	0.00
			2019	6433	3792	0.56	-6.72
			2020	4743	2613	-25.86	-35.72
			2021	5624	3042	-12.08	-25.18
Via San Giorgio	451	40	2018	6719	3790	0.00	0.00
			2019	6758	3535	0.57	-6.73
			2020	4981	2443	-25.86	-35.55
			2021	5908	2847	-12.08	-24.88
Via San Valentino	1655	40	2018	9712	5478	0.00	0.00
			2019	9767	5109	0.57	-6.74
			2020	7200	3530	-25.86	-35.55
			2021	8539	4115	-12.08	-24.88
Via Scena	1074	33	2018	8576	5233	0.00	0.00
			2019	8625	4882	0.57	-6.71
			2020	6358	3367	-25.86	-35.66
			2021	7540	3921	-12.08	-25.08
Via Valier	465	40	2018	16489	9300	0.00	0.00
			2019	15579	8149	-5.52	-12.38
			2020	12094	5930	-26.66	-36.24
			2021	13677	6591	-17.06	-29.13
Via Virgilio	201	33	2018	2365	1443	0.00	0.00
			2019	2378	1346	0.55	-6.73
			2020	1753	928	-25.88	-35.68
			2021	2079	1081	-12.09	-25.09
Via Zuegg	697	28	2018	13440	8797	0.00	0.00
			2019	13516	8207	0.57	-6.71
			2020	9964	5651	-25.86	-35.77
			2021	11816	6576	-12.08	-25.25
Via delle Corse	360	33	2018	5594	3414	0.00	0.00
			2019	5626	3185	0.57	-6.71
			2020	4147	2196	-25.87	-35.67
			2021	4918	2558	-12.08	-25.08
Via delle Palade	1960	40	2018	17226	9716	0.00	0.00
			2019	17324	9061	0.57	-6.74
			2020	12771	6262	-25.86	-35.54
			2021	15145	7298	-12.08	-24.88

Continua nella prossima pagina

Continua dalla pagina precedente

Strada	Lung. [m]	Velocità [km/h]	Anno	TGM [veh/d]	E-NO _x [g/km/d]	Δ TGM [%]	Δ E-NO _x [%]
Via delle Terme	274	28	2018	12312	8059	0.00	0.00
			2019	12382	7519	0.57	-6.71
			2020	9128	5177	-25.86	-35.77
			2021	10825	6025	-12.08	-25.24
Viale Europa	473	31	2018	15164	9503	0.00	0.00
			2019	15250	8865	0.57	-6.71
			2020	11243	6110	-25.86	-35.70
			2021	13332	7113	-12.08	-25.14

6. Considerazioni conclusive

Il presente studio si è posto l'obiettivo di valutare l'evoluzione delle emissioni da traffico di biossido di azoto (NO_2) all'interno del tessuto urbano delle città di Bolzano e di Merano dal 2018 al 2021. Come ampiamente discusso nelle sezioni relative all'analisi dei dati di traffico (Sez. 4.2 per Bolzano e Sez. 5.2 per Merano), la discontinuità temporale e la presenza di anomalie osservative nella base dati disponibile ha impedito l'implementazione di tecniche di analisi avanzate, richiedendo invece la formulazione di ipotesi operative che consentissero di proseguire con le elaborazioni. All'interno dello studio ha giocato un ruolo chiave la volontà di definire metodi di analisi indipendenti dalla città investigata, al fine di garantire la generalità dei risultati.

L'impatto del traffico veicolare sulla qualità dell'aria è stato condotto per la città di Bolzano con un approccio puramente osservativo, ossia basato solamente sul confronto tra le concentrazioni medie annue di NO_2 ambientale ed il regime emissivo medio annuo di NO_x generato da traffico. Per la città di Merano, oltre all'analisi della base di dati si è proceduto modellando numericamente la dispersione delle emissioni veicolari in atmosfera. In questo modo è stato possibile ricostruire anche la distribuzione spaziale media annua delle concentrazioni di NO_2 .

Risulta tuttavia interessante a questo punto poter effettuare un confronto tra i risultati ottenuti dalle elaborazioni comuni alle due città.

L'analisi delle concentrazioni medie mensili e medie annue di NO_2 ha evidenziato come in entrambe le città sia in atto un progressivo miglioramento della qualità dell'aria. Tale miglioramento è risultato essere fortemente correlato con il traffico veicolare ed il regime emissivo associato. Infatti, si è osservato che le limitazioni sui trasporti introdotte per il contenimento della pandemia COVID-19 nel 2020 hanno forzatamente ridotto il numero dei veicoli circolanti e quindi determinato la riduzione delle emissioni di NO_x in sede stradale. Ciò ha contribuito alla riduzione delle concentrazioni di NO_2 da traffico in aria ambiente. Nel 2021, oltre alla presenza di periodi con limitazioni alla circolazione soprattutto nei primi mesi dell'anno, il miglioramento della qualità dell'aria è anche compatibile con il rinnovo del parco circolante che ha permesso di contenere le emissioni veicolari e le concentrazioni

Tabella 40: Valori annui di TGM, emissione (E-NO_x) e fattori di emissione (EF-NO_x) di NO_x con relative variazioni percentuali (Δ) dal 2018 lungo la MEBO ed aggregati sulle strade urbane delle città di Bolzano e di Merano.

		Bolzano			Merano		
Strada	Anno	TGM [veh/d]	E-NO _x [g/km/d]	EF-NO _x [g/veh/d]	TGM [veh/d]	E-NO _x [g/km/d]	EF-NO _x [g/veh/d]
MEBO	2018	40446	23317	0.58	30677	21292	0.69
	2019	40335	21753	0.51	30907	20195	0.65
	2020	31048	15897	0.51	24625	15251	0.62
	2021	37221	18227	0.49	28714	17091	0.60
Strade urbane	2018	15883	8733	0.55	11476	6559	0.57
	2019	15917	8298	0.52	11520	6106	0.53
	2020	12105	6322	0.52	8515	4231	0.50
	2021	14684	6914	0.47	10081	4923	0.49
Strada	Anno	Δ TGM [%]	Δ E-NO _x [%]	Δ EF-NO _x [%]	Δ TGM [%]	Δ E-NO _x [%]	Δ EF-NO _x [%]
MEBO	2018	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2019	-0.27	-6.71	-12.07	0.75	-5.15	-5.80
	2020	-23.24	-31.82	-12.07	-19.73	-28.37	-10.14
	2021	-7.97	-21.82	-15.52	-6.40	-19.73	-13.04
Strade urbane	2018	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2019	0.21	-4.98	-5.18	0.39	-6.91	-7.27
	2020	-23.79	-27.60	-5.00	-25.80	-35.49	-13.07
	2021	-7.55	-20.83	-14.36	-12.15	-24.95	-14.57

di NO₂.

Un ultimo aspetto che si ritiene interessante osservare è quello relativo al traffico e al regime emissivo associato nelle due città. In Tab. 40 si riportano i valori annui di TGM, emissione (E-NO_x) e fattori di emissione (EF-NO_x) di NO_x con relative variazioni percentuali (Δ) dal 2018 lungo la MEBO ed aggregati sulle strade urbane delle città di Bolzano e di Merano. Tali valori provengono dalle Tabelle 28 e 36 già presentate in relazione e permettono di osservare che:

1. Il traffico lungo la MEBO tende a ridursi del 25% spostandosi da Bolzano a Merano.
2. La differenza dei fattori di emissione tra la MEBO a Merano (superiori) e la MEBO a Bolzano (inferiori) può essere ricondotta alla diversa velocità media delle categorie di veicoli (Tab. 26 e 35). Infatti, lungo il tratto di MEBO considerato nello studio per Bolzano il limite di velocità è pari a 90km/h, mentre a Merano è pari a 110km/h.
3. La variazione percentuale del TGM lungo le strade urbane delle due città rispetto al 2018 è confrontabile fino al 2020. Nel 2021 la riduzione percentuale

del TGM a Merano è maggiore che non a Bolzano. Questo comportamento può essere interpretato con la ripresa delle attività dopo l'allentamento delle restrizioni imposte dalla pandemia e la ripresa del fenomeno del pendolarismo, che mobilita molte più persone a Bolzano.

4. Il basso valore di TGM osservato a Merano nel 2021 spiega il contenimento delle emissioni di NO_x .
5. La diversa dimensione del bacino delle due città, invece, può spiegare la riduzione del fattore di emissione osservata nel 2021 che risulta essere più marcata a Bolzano rispetto a Merano. Infatti, ci si può attendere che gli effetti connessi al rinnovo del parco circolante siano enfatizzati, o comunque più evidenti, laddove i flussi veicolari risultano essere maggiori.

A. Tabelle di consistenza dei dati di traffico da reti di monitoraggio

Appendice A. Tabelle di consistenza dei dati di traffico da reti di monitoraggio

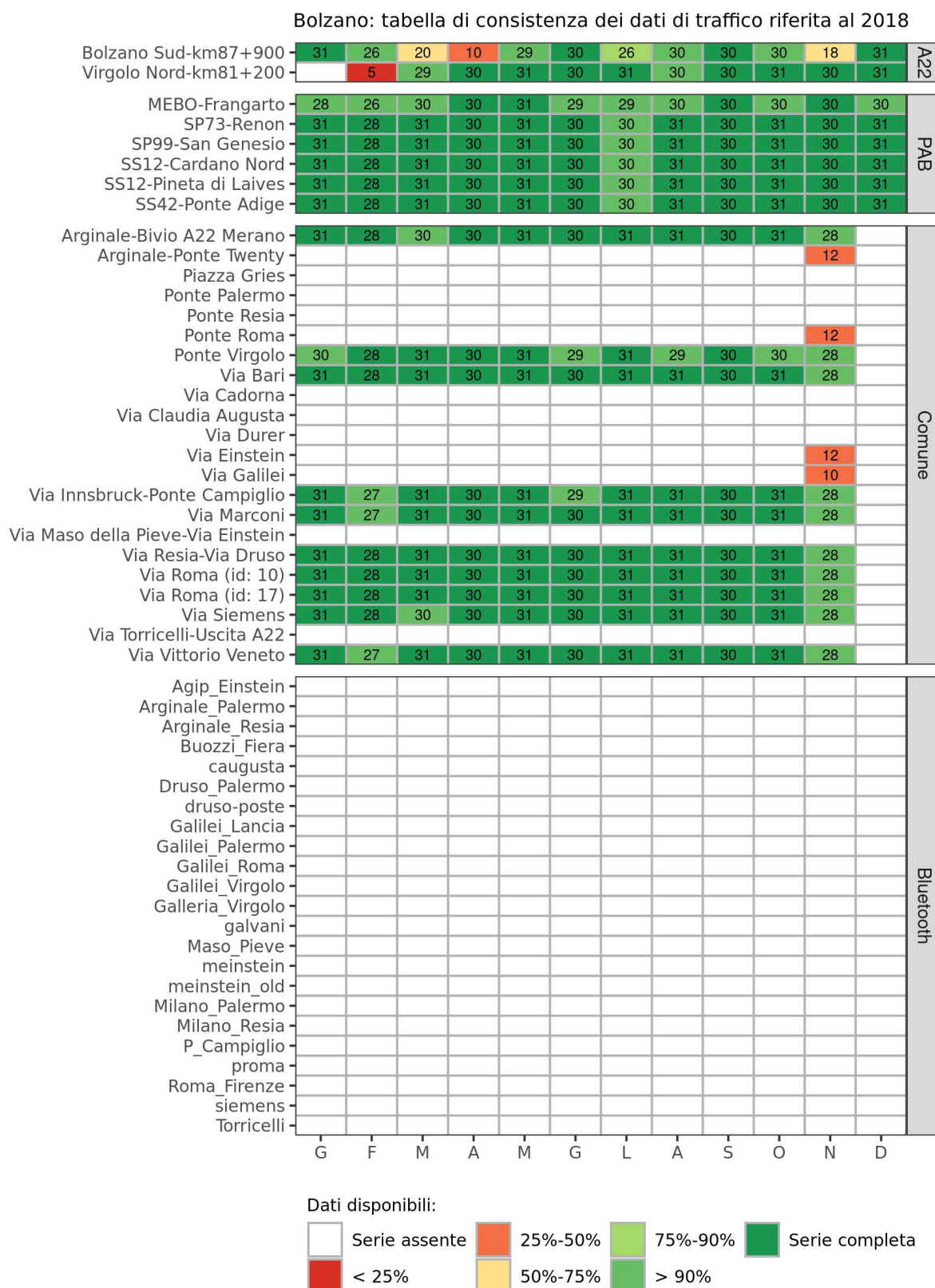


Figura 56: Tabella di consistenza dei dati di traffico a Bolzano per l'anno 2018.

Appendice A. Tabelle di consistenza dei dati di traffico da reti di monitoraggio

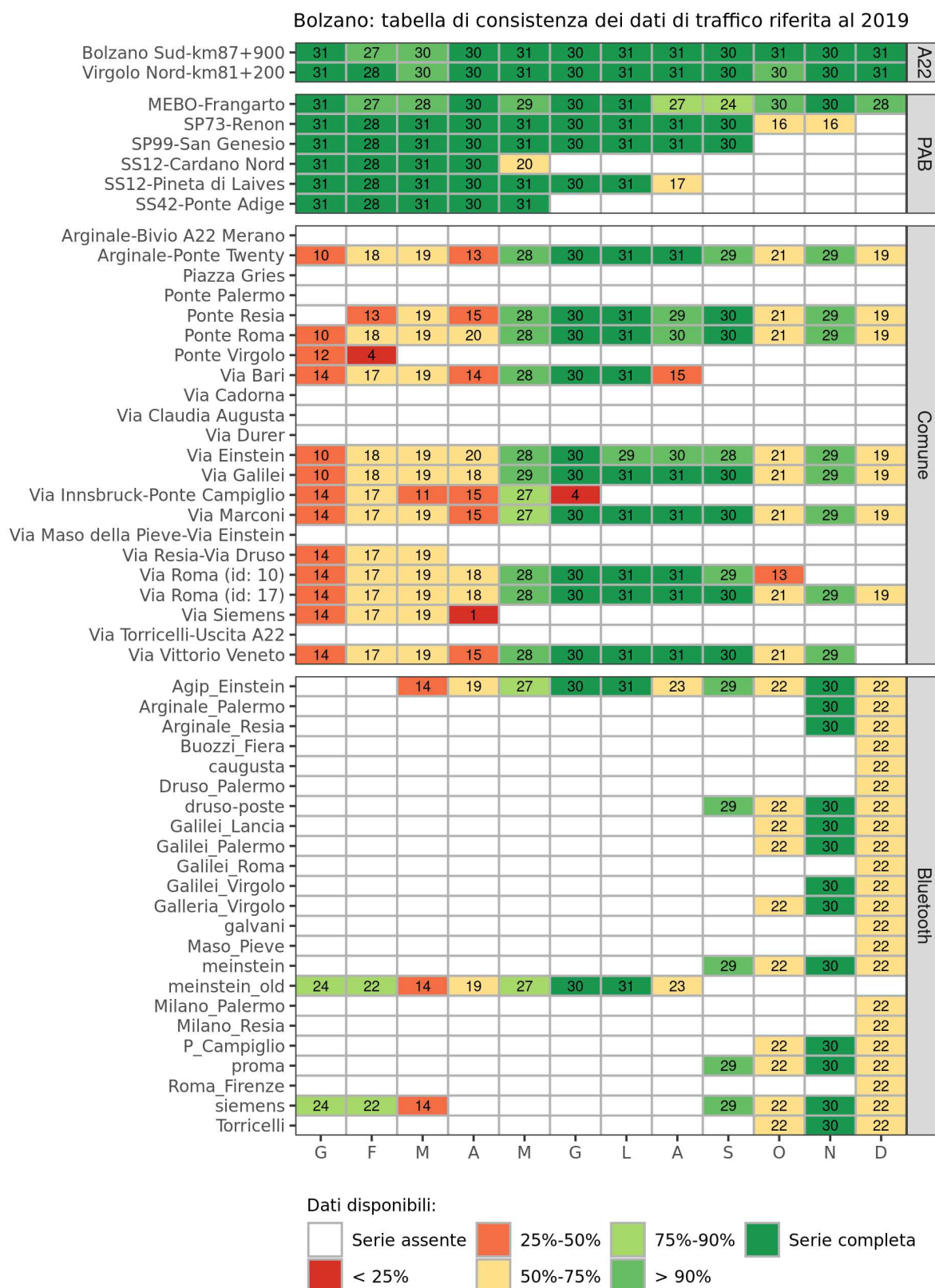


Figura 57: Tabella di consistenza dei dati di traffico a Bolzano per l'anno 2019.

Appendice A. Tabelle di consistenza dei dati di traffico da reti di monitoraggio

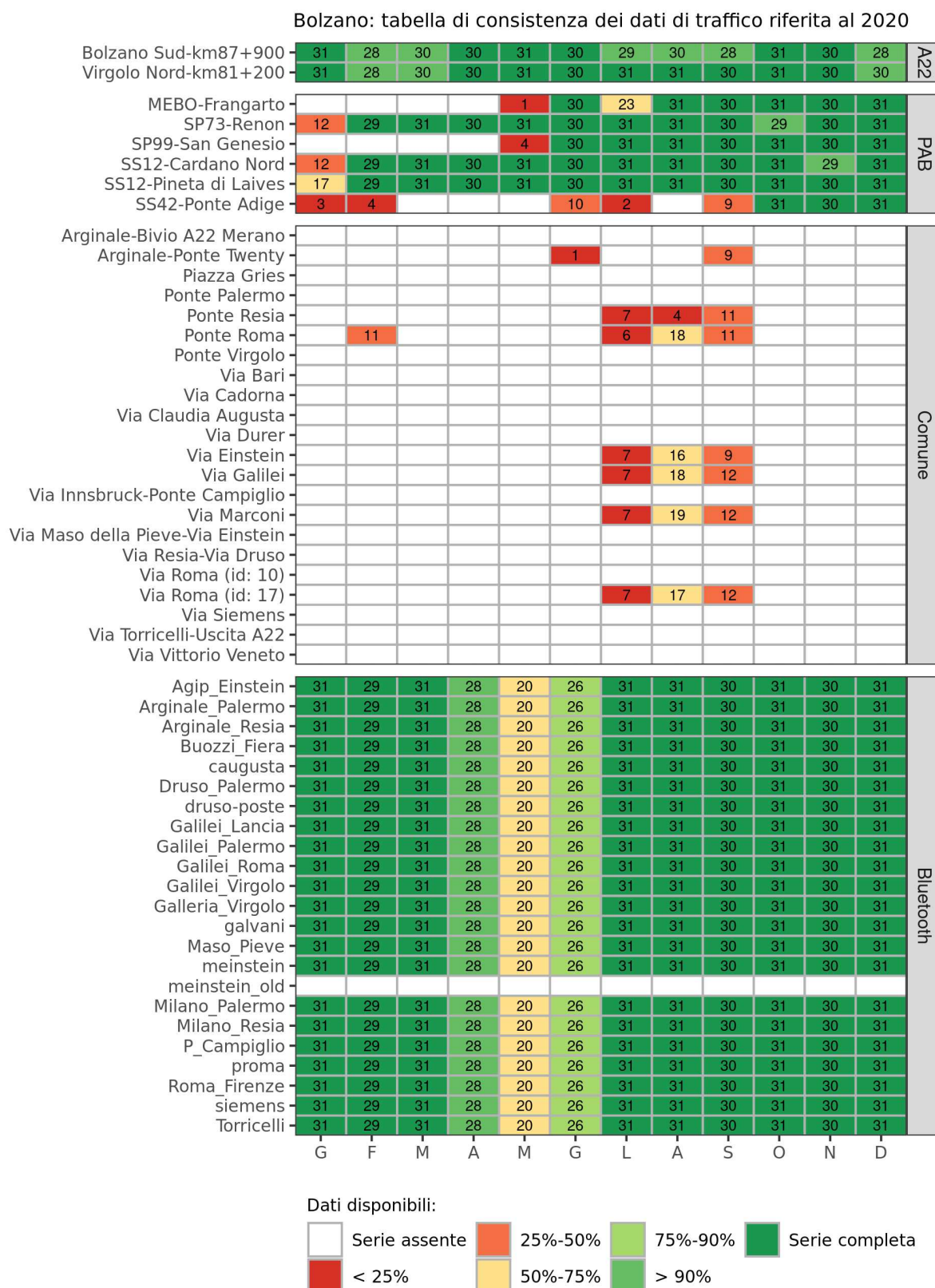


Figura 58: Tabella di consistenza dei dati di traffico a Bolzano per l'anno 2020.

Appendice A. Tabelle di consistenza dei dati di traffico da reti di monitoraggio

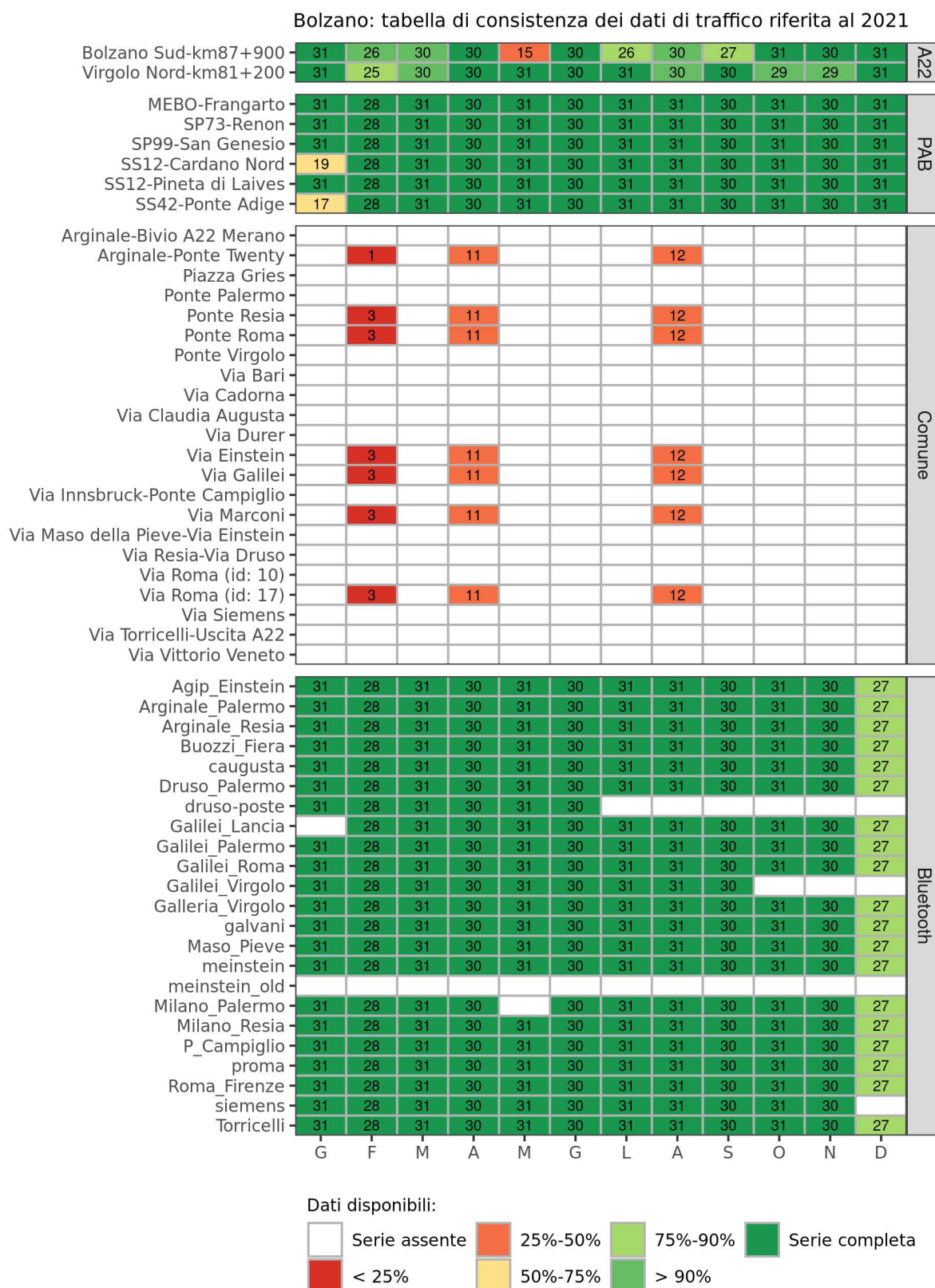


Figura 59: Tabella di consistenza dei dati di traffico a Bolzano per l'anno 2021.

Appendice A. Tabelle di consistenza dei dati di traffico da reti di monitoraggio



Figura 60: Tabella di consistenza dei dati di traffico a Merano per l'anno 2018.

Appendice A. Tabelle di consistenza dei dati di traffico da reti di monitoraggio



Figura 61: Tabella di consistenza dei dati di traffico a Merano per l'anno 2019.

Appendice A. Tabelle di consistenza dei dati di traffico da reti di monitoraggio

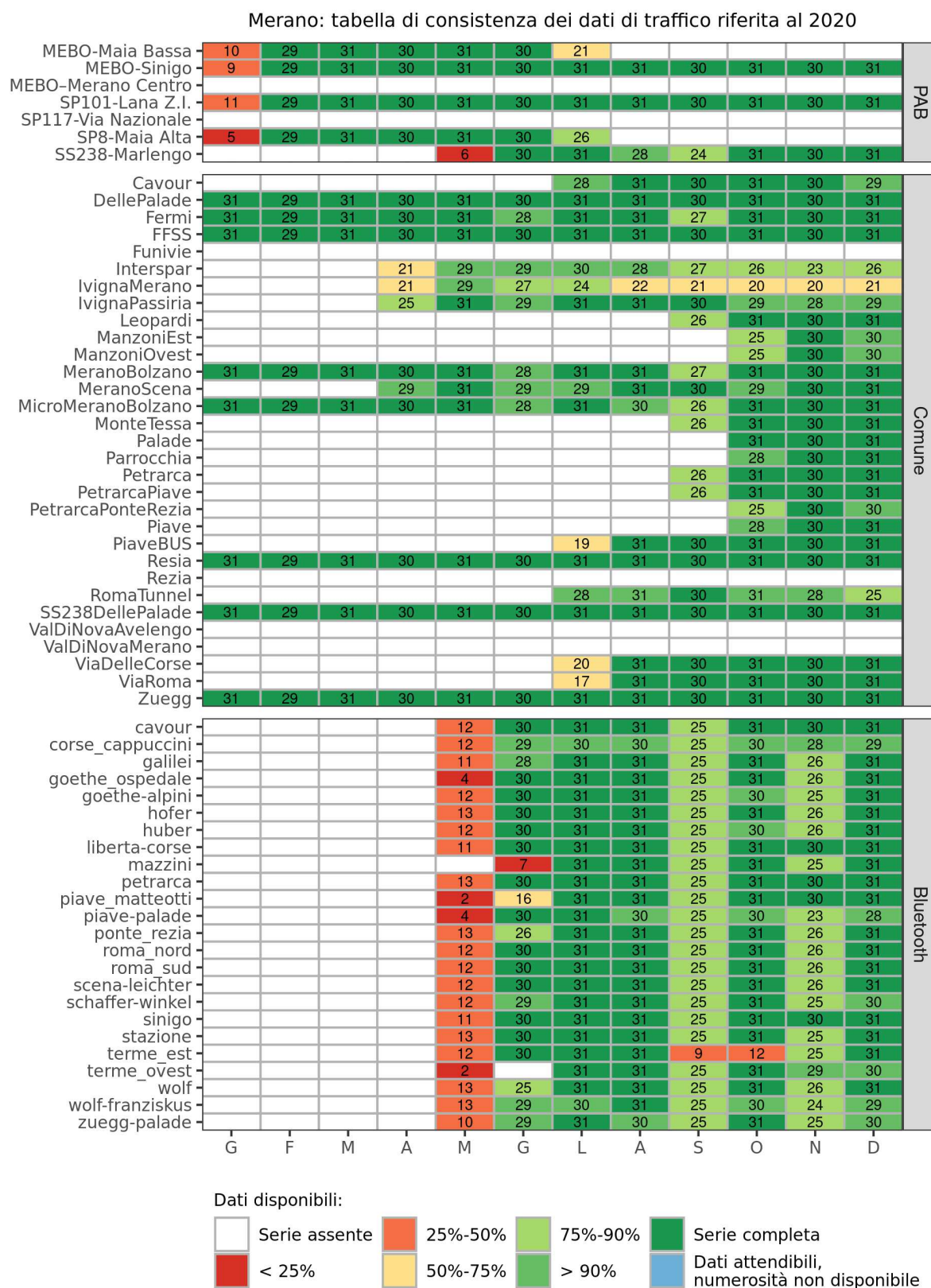


Figura 62: Tabella di consistenza dei dati di traffico a Merano per l'anno 2020.

Appendice A. Tabelle di consistenza dei dati di traffico da reti di monitoraggio

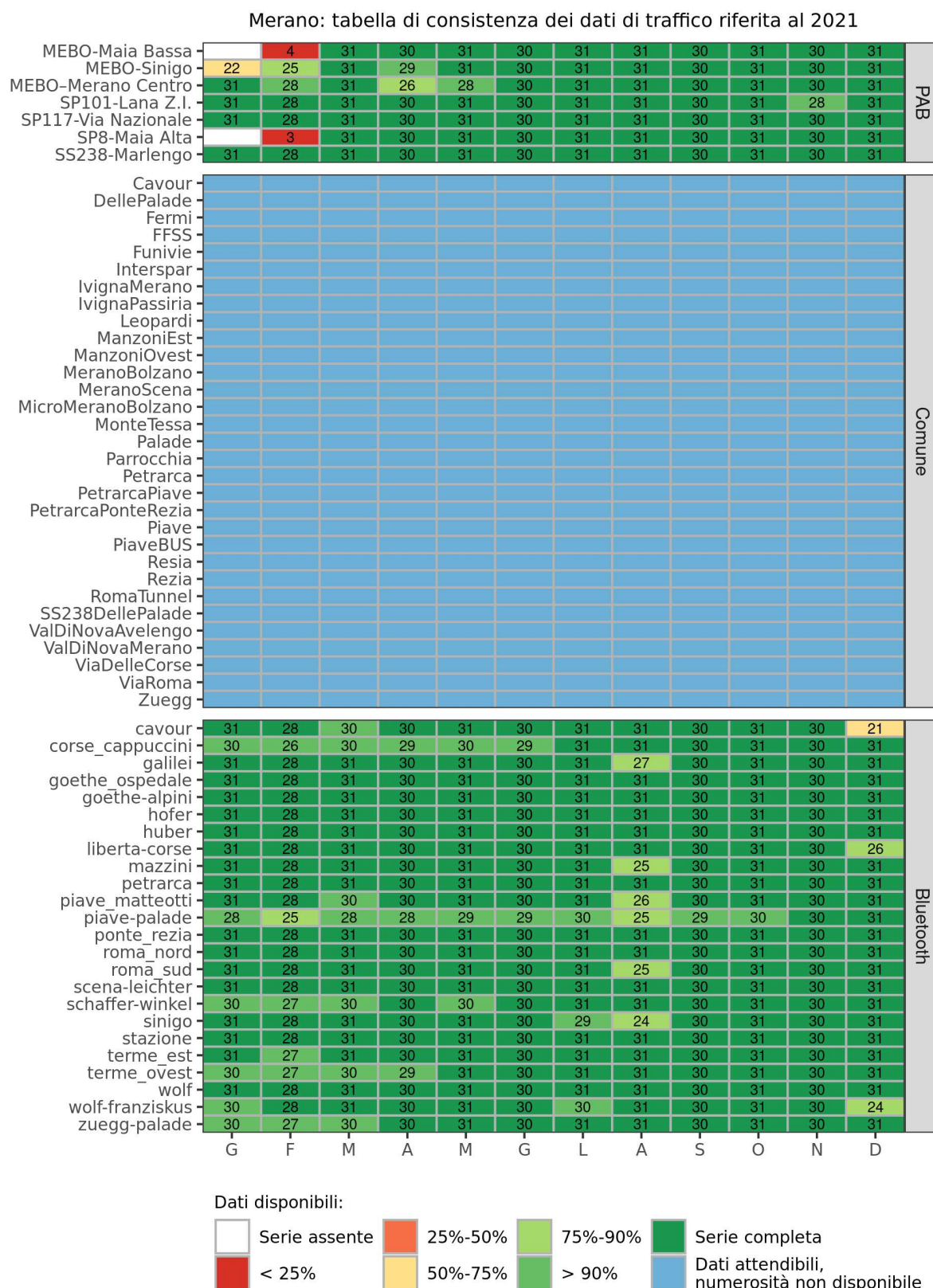


Figura 63: Tabella di consistenza dei dati di traffico a Merano per l'anno 2021.

B. Elenco delle tavole allegate

B.1 Comune di Bolzano

Tav_01_Bolzano_Reti_di_monitoraggio_Traffico_e_NO2 Geolocalizzazione dei punti di misura appartenenti alle reti di monitoraggio di qualità dell'aria (centraline e campionatori passivi FERM) e di monitoraggio del traffico (stazioni contatraffico provinciali, comunali e sensori bluetooth) all'interno del Comune di Bolzano.

Tav_02_Bolzano_Stazioni_campagna_rilievo_traffico_febbraio_2020.pdf Posizione delle stazioni di misura collocate a Bolzano durante la campagna di rilievo del traffico condotta a febbraio 2020.

Tav_03_Bolzano_TGM_anno_2018.pdf Distribuzione sul grafo stradale di Bolzano del TGM relativo all'anno 2018.

Tav_04_Bolzano_TGM_anno_2019.pdf Distribuzione sul grafo stradale di Bolzano del TGM relativo all'anno 2019.

Tav_05_Bolzano_TGM_anno_2020.pdf Distribuzione sul grafo stradale di Bolzano del TGM relativo all'anno 2020.

Tav_06_Bolzano_TGM_anno_2021.pdf Distribuzione sul grafo stradale di Bolzano del TGM relativo all'anno 2021.

Tav_07_Bolzano_Emissioni_NOx_anno_2018.pdf Distribuzione delle emissioni medie annue di NO_x da traffico veicolare generate lungo il grafo stradale di Bolzano e relative all'anno 2018.

Tav_08_Bolzano_Emissioni_NOx_anno_2019.pdf Distribuzione delle emissioni medie annue di NO_x da traffico veicolare generate lungo il grafo stradale di Bolzano e relative all'anno 2019.

Tav_09_Bolzano_Emissioni_NOx_anno_2020.pdf Distribuzione delle emissioni medie annue di NO_x da traffico veicolare generate lungo il grafo stradale di Bolzano e relative all'anno 2020.

Tav_10_Bolzano_Emissioni_NOx_anno_2021.pdf Distribuzione delle emissioni medie annue di NO_x da traffico veicolare generate lungo il grafo stradale di Bolzano e relative all'anno 2021.

B.2 Comune di Merano

Tav_01_Merano_Reti_di_monitoraggio_Traffico_e_NO2 Geolocalizzazione dei punti di misura appartenenti alle reti di monitoraggio di qualità dell'aria (centraline e campionatori passivi FERM) e di monitoraggio del traffico (stazioni contatraffico provinciali, comunali e sensori bluetooth) all'interno del Comune di Merano.

Tav_02_Merano_TGM_anno_2018.pdf Distribuzione sul grafo stradale di Merano del TGM relativo all'anno 2018.

Tav_03_Merano_TGM_anno_2019.pdf Distribuzione sul grafo stradale di Merano del TGM relativo all'anno 2019.

Tav_04_Merano_TGM_anno_2020.pdf Distribuzione sul grafo stradale di Merano del TGM relativo all'anno 2020.

Tav_05_Merano_TGM_anno_2021.pdf Distribuzione sul grafo stradale di Merano del TGM relativo all'anno 2021.

Tav_06_Merano_emissioni_NOx_anno_2018.pdf Distribuzione delle emissioni medie annue di NO_x da traffico veicolare generate lungo il grafo stradale di Merano e relative all'anno 2018.

Tav_07_Merano_emissioni_NOx_anno_2019.pdf Distribuzione delle emissioni medie annue di NO_x da traffico veicolare generate lungo il grafo stradale di Merano e relative all'anno 2019.

Tav_08_Merano_emissioni_NOx_anno_2020.pdf Distribuzione delle emissioni medie annue di NO_x da traffico veicolare generate lungo il grafo stradale di Merano e relative all'anno 2020.

Tav_09_Merano_emissioni_NOx_anno_2021.pdf Distribuzione delle emissioni medie annue di NO_x da traffico veicolare generate lungo il grafo stradale di Merano e relative all'anno 2021.

Tav_10_Merano_concentrazioni_NO2_lineari_anno_2018.pdf Mappa delle concentrazioni medie annue di NO₂ da traffico veicolare simulate a Merano per l'anno 2018.

Tav_11_Merano_concentrazioni_NO2_lineari_anno_2019.pdf Mappa delle concentrazioni medie annue di NO₂ da traffico veicolare simulate a Merano per l'anno 2019.

Tav_12_Merano_concentrazioni_NO2_lineari_anno_2020.pdf Mappa delle concentrazioni medie annue di NO₂ da traffico veicolare simulate a Merano per l'anno 2020.

Tav_13_Merano_concentrazioni_NO2_lineari_anno_2021.pdf Mappa delle concentrazioni medie annue di NO₂ da traffico veicolare simulate a Merano per l'anno 2021.

Tav_14_Merano_concentrazioni_NO2_altre_anno_2018.pdf Mappa delle concentrazioni medie annue di NO₂ da altre sorgenti simulate a Merano per l'anno 2018.

Tav_15_Merano_concentrazioni_NO2_altre_anno_2019.pdf Mappa delle concentrazioni medie annue di NO₂ da altre sorgenti simulate a Merano per l'anno 2019.

Tav_16_Merano_concentrazioni_NO2_altre_anno_2020.pdf Mappa delle concentrazioni medie annue di NO₂ da altre sorgenti simulate a Merano per l'anno 2020.

Tav_17_Merano_concentrazioni_NO2_altre_anno_2021.pdf Mappa delle concentrazioni medie annue di NO₂ da altre sorgenti simulate a Merano per l'anno 2021.

Tav_18_Merano_concentrazioni_NO2_totali_anno_2018.pdf Mappa delle concentrazioni medie annue totali di NO₂ simulate a Merano per l'anno 2018.

Tav_19_Merano_concentrazioni_NO2_totali_anno_2019.pdf Mappa delle concentrazioni medie annue totali di NO₂ simulate a Merano per l'anno 2019.

Tav_20_Merano_concentrazioni_NO2_totali_anno_2020.pdf Mappa delle concentrazioni medie annue totali di NO₂ simulate a Merano per l'anno 2020.

Tav_21_Merano_concentrazioni_NO2_totali_anno_2021.pdf Mappa delle concentrazioni medie annue totali di NO₂ simulate a Merano per l'anno 2021.

Tav_22_Merano_concentrazioni_NO2_perc_lineari_anno_2018.pdf Contributo percentuale delle concentrazioni medie annue di NO₂ generate dalle sorgenti lineari nel 2018 rispetto alle corrispondenti concentrazioni totali per la città di Merano.

Tav_23_Merano_concentrazioni_NO2_perc_lineari_anno_2019.pdf Contributo percentuale delle concentrazioni medie annue di NO₂ generate dalle sorgenti lineari nel 2019 rispetto alle corrispondenti concentrazioni totali per la città di Merano.

Tav_24_Merano_concentrazioni_NO2_perc_lineari_anno_2020.pdf Contributo percentuale delle concentrazioni medie annue di NO₂ generate dalle sorgenti lineari nel 2020 rispetto alle corrispondenti concentrazioni totali per la città di Merano.

Tav_25_Merano_concentrazioni_NO2_perc_lineari_anno_2021.pdf Contributo percentuale delle concentrazioni medie annue di NO₂ generate dalle sorgenti lineari nel 2021 rispetto alle corrispondenti concentrazioni totali per la città di Merano.

Tav_23_Merano_concentrazioni_NO2_confronto_2019-2018.pdf Variazione percentuale delle concentrazioni medie annue di NO₂ generate dalle sorgenti lineari nell'anno 2019 rispetto alle corrispondenti concentrazioni simulate per il 2018 (baseline).

Tav_24_Merano_concentrazioni_NO2_perc_confronto_2020-2018.pdf Variazione percentuale delle concentrazioni medie annue di NO₂ generate dalle sorgenti lineari nell'anno 2020 rispetto alle corrispondenti concentrazioni simulate per il 2018 (baseline).

Tav_25_Merano_concentrazioni_NO2_perc_confronto_2021-2018.pdf Variazione percentuale delle concentrazioni medie annue di NO₂ generate dalle sorgenti lineari nell'anno 2021 rispetto alle corrispondenti concentrazioni simulate per il 2018 (baseline).

Bibliografia

APPABZ (2021). Valutazione della qualità dell'aria 2017–2020. Tech. rep., Agenzia per l'ambiente e la protezione del clima, Provincia Autonoma di Bolzano.

Miotto, V., Pretto, L., Lazzeri, P., Tonidandel, G., Gasser, L., Guariento, M., Schiavon, M., Giovannini, L., De Biasi, I., Catoni, D., & Cavaliere, R. (2017). D.C1.1 Descrizione dettagliata dei sistemi di monitoraggio. Rapporto tecnico, Progetto Life BrennerLEC (Life15 ENV/IT/000281).

URL <https://brennerlec.life/technical-details>

Romberg, E., Bösing, R., Lohmeyer, A., Ruhnke, R., & Röth, R. (1996). NO-NO₂-Umwandlung für die Anwendung bei Immissionsprognosen für Kfz-Abgas-Gefahrstoffe. *Reinhaltung der luft*, 56, pp. 215–218.