



**LIFE15 ENV/IT/000281**

**BrennerLEC**

**Action C1: Air quality, noise and traffic monitoring**

#### **D.C1.4**

## **Report finale delle campagne di misura nei tratti BLEC-ENV, BLEC-AQ e BLEC-LEZ**



Autostrada del Brennero SpA  
Brennerautobahn AG

AUTONOME PROVINZ BOZEN SÜDTIROL



PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO ALTO ADIGE

PROVINCIA AUTONOMA DE BULSAN SÜDTIROL



PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO



TECHPARK SÜDTIROL/ALTO ADIGE



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI  
DI TRENTO





## Storia del documento

Data	Autori	Contributo
31/12/2021	Valentina Miotto (APPATN), Patrick Dalpiaz (APPABZ), Lorenzo Giovannini (UNITN), Andrea Bisignano (UNITN), Elena Bertazza (UNITN), Ilaria Todeschini (CISMA) Gianluca Antonacci (CISMA)	Prima versione del documento sottomessa alla Commissione Europea.



## Indice dei contenuti

Executive Summary.....	11
1 Introduzione.....	14
2 Traffico.....	16
2.1 Composizione del traffico.....	16
2.2 Analisi dei dati di transito.....	22
3 Caratterizzazione meteorologica e di qualità dell'aria.....	26
3.1 Meteorologia.....	26
3.1.1 Caratterizzazione meteorologica stazioni di monitoraggio ai km 103 e 177	27
3.2 Qualità dell'aria – stazioni di monitoraggio.....	32
3.2.1 Concentrazioni medie annuali.....	32
3.2.2 Stazioni di monitoraggio a bordo autostrada (km 103, 107 e 164).....	35
3.2.3 Effetti indotti dalla pandemia di COVID-19: variazioni medie di NO <sub>2</sub> .....	40
3.2.4 Effetti indotti dalla pandemia di COVID-19: variazione delle medie giornaliere.....	46
3.2.5 Effetti indotti dalla pandemia di COVID-19: ciclo medio giornaliero.....	49
3.2.6 Effetti indotti dalla pandemia di COVID-19: valori normalizzati di NO <sub>2</sub> .....	52
3.2.7 Effetti indotti dalla pandemia di COVID-19: analisi delle emissioni di NO <sub>x</sub> e CO <sub>2</sub> .....	58
3.2.8 Concentrazioni di black carbon.....	66
3.2.9 Effetti indotti dalla pandemia di COVID-19 sulle concentrazioni di black carbon.....	70
3.2.10 Particolato atmosferico e altri inquinanti.....	74
3.3 Qualità dell'aria – campionatori passivi.....	78
3.4 Qualità dell'aria - sensori innovativi.....	82
Conclusioni.....	94
Bibliografia.....	97



## Indice delle Figure

Figura 1: Andamento temporale e distribuzione di frequenza del traffico orario medio di veicoli leggeri (LE), pesanti (PE) e bus/camion medi (BU) e delle loro velocità (VLE, VPE e VBU) alla spira 107 per l'anno 2020.....	16
Figura 2: Andamento temporale e distribuzione di frequenza del traffico orario medio di veicoli leggeri (LE), pesanti (PE) e bus/camion medi (BU) e delle loro velocità (VLE, VPE e VBU) alla spira 107 per l'anno 2021.....	17
Figura 3: Ciclo giornaliero, settimanale, mensile del TGM di veicoli leggeri, pesanti e degli autobus alla spira 107 per l'anno 2020 – valori normalizzati.....	18
Figura 4: Ciclo giornaliero, settimanale, mensile del TGM di veicoli leggeri, pesanti e degli autobus alla spira 107 per l'anno 2021 – valori normalizzati.....	19
Figura 5: Ciclo giornaliero, settimanale, mensile del TGM di veicoli leggeri, pesanti e degli autobus alla spira 107 per l'anno 2020 – valori assoluti espressi in veicoli/ora.....	20
Figura 6: Ciclo giornaliero, settimanale, mensile del TGM di veicoli leggeri, pesanti e degli autobus alla spira 107 per l'anno 2021 – valori assoluti espressi in veicoli/ora.....	21
Figura 7: Andamento dei transiti settimanali totali presso la spira al km 107 nell'anno 2020 (linea rossa) e nell'anno 2021 (linea blu) rispetto alla media dei due anni precedenti 2018-2019 (linea nera).....	22
Figura 8: Andamento dei transiti settimanali leggeri presso la spira al km 107 nell'anno 2020 (linea rossa) e nell'anno 2021 (linea blu) rispetto alla media dei due anni precedenti 2018-2019 (linea nera).....	23
Figura 9: Andamento dei transiti settimanali pesanti presso la spira al km 107 nell'anno 2020 (linea rossa) e nell'anno 2021 (linea blu) rispetto alla media dei due anni precedenti 2018-2019 (linea nera).....	23
Figura 11: Riduzione dei transiti settimanali leggeri presso la spira al km 107 rispetto al biennio 2018-2019 nell'anno 2020 (linea rossa) e nell'anno 2021 (linea blu).....	24
Figura 12: Rose dei venti delle stazioni di monitoraggio ai km 103 e 164 - anno 2020 e 2021.....	26
Figura 13: Rose dei venti della stazione di monitoraggio al km 103 - anno 2020.....	27
Figura 14: Rose dei venti della stazione di monitoraggio al km 103 - anno 2021.....	28
Figura 15: Rose dei venti della stazione di monitoraggio al km 164 - anno 2020.....	29
Figura 16: Rose dei venti della stazione di monitoraggio al km 164 - anno 2021.....	30
Figura 17: Valori medi annuali di NO <sub>2</sub> nelle diverse stazioni dal 2017 al 2020.....	32



Figura 18: Andamento di biossido di azoto NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] presso la stazione ML103 nell'anno 2020 (linea arancione) rispetto alla media dei tre anni precedenti 2017-2019 (linea blu). .....	33
Figura 19: Concentrazione media mensile e annua di NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] per l'anno 2020 - stazione km 103.....	34
Figura 20: Concentrazione media mensile e annua di NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] per l'anno 2020 - stazione km 107.....	34
Figura 21: Concentrazione media mensile e annua di NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] per l'anno 2020 - stazione km 164.....	35
Figura 22: Concentrazione media mensile di NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] per l'anno 2021 - stazione km 103.....	35
Figura 23: Concentrazione media mensile di NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] per l'anno 2021 - stazione km 107.....	36
Figura 24: Concentrazione media mensile di NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] per l'anno 2021 - stazione km 164.....	36
Figura 25: Andamento dell'ossido di azoto NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] nei tre siti di monitoraggio ai km 103 (rosso), km 107 (verde) e km 164 (blu) - anno 2020.....	37
Figura 26: Andamento del biossido di azoto NO <sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] nei tre siti di monitoraggio ai km 103 (rosso), km 107 (verde) e km 164 (blu) - anno 2021.....	38
Figura 27: Confronto delle concentrazioni di NO <sub>2</sub> nei periodi con diverse intensità di traffico negli anni 2017-2020 per la stazione ML103.....	43
Figura 28: Come in 27, ma per la stazione ML107.....	43
Figura 29: Come in 27, ma per la stazione AB2.....	44
Figura 30: Come in 27, ma per la stazione CR1.....	44
Figura 31: Come in 27, ma per la stazione al km 164.....	44
Figura 32: Come in 27, ma per la stazione al km 177.....	45
Figura 33: Come in 27, ma per la stazione Piana Rotaliana.....	45
Figura 34: Serie temporale su base giornaliera delle concentrazioni di NO <sub>2</sub> misurate presso la stazione ML107. La linea arancione tratteggiata rappresenta la concentrazione media nel periodo 2017-2019, gli estremi dell'area gialla rappresentano la concentrazione minima e massima nel periodo 2017-2019, mentre la linea verde continua rappresenta la concentrazione nell'anno 2020.....	46
Figura 35: Come in 34, ma per la stazione AB2.....	47



Figura 36: Come in 34, ma per la stazione al km164.....	47
Figura 37: Come in 34, ma per la stazione Piana Rotaliana.....	48
Figura 38: Ciclo medio giornaliero delle concentrazioni di NO <sub>2</sub> nel periodo con traffico inalterato (01/01 – 24/02) per la stazione ML103. In questa stazione non è disponibile il ciclo medio giornaliero per l'anno 2017.....	49
Figura 39: Ciclo medio giornaliero delle concentrazioni di NO <sub>2</sub> nel periodo di lockdown (09/03 – 03/05) per la stazione ML103.....	49
Figura 40: Ciclo medio giornaliero delle concentrazioni di NO <sub>2</sub> nel periodo con traffico inalterato (01/01 – 24/02) per la stazione AB2.....	50
Figura 41: Ciclo medio giornaliero delle concentrazioni di NO <sub>2</sub> nel periodo di lockdown (09/03 – 03/05) per la stazione AB2.....	50
Figura 42: Andamento della concentrazione di NO <sub>2</sub> misurata dalla stazione ML103. La linea blu rappresenta la media giornaliera, mentre l'area grigia l'incertezza ( $\pm$ deviazione standard).....	53
Figura 43: Andamento della concentrazione normalizzata di NO <sub>2</sub> ricavata dai dati della stazione ML103. La linea blu rappresenta la media giornaliera, l'area grigia l'incertezza ( $\pm$ deviazione standard), mentre le fasce verde, giallo, arancione e rosa indicano rispettivamente i quattro periodi con differente traffico nel 2020 evidenziati in questo studio.....	55
Figura 44: Come in Figura 18, ma per la stazione ML107.....	56
Figura 45: Emissioni giornaliere totali di ossidi di azoto stimate presso la spira al km 103: confronto tra gli anni 2017, 2018, 2019 e 2020.....	57
Figura 46: Come in 45, ma con emissioni per i soli veicoli leggeri.....	58
Figura 47: Come in 45, ma con emissioni per i soli veicoli pesanti.....	59
Figura 48: Emissioni giornaliere totali di anidride carbonica stimate presso la spira al km 103: confronto tra gli anni 2017, 2018, 2019 e 2020.....	60
Figura 49: Come in 48, ma con emissioni per i soli veicoli leggeri.....	60
Figura 50: Come in 48, ma con emissioni per i soli veicoli pesanti.....	61
Figura 51: Emissioni giornaliere totali di ossidi di azoto stimate presso la spira al km 164: confronto tra gli anni 2018, 2019 e 2020.....	62
Figura 52: Come in 51, ma con emissioni per i soli veicoli leggeri.....	62
Figura 53: Come in 51, ma con emissioni per i soli veicoli pesanti.....	63



Figura 54: Correlazione tra andamento del biossido di azoto NO <sub>2</sub> e del black carbon dovuto al traffico (BC_ff) nel sito di monitoraggio al km 164 – anno 2020: valori normalizzati.....	65
Figura 55: Correlazione tra andamento del biossido di azoto NO <sub>2</sub> e del black carbon dovuto al traffico (BC_ff) nel sito di monitoraggio al km 164 – anno 2021: valori normalizzati.....	66
Figura 56: Componenti di BC dovuto alla combustione della biomassa (BB) e al traffico (ff) per la stazione al km 164 - anno 2020: valori normalizzati.....	67
Figura 57: Componenti di BC dovuto alla combustione della biomassa (BB) e al traffico (ff) per la stazione al km 164 - anno 2021: valori normalizzati.....	68
Figura 58: Concentrazioni di black carbon dovute al traffico veicolare nel periodo gennaio-giugno negli anni 2017-2020 presso la stazione km164.....	69
Figura 59: Serie temporale su base giornaliera delle concentrazioni di black carbon dovute al traffico veicolare misurate presso la stazione km 164. La linea arancione tratteggiata rappresenta la concentrazione media nel periodo 2017-2019, gli estremi dell'area gialla rappresentano la concentrazione minima e massima nel periodo 2017-2019, mentre la linea verde continua rappresenta la concentrazione nell'anno 2020.....	71
Figura 60: Come in la Figura 59, ma per la componente di black carbon dovuto alla biomassa.....	71
Figura 61: Serie temporale su base giornaliera delle concentrazioni delle due componenti di black carbon dovute al traffico veicolare e alla combustione della biomassa misurate presso la stazione km 164 nell'anno 2020.....	72
Figura 62: Correlazione tra andamento delle concentrazioni di NO <sub>2</sub> , BCff e numero di particelle.....	73
(stage 5) nel sito di monitoraggio al km 164 – anno 2020: valori normalizzati.....	73
Figura 63: Andamento delle concentrazioni di PM10 presso la stazione di monitoraggio al km164 e la stazione di Rovereto posizionata in ambito di fondo urbano.....	74
Figura 64: Correlazione tra le concentrazioni di levoglucosano e PM10.....	75
Figura 65: Correlazione tra le concentrazioni di levoglucosano e benzoapirene B(a)P.....	75
Figura 66: Correlazione tra le concentrazioni di levoglucosano e componente BC_BB.....	76
Figura 67: Correlazione tra le concentrazioni di levoglucosano e componente BC_BB.....	76
Figura 71: cicli temporali della concentrazione di biossido di azoto misurati da AirQuino 1 e ML103 durante l'anno civile 2020.....	85



Figura 72: cicli temporali della concentrazione di biossido di azoto misurati da AirQuino 3 e BrennerLEC durante l'anno civile 2020.....	86
Figura 73: QQ-plot condizionali della concentrazione di biossido di azoto di AirQuino 1 in versus ML103, divisi per stagioni per l'anno 2020.....	87
Figura 74: QQ-plot condizionali della concentrazione di biossido di azoto di AirQuino 3 versus BrennerLEC, divisi per stagioni per l'anno 2020.....	88
Figura 75: cicli temporali della concentrazione di biossido di azoto misurati da AirQuino 6 nei bimestri marzo-aprile 2020 e 2019.....	89
Figura 76: cicli temporali della concentrazione di biossido di azoto misurati da AirQuino 1 nei bimestri marzo-aprile 2020 e 2019.....	90
Figura 77: risultati della calibrazione di vari AirQuino effettuata nel periodo 26/03/2021 - 16/04/2021 a confronto con le misure della stazione di riferimento.....	92



## Indice delle Tabelle

Tabella 1: elenco delle spire induttive analizzate e relativo posizionamento.....	16
Tabella 2: Confronto tra il numero medio di veicoli leggeri al giorno, su entrambe le carreggiate, nel triennio 2017-2019 e nel 2020 nei periodi in cui erano in atto le limitazioni agli spostamenti. I dati sono stati calcolati come media dei transiti nei tratti Egna-San Michele e Rovereto Nord-Rovereto Sud.....	40
Tabella 3: Come per la tabella 1, ma per i veicoli pesanti.....	40
Tabella 4: Confronto tra le concentrazioni di NO <sub>2</sub> nel triennio 2017-2019 e nel 2020 nel periodo con traffico inalterato (01/01-24/02) e nel periodo di lockdown (09/03-03/05) per la stazione ML107.....	42
Tabella 5: Confronto tra le concentrazioni di NO <sub>2</sub> nel triennio 2017-2019 e nel 2020 nel periodo con traffico inalterato (01/01-24/02) e nel periodo di lockdown (09/03-03/05) per la stazione ML103.....	42
Tabella 6: Confronto tra le concentrazioni di NO <sub>2</sub> nel triennio 2017-2019 e nel 2020 nel periodo con traffico inalterato (01/01-24/02) e nel periodo di lockdown (09/03-03/05) per la stazione AB2.....	42
Tabella 7: Confronto tra le concentrazioni di NO <sub>2</sub> nel triennio 2017-2019 e nel 2020 nel periodo con traffico inalterato (01/01-24/02) e nel periodo di lockdown (09/03-03/05) per la stazione CR1.....	42
Tabella 8: Confronto tra le concentrazioni di NO <sub>2</sub> nel triennio 2017-2019 e nel 2020 nel periodo con traffico inalterato (01/01-24/02) e nel periodo di lockdown (09/03-03/05) per la stazione km164.....	43
Tabella 9: Confronto tra le concentrazioni di NO <sub>2</sub> nel triennio 2017-2019 e nel 2020 nel periodo con traffico inalterato (01/01-24/02) e nel periodo di lockdown (09/03-03/05) per la stazione Avio km177.....	43
Tabella 10: Confronto tra le concentrazioni di NO <sub>2</sub> nel triennio 2017-2019 e nel 2020 nel periodo con traffico inalterato (01/01-24/02) e nel periodo di lockdown (09/03-03/05) per la stazione Avio km177.....	43
Tabella 11: Emissioni giornaliere totali di ossidi di azoto [g/km/d] stimate in corrispondenza della spira al km 103 e variazioni tra il triennio 2017-2019 e l'anno 2020.....	64
Tabella 12: Emissioni giornaliere totali di anidride carbonica [kg/km/d] stimate in corrispondenza della spira al km 103 e variazioni tra il triennio 2017-2019 e l'anno 2020.....	65



Tabella 13: Confronto tra le concentrazioni di black carbon nel triennio 2017-2019 e nel 2020 nel periodo con traffico inalterato (01/01-24/02) e nel periodo di lockdown (09/03-03/05) per la stazione km164.....	71
Tabella 14: Concentrazione media di NO <sub>2</sub> misurata nei diversi siti e relativi intervalli temporali considerati.....	78
Tabella 15: Concentrazione media di NO <sub>2</sub> misurata nei diversi siti e relativi intervalli temporali considerati.....	80
Tabella 16: Denominazione e posizionamento dei sensori innovativi e delle stazioni convenzionali di qualità dell'aria.....	82
Tabella 17: Parametri di calibrazione 2021 per il sensore di NO <sub>2</sub> installato sugli AirQuino.	
.....	92



## Executive Summary

Action C1 is responsible for **monitoring and quantifying** the impact of policies on environmental and transport components. The monitoring activity focuses on the determination of parameters related to meteorology and on the measurement of the atmospheric concentrations of significant pollutants with particular reference to the emissive source of traffic. The data regarding traffic flows are collected with the aim of characterizing this component and correlating it with the various environmental data in action C2.

Thanks to the data collected since the first months of 2017, it was possible to carry out a characterization of the various monitoring sites and the progress of the various components of **air quality, weather and traffic**, for daily, weekly, monthly, annual or seasonal periods. This deliverable specifically reports the analyses referred to the measurements carried out in the years 2020 and 2021.

In this last phase of the project, given the particular traffic conditions recorded during the **pandemic emergency period due to COVID-19**, a particular study allowed to investigate the **unusual effects of traffic reduction on air quality**.

The health emergency in the early months of 2020 prompted the Italian Government to issue some measures to limit the spread of the infection; these measures also involved a strong limitation of production activities and travel, affecting also the traffic volumes on the Brenner highway as in all the country.

The analysis of traffic flows highlighted the singular effects of the health emergency. The analysed data derive from the measurements carried out through the inductive loops managed by A22 along the project section; they recorded, in the early months of 2020, a total and light traffic even higher than in previous years but then suffered a collapse during the **lockdown period between March and May 2020**. The **decrease for light vehicles was even higher 90%** compared to the previous two years. The early months of 2021 were characterized by traffic that was still much lower than in previous years, while during the summer transits higher than the 2018-2019 average were measured.

The air quality monitoring network spread over the Trentino Alto Adige area and always **working with continuous measurements**, made it possible to acquire the data relating to the particular situation, compare them with what was similarly measured in previous years to carry out analysis of the effects of the lockdown period on NO<sub>2</sub>, black carbon and other main pollutants on the highway and beyond.

The monitoring stations on the side of the road recorded reductions in the concentrations of **NO<sub>2</sub>, a pollutant closely linked to vehicular traffic, of almost 50%** compared to



the previous three years. Moving away from the highway site, the NO<sub>2</sub> reductions are lower (from 37 to 40%), but still significant and representative of a situation in which the emission source due to traffic has been greatly reduced. In the rural area, a few hundred meters from the A22, lower concentrations of NO<sub>2</sub> were measured and identifying a situation of extreme reduction of emission sources of this pollutant also on the other roads. **The lockdown period and the decline in vehicular traffic allowed to observe and investigate the aspect of the background concentration of NO<sub>2</sub>**, that is a very important aspect for the estimation of emissions and for the implementation of this parameter within the modeling chain. From the analysis of the data of the Piana Rotaliana station, located in an agricultural/rural context, away from main roads and located more than 800m from the highway, it is possible to see that, in the months of lockdown, the concentrations of NO<sub>2</sub> reached an average value of about 12 µg/m<sup>3</sup>, even lower than that measured in the station of Cortina CR1, taken as a reference for the background concentration.

Similarly to what was measured for NO<sub>2</sub>, in the period of health emergency there are also marked reductions in the concentrations of black carbon, another pollutant related to traffic which is measured on the highway. At the station at km 164 in Rovereto, the total concentration of **black carbon had a decrease of just over 50%**, but the component of this pollutant which **derives from fossil fuels, and therefore from engines, has recorded a reduction of more than 57%**. The trend of the black carbon **component deriving from the combustion of biomass, therefore linked to domestic heating, is different, which remained stable overall** (a slight increase of + 5%), due to the continuous use of heating during the permanence of citizens and workers (smart working) in their homes. The good reliability of the optical measurements of black carbon was validated through analysis carried out in the early months of 2021 on PM10 fine dust filters, for the levoglucosan and benzo(a)pyrene components.

These components identify the fraction resulting from the biomass burning which has a good correlation with the relating component of black carbon.

Thanks to the **normalization process of NO<sub>2</sub> concentrations regarding meteorological variables**, it was possible to highlight the variations in concentration due exclusively to the different emission of pollutants, which could instead be masked by meteorological variability. The results highlight a substantial decrease in NO<sub>2</sub> and black carbon concentrations during the lockdown period, of the order of 50% on the highway. Significant decreases were also recorded for the stations further away from the highway, testifying how the effect was not only local.



Trends and reductions of NO<sub>2</sub> and black carbon are well supported also by particulate matter of just under 0.1 µm, measured by stage 5 of the particle counter; this can therefore be considered a further indicator of vehicular traffic.

The results of air quality analysis were **confirmed by the comparison between the estimate of NOx emissions in 2020** with that of the previous three years. This analysis showed a **decrease in NOx emissions of about 65%** compared to previous years, mainly due to the drop in emissions from light vehicles. **Similar results were also found for CO<sub>2</sub> emissions.**

The effects of the measurements were also highlighted by NO<sub>2</sub> concentration measurements with **passive samplers** positioned at different distances from the highway axis and by monitoring carried out with **12 low-cost air quality sensors (AirQuino) network** installed along the A22, crucial as a continuous input for the decision support system. Thanks also to further calibration of the sensors carried out in 2021, it was possible to ensure good reliability of the measurements in order to continuing to provide data as input for the decision support system.



## 1 Introduzione

L’Azione C1 si occupa di monitorare e quantificare l’impatto delle politiche sulle componenti ambientali e trasportistiche.

L’ambito principale su cui si focalizza l’attività di monitoraggio è la determinazione dei parametri legati alla meteorologia e alla misurazione delle concentrazioni in atmosfera degli inquinanti significativi con particolare riferimento alla sorgente emissiva del traffico.

I dati riguardanti i flussi di traffico vengono raccolti con la finalità di caratterizzarne quest’ultima componente e correlarla con i diversi dati ambientali nel corso dell’azione C2.

Questo deliverable, le cui analisi sono riferite alle misure effettuate negli anni 2020 e 2021 fa seguito al D.C1.1, nel quale sono state descritte nel dettaglio le caratteristiche della strumentazione impiegata nei sistemi di monitoraggio, e ai D.C1.2 e D.C1.3 nei quali sono stati riportati i dati caratteristici degli anni 2017, 2018 e 2019 per le diverse componenti che costituiscono l’intero sistema di monitoraggio.

Grazie ai dati raccolti fin dai primi mesi del 2017 è stato possibile effettuare una caratterizzazione dei diversi siti di monitoraggio e dell’andamento delle varie componenti (qualità dell’aria, meteo e traffico) dal punto di vista giornaliero, settimanale, mensile, annuale o stagionale.

Nell’ultima fase di progetto, viste le particolari condizioni di traffico registrate durante il periodo di emergenza pandemica legata al COVID-19, è stato effettuato uno studio di approfondimento che, grazie ai dati raccolti dalla rete di monitoraggio, ha permesso di indagare i singolari effetti della riduzione del traffico sulla qualità dell’aria.

L’emergenza sanitaria legata al diffondersi del virus COVID-19, nei primi mesi dell’anno 2020, ha infatti spinto il Governo italiano ad emanare una serie di provvedimenti volti a limitare il diffondersi del contagio; tali provvedimenti hanno implicato anche una forte limitazione delle attività produttive e degli spostamenti, condizionando, come in tutta Italia, anche i volumi di traffico sull’Autostrada del Brennero.

Nel capitolo 2 si riporta l’analisi dei flussi di traffico per l’anno 2020, caratterizzato da un forte calo e per l’anno 2021 che ha portato, invece, ad una ripresa dei transiti. I dati analizzati derivano dalle misure effettuate tramite le spire induttive gestite da A22 lungo il tratto di progetto; esse hanno registrato, nei primi mesi del 2020, un traffico totale e leggero addirittura maggiore agli anni precedenti che ha poi subito un crollo durante il periodo di *lockdown* tra marzo e maggio 2020 con un calo che, per i veicoli leggeri, è stato anche superiore al 90% rispetto al biennio precedente. I primi mesi del 2021 sono stati caratterizzati da un traffico ancora molto inferiore a quello degli anni precedenti,



mentre durante l'estate si sono misurati transiti superiori alla media del biennio 2018-2019.

Nel capitolo 3 si riporta la caratterizzazione delle principali stazioni di monitoraggio collocate lungo l'A22 e gestite da APPATN e da APPABZ, sia dal punto di vista meteorologico che per gli aspetti legati alla qualità dell'aria per i due anni in esame.

E' stato effettuato un approfondimento relativo agli effetti del periodo di *lockdown* sull'NO<sub>2</sub>, sul black carbon e sugli altri principali inquinanti a bordo autostrada e non solo.

Grazie alla normalizzazione delle concentrazioni di NO<sub>2</sub> rispetto alle variabili meteorologiche è stato possibile evidenziare le variazioni di concentrazione dovute esclusivamente ad un cambio nelle emissioni di inquinante, che potrebbero invece essere mascherate dalla variabilità meteorologica. I risultati mettono in luce una sostanziale diminuzione delle concentrazioni di biossido di azoto e di black carbon durante il periodo di lockdown, dell'ordine del 50% a bordo autostrada. Diminuzioni significative sono state registrate anche per le stazioni più distanti dall'autostrada, testimoniando come l'effetto non sia stato solo prettamente locale.

Gli effetti delle misure di contenimento della pandemia di COVID-19 sono stati in seguito valutati analizzando anche le variazioni delle emissioni di ossidi di azoto e di anidride carbonica dovute al traffico autostradale. I risultati hanno sostanzialmente confermato quanto evidenziato dall'analisi delle misure di qualità dell'aria, con diminuzioni significative di entrambe le specie, soprattutto per quanto riguarda il contributo dovuto ai veicoli leggeri.

Gli effetti delle misure sono stati evidenziati anche mediante misure di concentrazione di NO<sub>2</sub> con campionatori passivi posizionati a diversa distanza dall'asse autostradale e mediante il monitoraggio effettuato tramite la rete formata da 12 sensori di qualità dell'aria a basso costo (AirQuino) installati lungo l'A22.

La strumentazione dedicata al monitoraggio è diffusa lungo tutta l'area di progetto ed è utilizzata in maniera integrata sui diversi tratti sperimentali BLEC-ENV (sottoazione C1.1), BLEC-AQ (sottoazione C1.2) e BLEC-LEZ (sottoazione C1.3).

Analogamente ai precedenti, la struttura del documento è suddivisa per componenti monitorate. Il dettaglio dei risultati derivanti dalle diverse politiche (B3, B4, B5) sono invece riportati nei deliverables dedicati alla singole azioni e, più nel dettaglio, nei deliverables riferiti all'azione C2.



## 2 Traffico

Nell'ambito del progetto, sono analizzati i dati relativi ai transiti registrati da diverse spire induttive posizionate lungo il tratto autostradale, i cui dati principali sono riassunti in 1.

n.	Nome spira	Posizione	Carreggiata A22	Dati rilevati
1	Spira 87	al Km 87+800	Nord e Sud	transiti
2	Spira 103	al Km 103+700	Nord e Sud	transiti
3	Spira 107	al Km 107+700	Nord e Sud	transiti
4	Spira 138	al Km 138+100	Nord e Sud	transiti
5	Spira 156	al Km 156+595	Nord e Sud	transiti
6	Spira 164	al Km 164+300	Nord e Sud	transiti

Tabella 1: elenco delle spire induttive analizzate e relativo posizionamento.

Le analisi presentate di seguito si riferiscono all'intero anno 2020 e all'anno 2021 per il periodo compreso tra il 1 gennaio e il 30 settembre. Per la descrizione della tipologia di dati registrati dalle spire e della classificazione in categorie di veicoli si veda il Deliverable D.C1.2.

### 2.1 Composizione del traffico

L'emergenza sanitaria legata al diffondersi del virus COVID-19, che nei primi mesi dell'anno 2020 ha spinto il Governo italiano ad emanare una serie di provvedimenti volti a limitare il diffondersi del contagio, ha indotto una forte limitazione delle attività produttive e degli spostamenti e ha condizionato i volumi di traffico.

L'analisi dei dati di traffico per il periodo 2020-2021, presentata di seguito, mostra in modo molto evidente gli effetti che si sono registrati lungo l'autostrada del Brennero.

In Figura 1 e 2 è mostrato l'andamento temporale dei transiti e delle velocità per le macro-classi dei veicoli leggeri, dei pesanti e dei bus/camion medi, rispettivamente per il 2020 e il 2021. Per i veicoli leggeri il crollo nei transiti, iniziato a marzo 2020 con le restrizioni agli spostamenti, è molto evidente specie se confrontato con gli andamenti tipici degli anni precedenti presentati nei deliverables DC1.2 e DC1.3. Nell'estate 2020 si è verificata una ripresa dei transiti leggeri prima di tornare nuovamente a valori inferiori alla media del periodo negli ultimi mesi dell'anno. Il calo per i veicoli pesanti nei mesi da marzo a giugno risulta essere più contenuto.

Anche i primi mesi del 2021 sono stati caratterizzati da flussi di veicoli leggeri molto inferiori alla media del periodo, mentre a partire da maggio 2021 si è registrato un

aumento consistente del traffico, che è tornato a valori anche superiori a quelli precedenti la pandemia.

#### Spira al km 107 – Carreggiata Nord e Sud – 2020

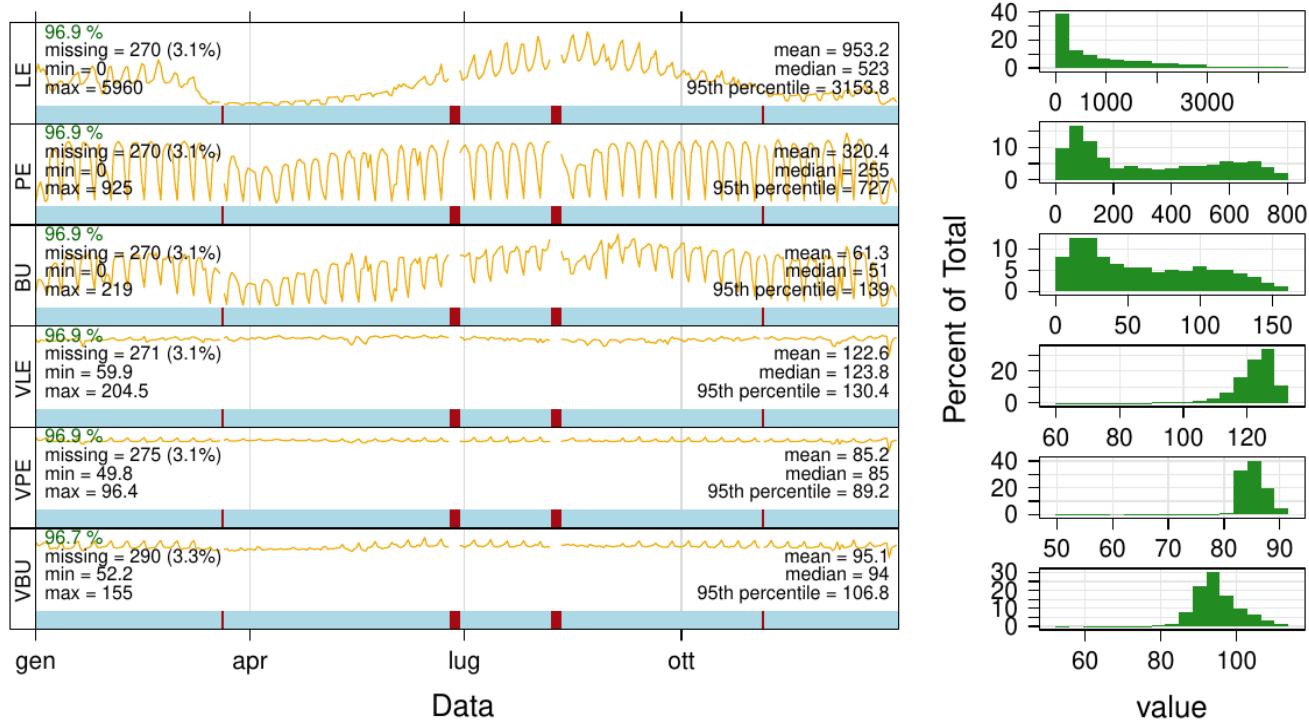
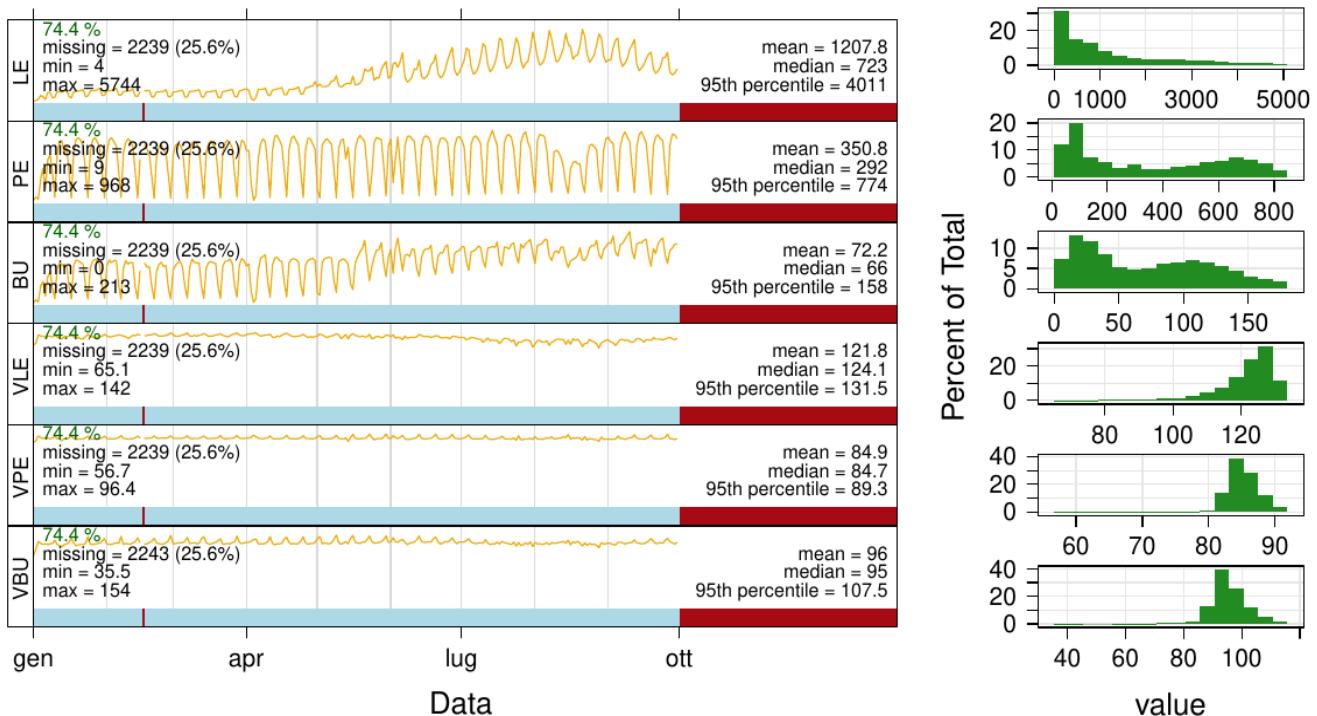


Figura 1: Andamento temporale e distribuzione di frequenza del traffico orario medio di veicoli leggeri (LE), pesanti (PE) e bus/camion medi (BU) e delle loro velocità (VLE, VPE e VBU) alla spira 107 per l'anno 2020.

### Spira al km 107 – Carreggiata Nord e Sud – 2021



*Figura 2: Andamento temporale e distribuzione di frequenza del traffico orario medio di veicoli leggeri (LE), pesanti (PE) e bus/camion medi (BU) e delle loro velocità (VLE, VPE e VBU) alla spira 107 per l'anno 2021.*

In Figura 3 e 4 è riportato l'andamento normalizzato dei cicli giornalieri, settimanali e mensili del flusso di veicoli leggeri, pesanti e autobus alla spira 107. Durante i giorni feriali, tutte e tre le macro-classi mostrano un ciclo giornaliero, con valori più elevati nelle ore diurne, specialmente il mattino e il tardo pomeriggio. I valori di picco mattutino per i veicoli pesanti sono anticipati rispetto a quelli dei veicoli leggeri. Il traffico pesante è più intenso nel corso della settimana, con i valori più elevati il mercoledì, durante il fine settimana diminuisce sensibilmente, soprattutto il sabato pomeriggio e la domenica. Il traffico leggero mostra valori più elevati durante il fine settimana.

Spira 107 – Transiti – 2020

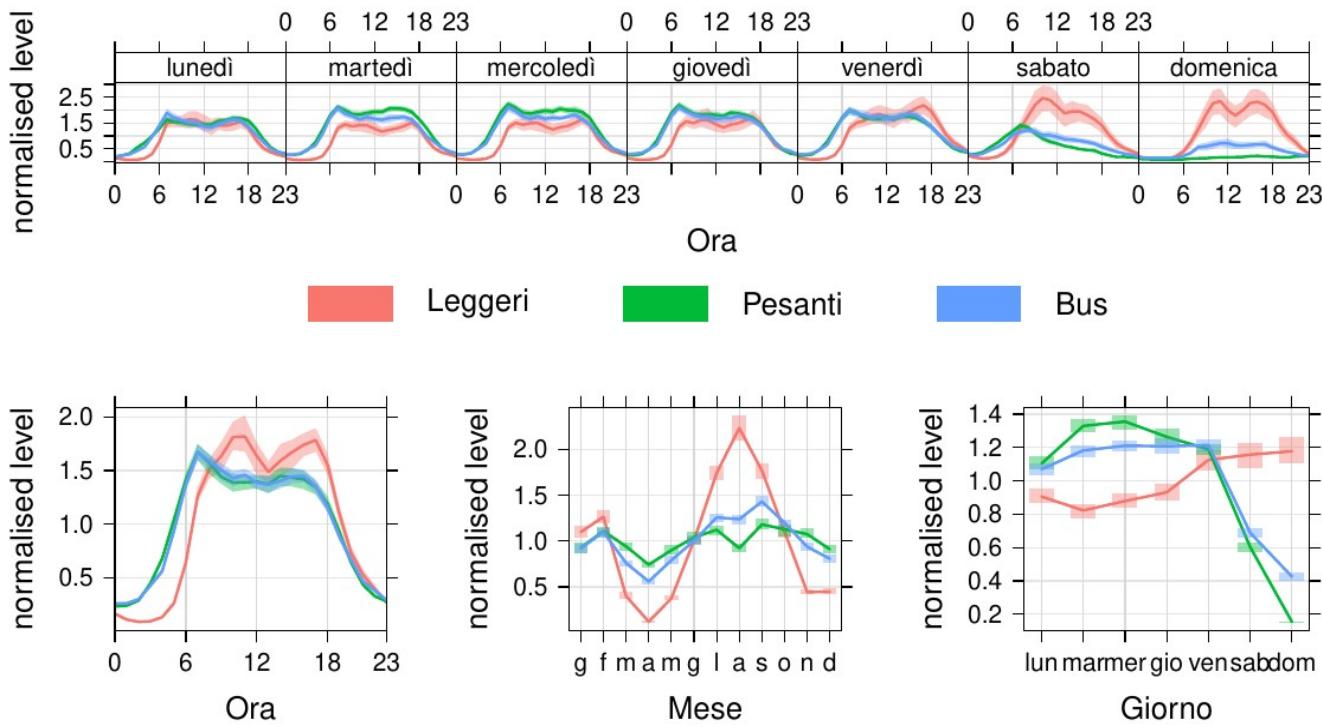
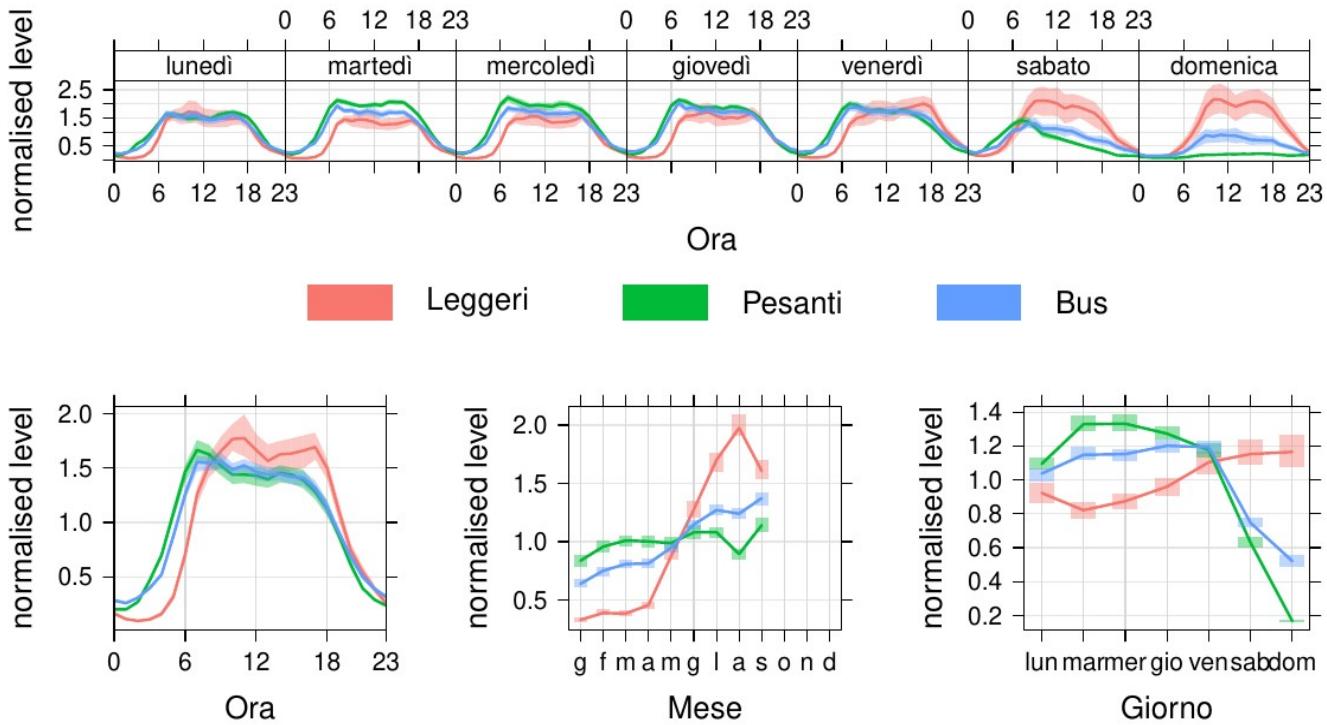


Figura 3: Ciclo giornaliero, settimanale, mensile del TGM di veicoli leggeri, pesanti e degli autobus alla spira 107 per l'anno 2020 - valori normalizzati.

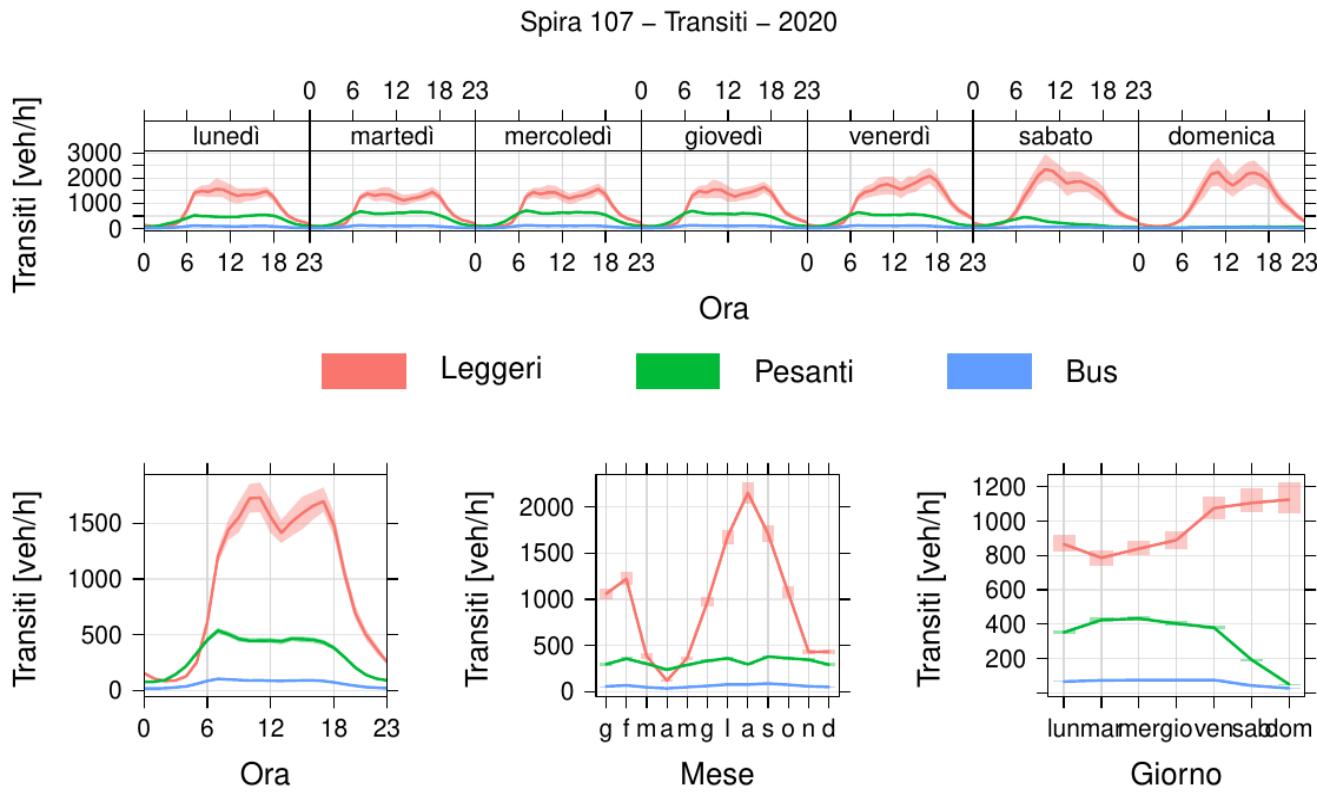
Spira 107 – Transiti – 2021



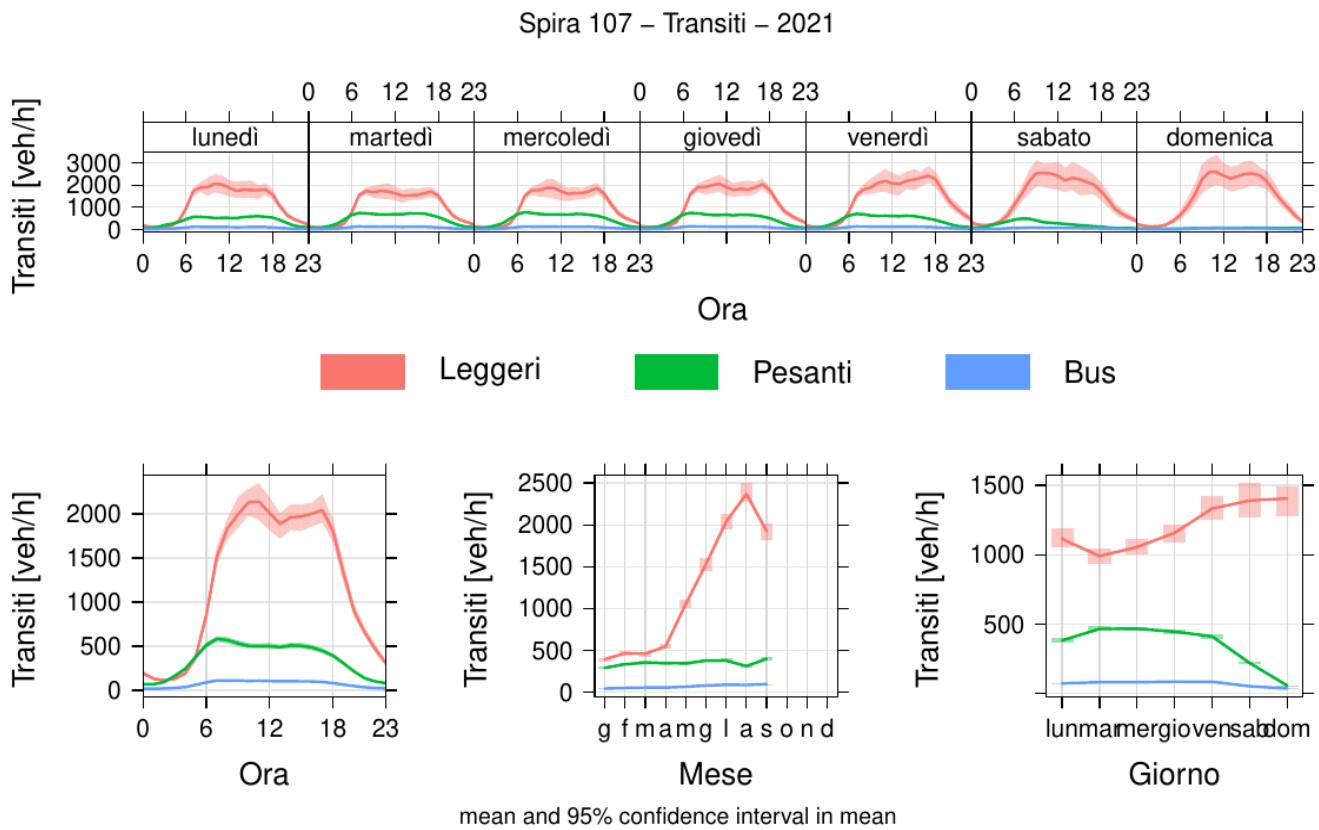
mean and 95% confidence interval in mean

*Figura 4: Ciclo giornaliero, settimanale, mensile del TGM di veicoli leggeri, pesanti e degli autobus alla spira 107 per l'anno 2021 – valori normalizzati.*

Lo stesso grafico in termini di valori assoluti di traffico, espressi in veicoli/ora, è riportato nelle Figure 5 e 6; esso mostra come i veicoli leggeri durante i giorni feriali siano molto più numerosi dei veicoli pesanti e durante il fine settimana rappresentino la quasi totalità del traffico presente. La classe degli autobus risulta invece numericamente poco rilevante.



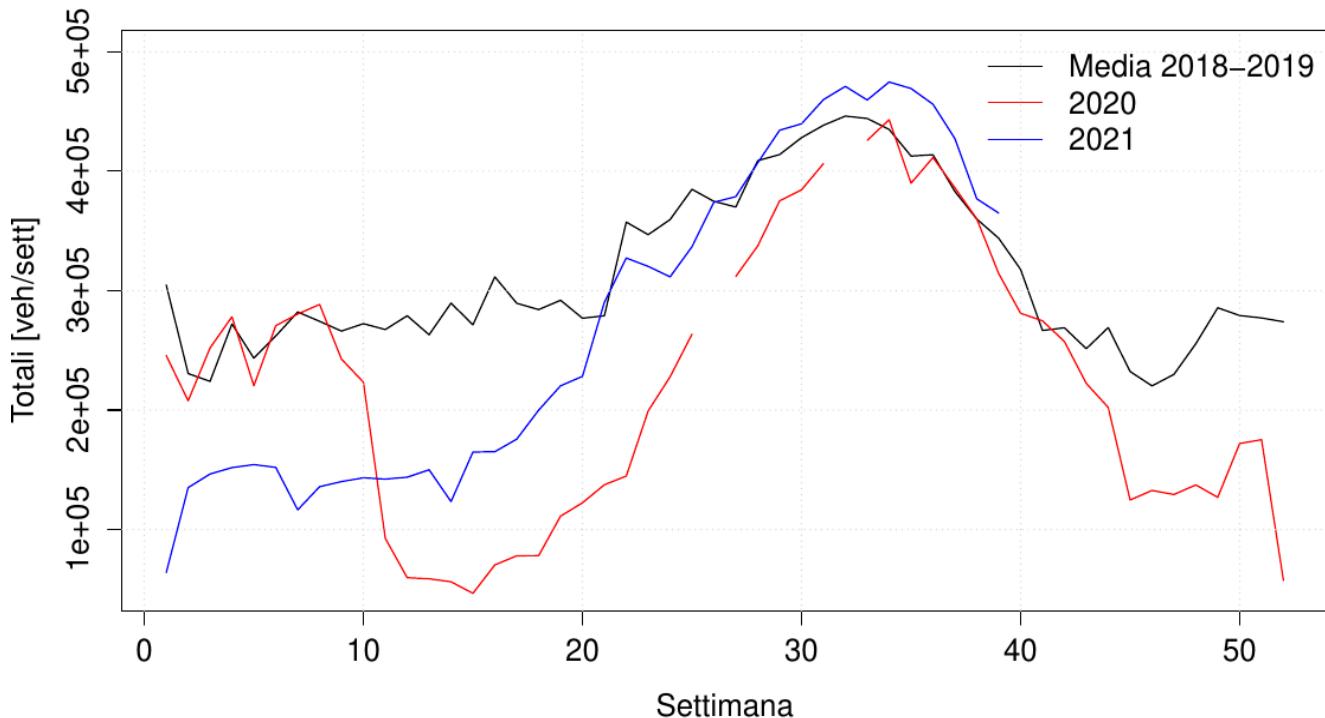
*Figura 5: Ciclo giornaliero, settimanale, mensile del TGM di veicoli leggeri, pesanti e degli autobus alla spira 107 per l'anno 2020 - valori assoluti espressi in veicoli/ora.*



*Figura 6: Ciclo giornaliero, settimanale, mensile del TGM di veicoli leggeri, pesanti e degli autobus alla spira 107 per l'anno 2021 – valori assoluti espressi in veicoli/ora.*

## 2.2 Analisi dei dati di transito

Per capire l'impatto della pandemia sui volumi di traffico registrati lungo l'autostrada, è utile confrontare gli andamenti tipici degli anni precedenti con quelli in questione. In Figura 7 è mostrato il confronto dell'andamento dei transiti totali nel corso dell'anno 2020 e del 2021, confrontato con la media del biennio 2018-2019. Lo stesso confronto è mostrato in Figura 8 e 9 per i soli veicoli leggeri e pesanti.



*Figura 7: Andamento dei transiti settimanali totali presso la spira al km 107 nell'anno 2020 (linea rossa) e nell'anno 2021 (linea blu) rispetto alla media dei due anni precedenti 2018-2019 (linea nera).*

Come si può osservare, nelle prime settimane del 2020 i transiti dei veicoli totali sono stati del tutto in linea con quelli registrati nel biennio precedente. Poi a inizio marzo 2020, in seguito alle restrizioni dovute alle pandemia COVID-19, il traffico totale ha subito un crollo evidente. Dai grafici riportati nelle Figure 8 e 9 appare evidente come il crollo dei transiti abbia riguardato maggiormente i veicoli leggeri e molto meno i veicoli pesanti, se non nei mesi da marzo a maggio 2020 (dalla settimana 11 alla 18), ma con diminuzioni molto meno significative.

Calcolando infatti la percentuale media di riduzione settimanale dei veicoli totali (Figura 10) e dei soli veicoli leggeri (Figura 11) rispetto al biennio 2018-2019, si osserva che nei primi mesi del 2020 il traffico totale e leggero era addirittura maggiore degli anni precedenti, poi ha subito un crollo che per i veicoli leggeri è stato anche superiore al 90%, per poi risalire durante l'estate e ridiscendere nell'autunno. Il 2021 invece ha visto i primi mesi caratterizzati da un traffico ancora molto inferiore a quello degli anni precedenti, mentre durante l'estate si sono misurati più transiti che nel biennio 2018-2019.

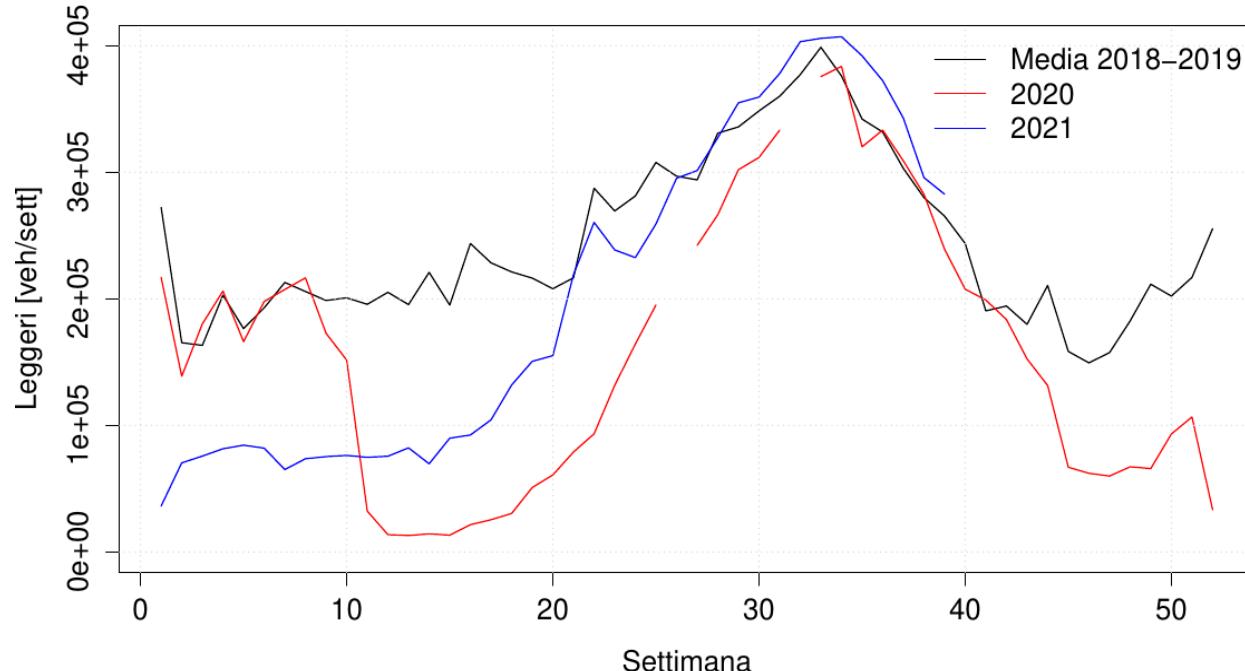


Figura 8: Andamento dei transiti settimanali leggeri presso la spira al km 107 nell'anno 2020 (linea rossa) e nell'anno 2021 (linea blu) rispetto alla media dei due anni precedenti 2018-2019 (linea nera).

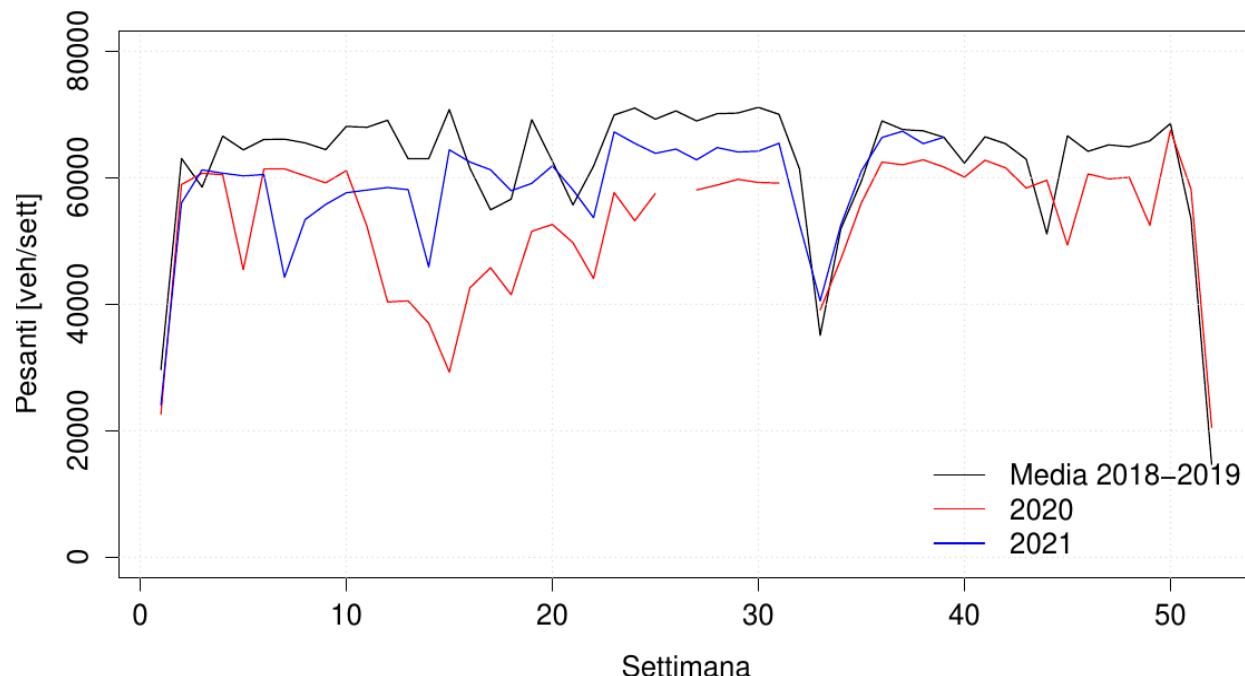


Figura 9: Andamento dei transiti settimanali pesanti presso la spira al km 107 nell'anno 2020 (linea rossa) e nell'anno 2021 (linea blu) rispetto alla media dei due anni precedenti 2018-2019 (linea nera).

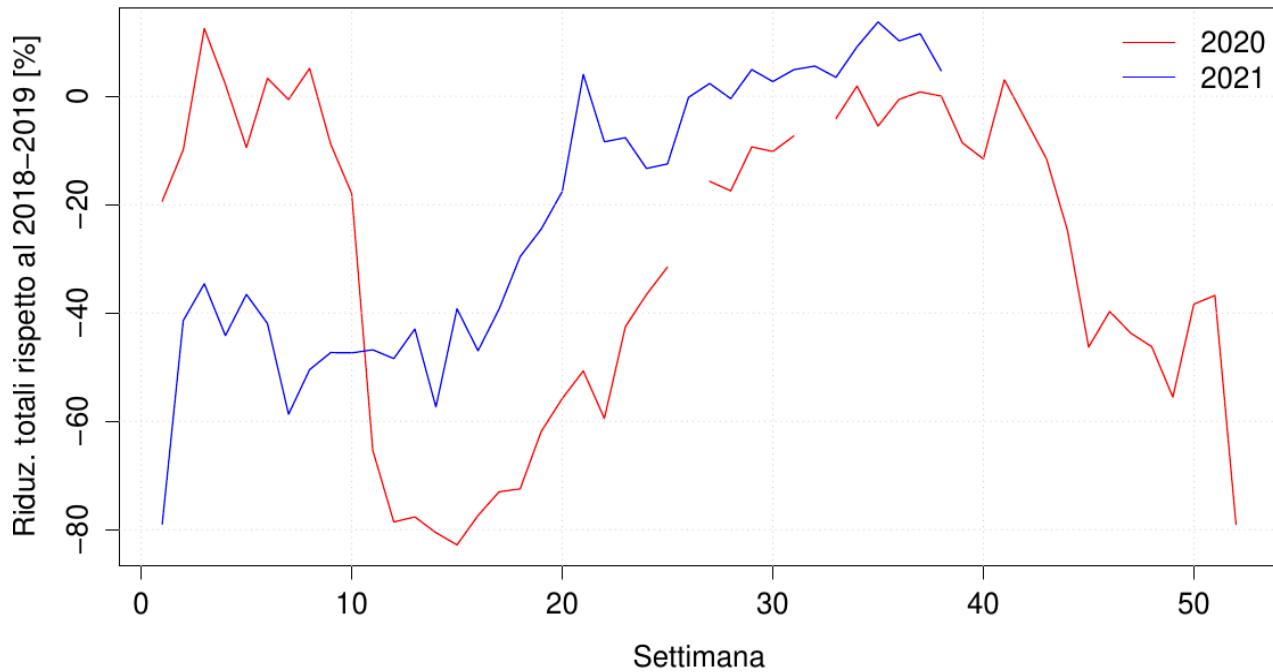


Figura 10: Riduzione dei transiti settimanali totali presso la spira al km 107 rispetto al biennio 2018-2019 nell'anno 2020 (linea rossa) e nell'anno 2021 (linea blu).

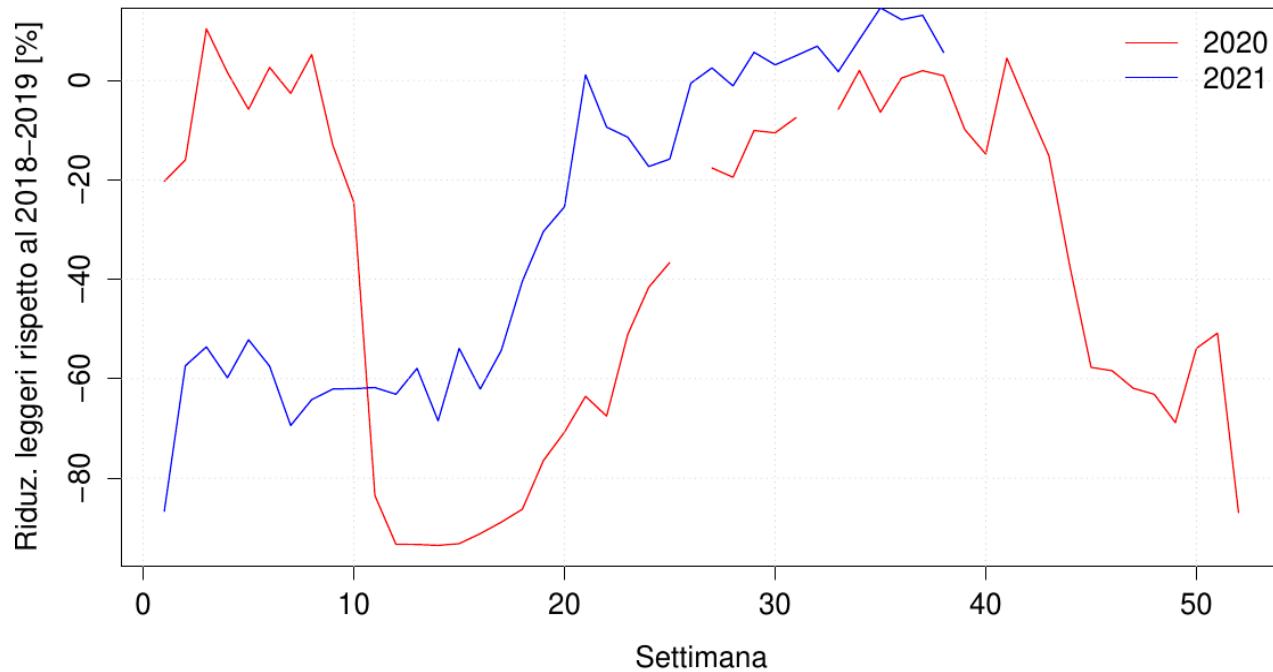


Figura 11: Riduzione dei transiti settimanali leggeri presso la spira al km 107 rispetto al biennio 2018-2019 nell'anno 2020 (linea rossa) e nell'anno 2021 (linea blu).



### 3 Caratterizzazione meteorologica e di qualità dell'aria

#### 3.1 Meteorologia

Da inizio 2017, momento dell'installazione dei tre siti di monitoraggio in corrispondenza delle stazioni gestite da APPATN e APPABZ (km 103, 107 e 164), l'acquisizione dei dati di monitoraggio avviene in continuo. Attraverso **pluviometro, termoigrometro** (interno ed esterno), **anemometro, barometro, sensore di radiazione solare** e sensori di **radiazione UV** vengono monitorati i principali parametri meteorologici.

Come già riportato nei deliverables precedenti, al fine di analizzare e interpretare correttamente le concentrazioni di inquinanti in atmosfera che vengono misurate dagli strumenti di rilevamento della qualità dell'aria e studiarne gli effetti e la provenienza, si va ad analizzare l'andamento del vento e, in particolare, la sua direzione e intensità.

In analogia agli anni 2017, 2018 e 2019, anche per gli anni 2020 e 2021 si riportano, a titolo esemplificativo, le rose dei venti che rappresentano gli andamenti di direzione e intensità del vento per due siti di progetto situati al km 103 e al km 164.

Per l'anno 2021 i dati fanno riferimento al periodo compreso tra il 1 gennaio e il 30 settembre.

### 3.1.1 Caratterizzazione meteorologica stazioni di monitoraggio ai km 103 e 177

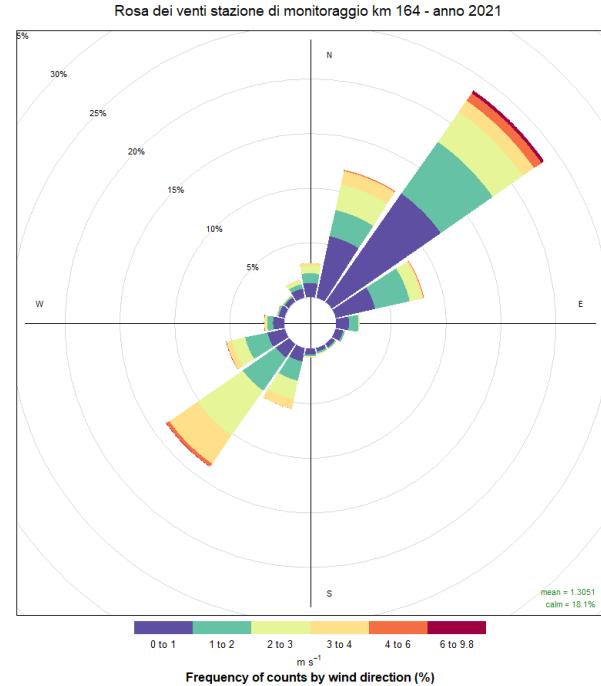
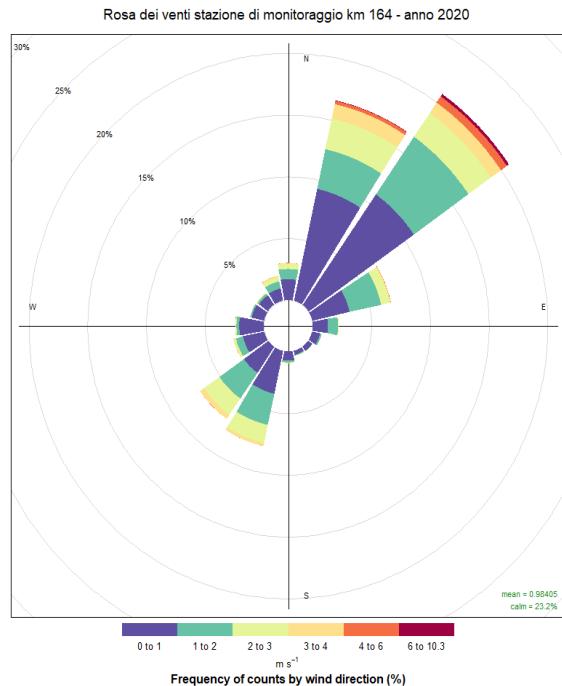
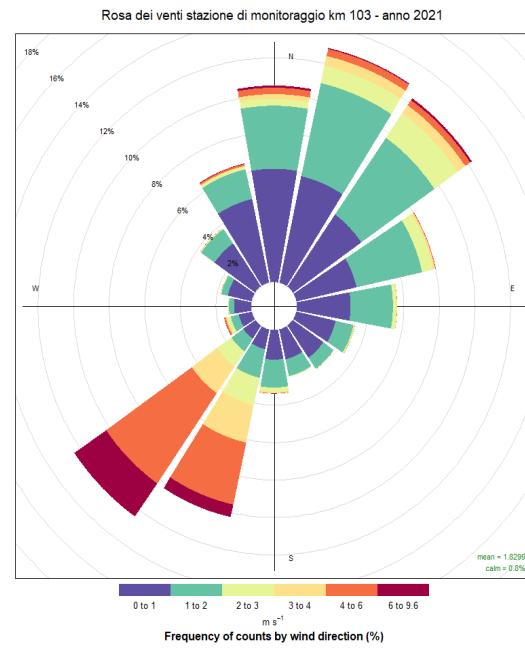
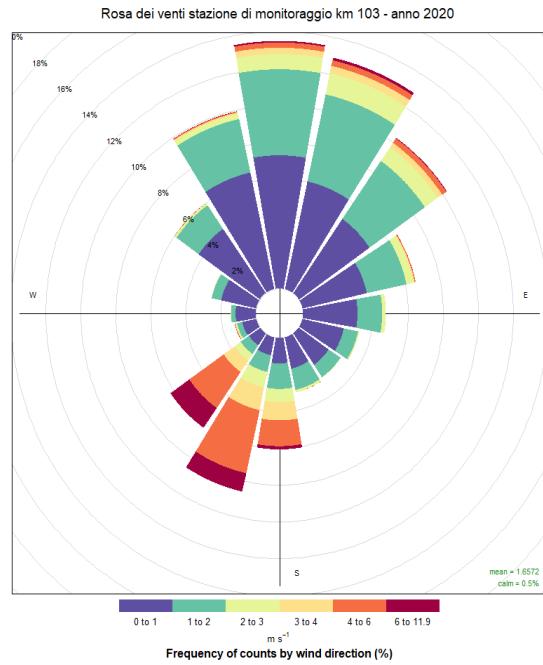


Figura 12: Rose dei venti delle stazioni di monitoraggio ai km 103 e 164 - anno 2020 e 2021.

Come per gli anni precedenti, anche per il 2020 e il 2021 le rose dei venti mostrano come il vento segua essenzialmente l'asse della val d'Adige.

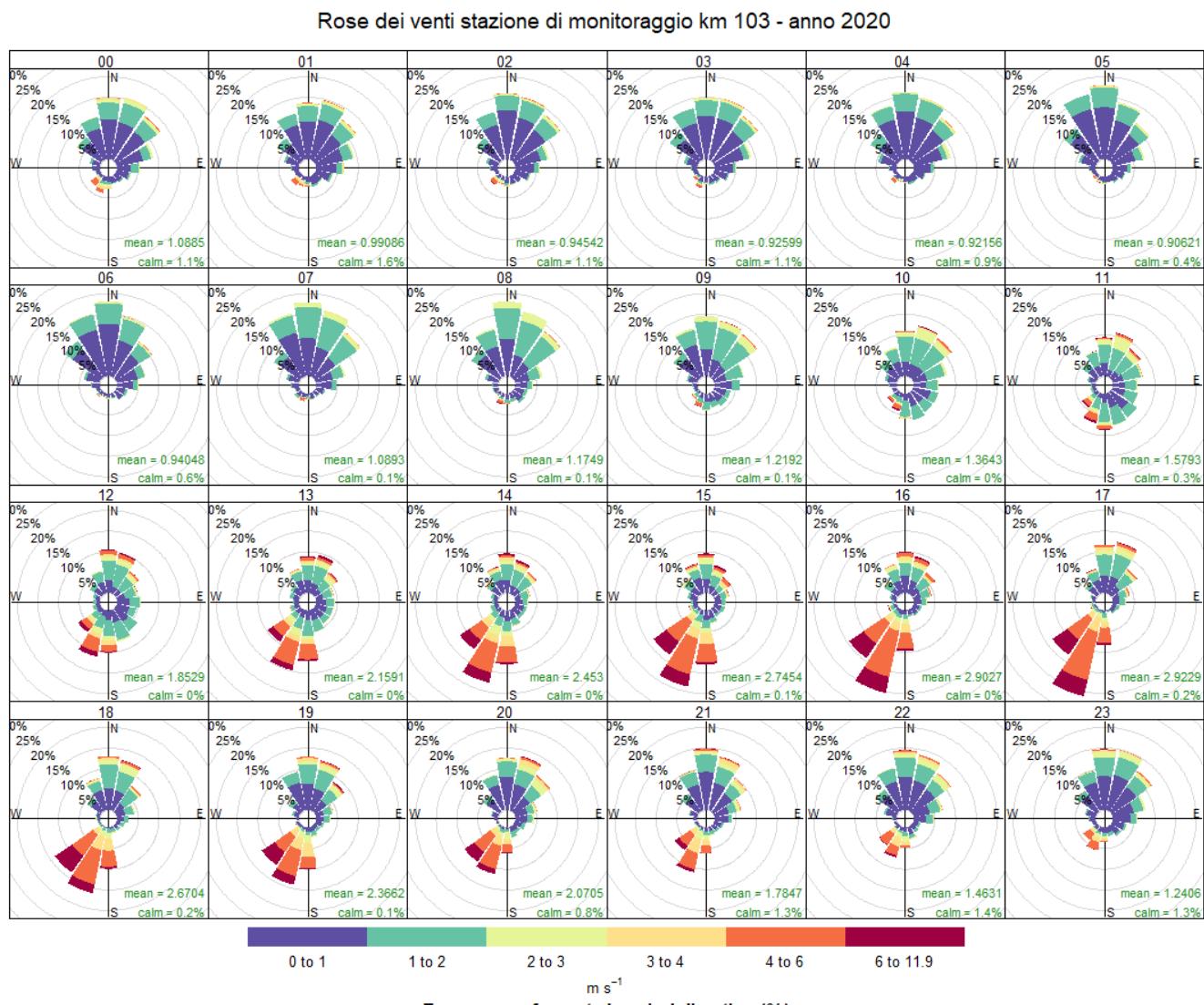


Figura 13: Rose dei venti della stazione di monitoraggio al km 103 – anno 2020.

Rose dei venti stazione di monitoraggio km 103 - anno 2021

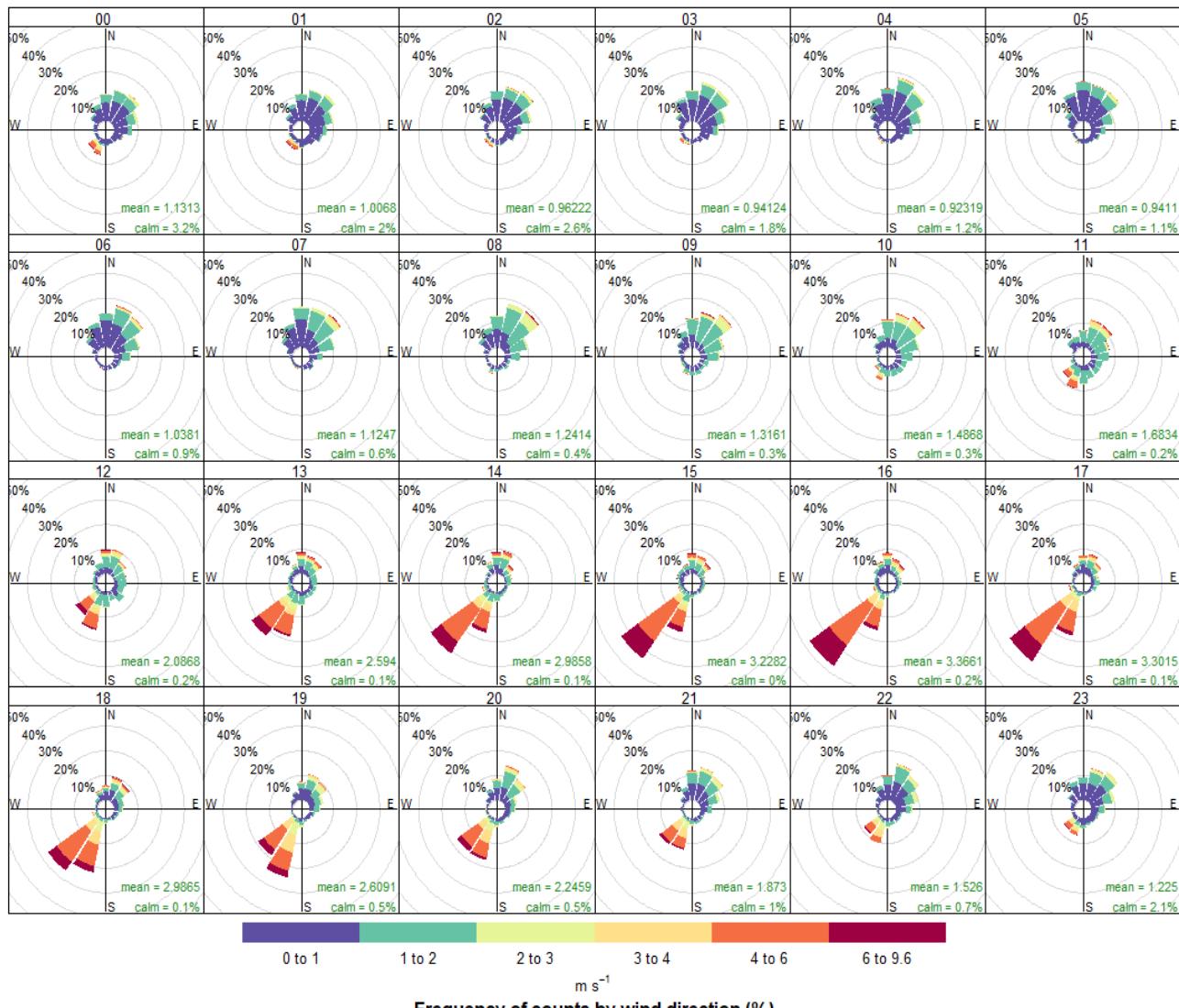


Figura 14: Rose dei venti della stazione di monitoraggio al km 103 – anno 2021.

Rose dei venti stazione di monitoraggio km 164 - anno 2020

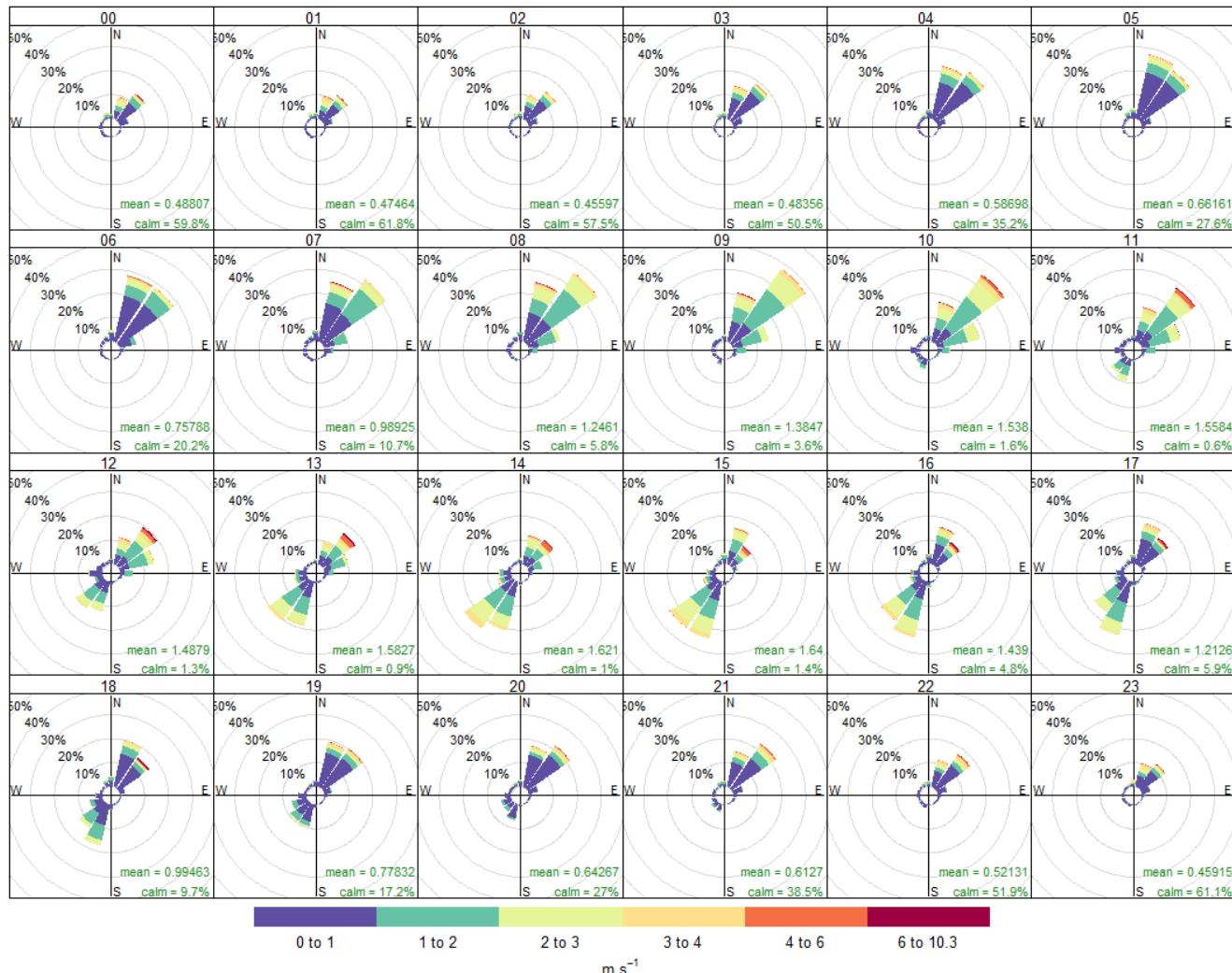


Figura 15: Rose dei venti della stazione di monitoraggio al km 164 – anno 2020

Rose dei venti stazione di monitoraggio km 164 - anno 2021

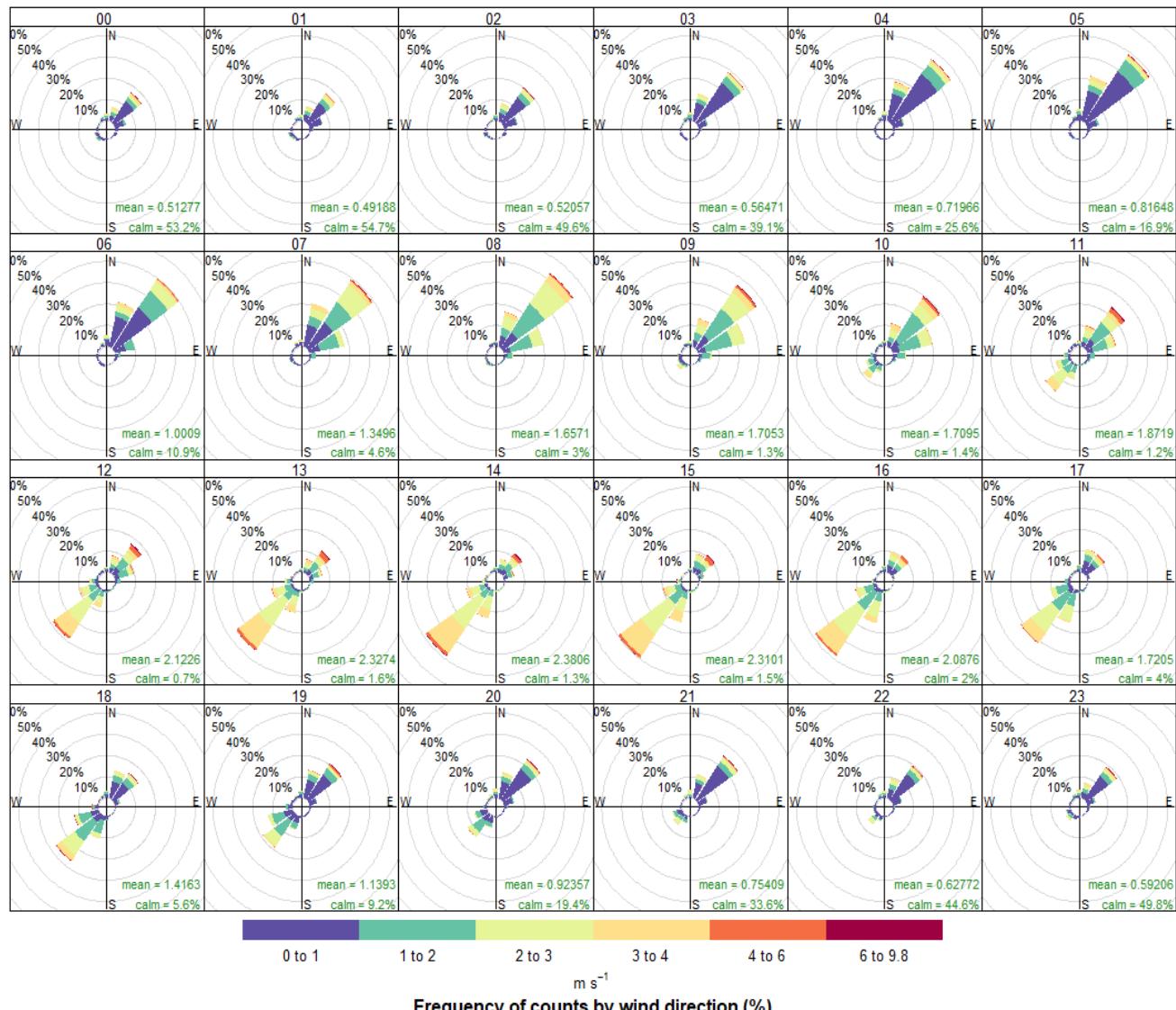


Figura 16: Rose dei venti della stazione di monitoraggio al km 164 - anno 2021

Osservando l'andamento orario, si conferma che la notte e le prime ore del mattino sono caratterizzate da venti settentrionali che soffiano dall'autostrada verso la stazione di monitoraggio mentre dalle ore centrali della giornata e per tutto il pomeriggio, si ha vento di valle proveniente da Sud. I venti meridionali sono mediamente più intensi dei venti provenienti da Nord con una differenza tra le stazioni altoatesine per le quali il vento da Sud permane fino a tarda serata mentre per le stazioni situate più a Sud nella zona di Rovereto al km 164, e di Avio al km 177, si ha un calo del vento da Sud già a partire dalle 18.



### **3.2 Qualità dell'aria - stazioni di monitoraggio**

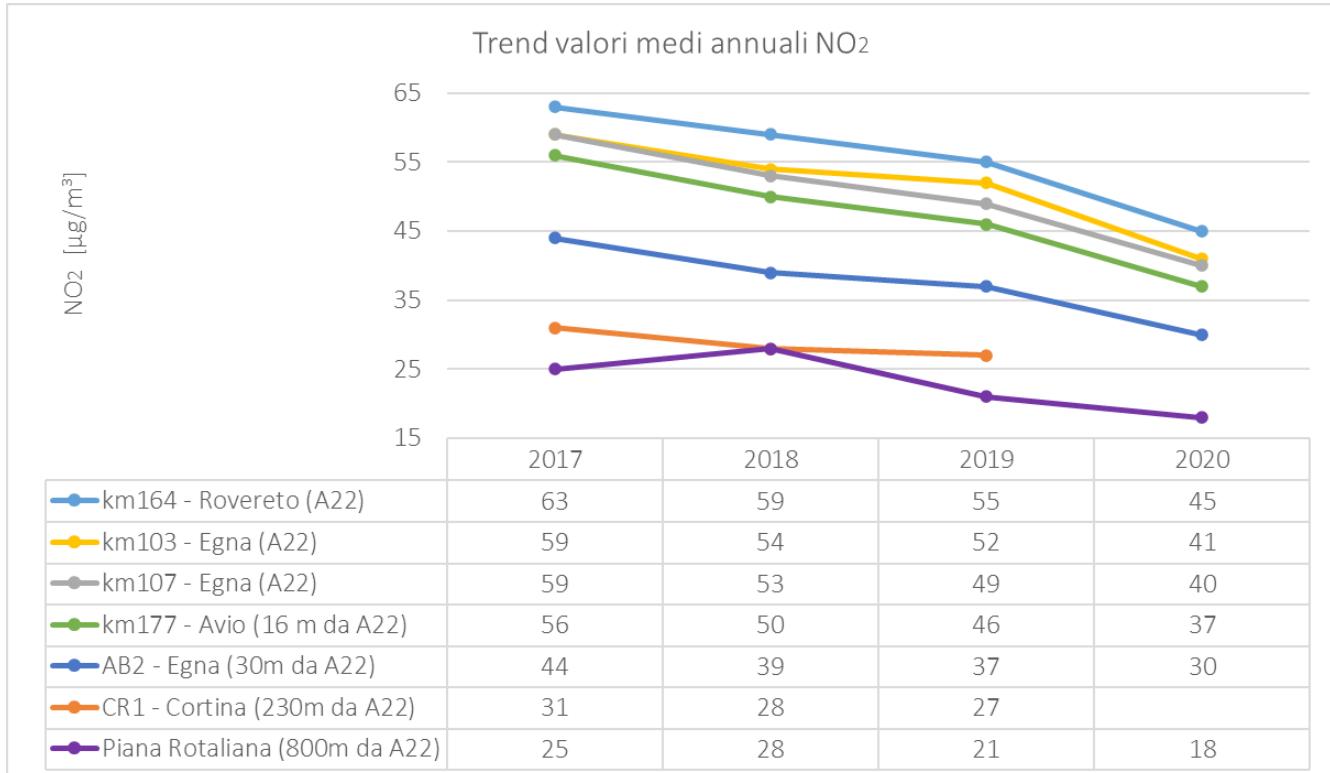
Dal momento dell'installazione della strumentazione ad inizio 2017 l'acquisizione avviene in continuo e riguarda la misura di tutti i parametri di qualità dell'aria presso le stazioni di monitoraggio allestite lungo la carreggiata Sud dell'A22 (ai km 103, 107 e 164). La misurazione in continuo ha reso possibile il monitoraggio e la valutazione degli effetti legati all'emergenza sanitaria derivata dal diffondersi del virus COVID-19 a partire dai primi mesi dell'anno 2020.

Tra febbraio e marzo 2020 il Governo italiano ha emanato una serie di provvedimenti volti a limitare il diffondersi del contagio; tali provvedimenti hanno implicato anche una forte limitazione delle attività produttive e degli spostamenti, condizionando, come in tutta Italia, anche i volumi di traffico sull'A22. Al fine di valutare gli effetti di questi provvedimenti, sono stati analizzati i dati di qualità dell'aria misurati dalle diverse stazioni di monitoraggio, a partire dall'anno 2017 focalizzandosi particolarmente sul periodo più critico del cosiddetto "lockdown" della primavera 2020. L'approfondimento realizzato si concentra sull'analisi dell'evoluzione temporale del biossido di azoto ( $\text{NO}_2$ ), inquinante atmosferico originato prevalentemente dal traffico veicolare e sull'andamento dell'inquinante black carbon quale altro tracciante delle emissioni da traffico.

In riferimento agli ossidi di azoto e agli altri principali inquinanti monitorati, per gli anni 2020 e 2021 si effettua l'analisi di caratterizzazione dei siti di monitoraggio al fine di approfondire l'influenza che le emissioni da traffico hanno sulla qualità dell'aria.

#### **3.2.1 Concentrazioni medie annuali**

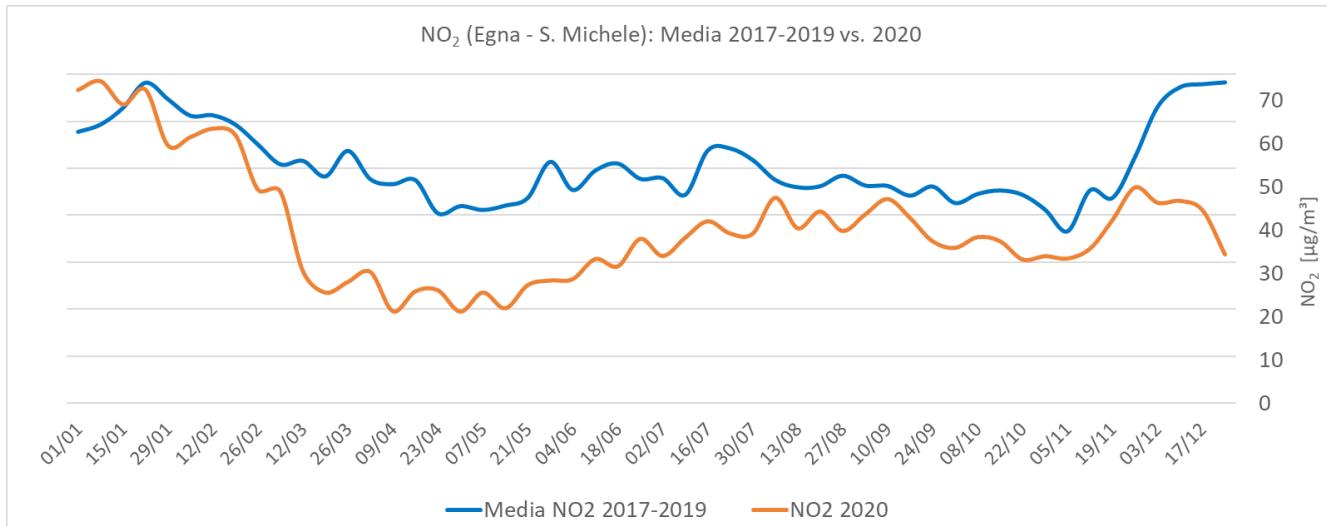
Al fine di ottenere una prima indicazione relativa al tipo di stazioni di monitoraggio prese in esame, si riportano in 17 i valori medi annuali delle concentrazioni di biossido di azoto; dal grafico è possibile apprezzare, per tutte le stazioni, un trend decrescente dei valori immissivi negli anni tra il 2017 e il 2019, dettato in parte dalle condizioni atmosferiche differenti e, in parte, dal progressivo e costante miglioramento della qualità dell'aria in Trentino Alto Adige per la diminuzione delle emissioni di questo inquinante nel corso degli ultimi anni anche in relazione all'avanzamento delle tecnologia e al rinnovo del parco veicolare. Come riportato nelle Figure 17 e 18, l'anno 2020 ha segnato un ulteriore calo della concentrazione media di  $\text{NO}_2$  del 25-30% rispetto al triennio precedente per effetto delle limitazioni legate alla pandemia da COVID-19.



*Figura 17: Valori medi annuali di NO<sub>2</sub> nelle diverse stazioni dal 2017 al 2020.*

Al progressivo allontanamento dalla sede autostradale delle stazioni di monitoraggio (da quelle a bordo autostrada fino ad arrivare a quelle di fondo rurale), si nota un generale calo delle concentrazioni di biossido di azoto, dovuto proprio alla crescente distanza dalla fonte emissiva di traffico.

Non vengono riportate le concentrazioni relative all'anno 2021 perché non del tutto confrontabili con gli anni precedenti in quanto relative ai mesi tra gennaio e settembre e non all'intero anno.



*Figura 18: Andamento di biossido di azoto NO<sub>2</sub> [µg/m<sup>3</sup>] presso la stazione ML103 nell'anno 2020 (linea arancione) rispetto alla media dei tre anni precedenti 2017-2019 (linea blu).*

### 3.2.2 Stazioni di monitoraggio a bordo autostrada (km 103, 107 e 164)

Per le tre stazioni di progetto posizionate a bordo autostrada si riportano gli andamenti medi mensili della concentrazione di NO<sub>2</sub> per gli anni 2020 e 2021. In rosso è riportato il limite normativo di riferimento per la media annua di 40 µg/m<sup>3</sup>.

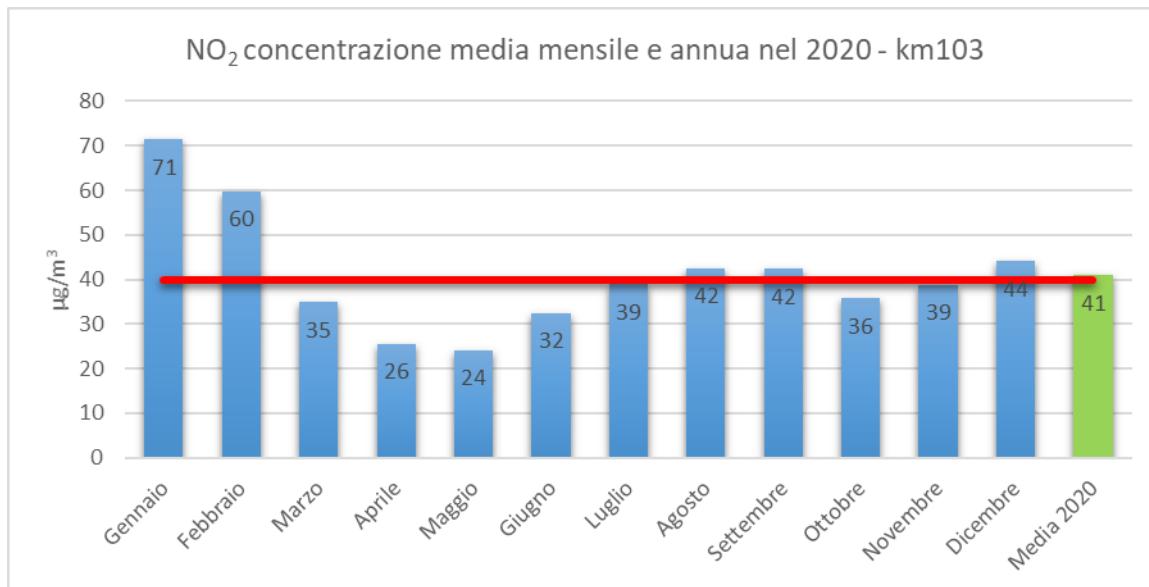


Figura 19: Concentrazione media mensile e annua di NO<sub>2</sub> [µg/m<sup>3</sup>] per l'anno 2020 - stazione km 103

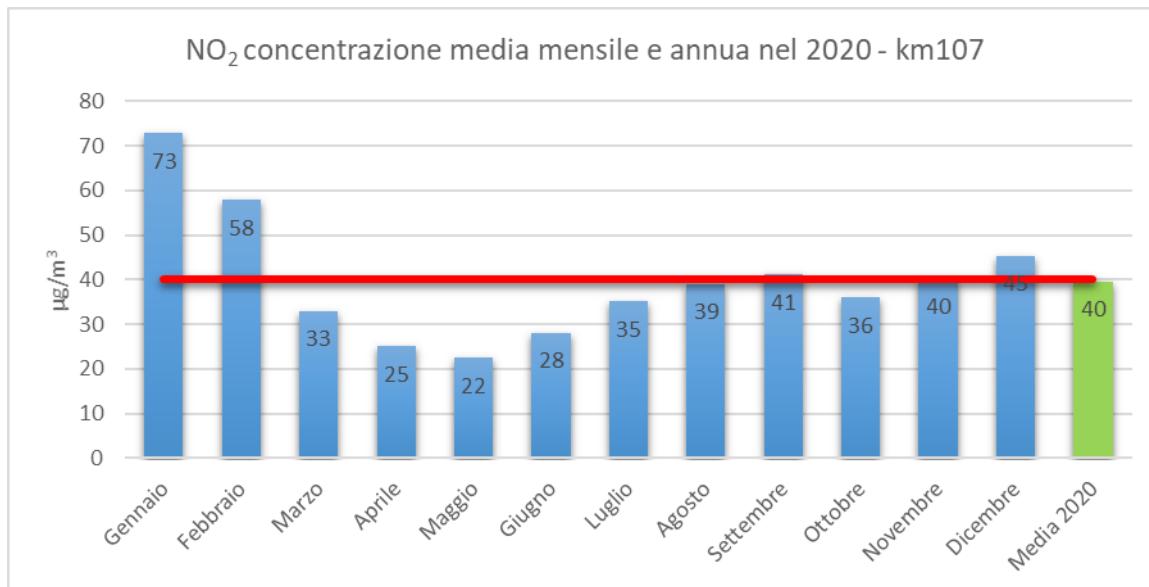


Figura 20: Concentrazione media mensile e annua di NO<sub>2</sub> [µg/m<sup>3</sup>] per l'anno 2020 - stazione km 107

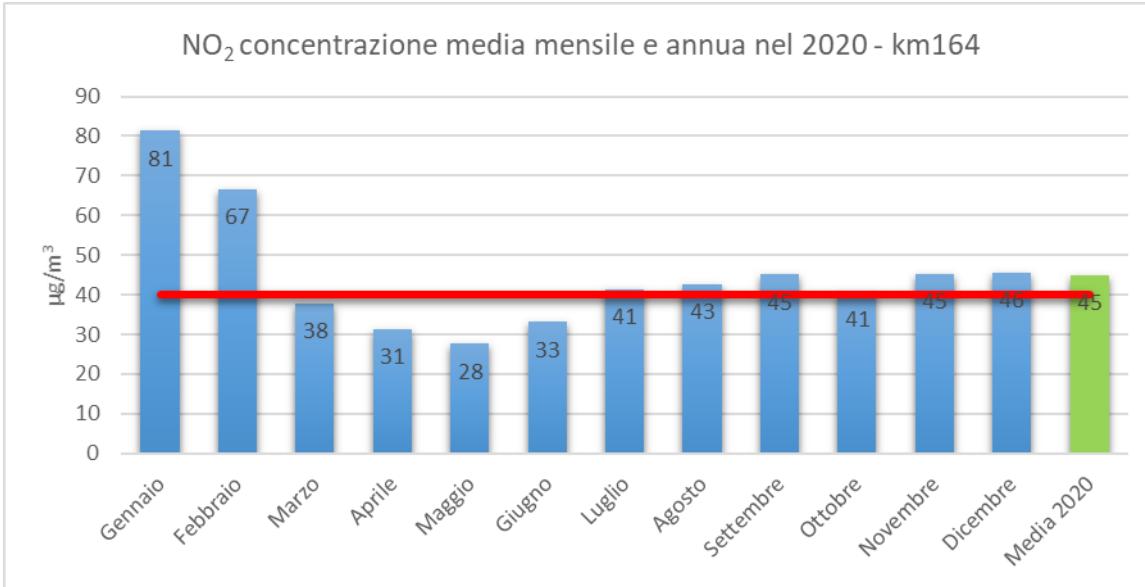


Figura 21: Concentrazione media mensile e annua di NO<sub>2</sub> [µg/m<sup>3</sup>] per l'anno 2020 - stazione km 164

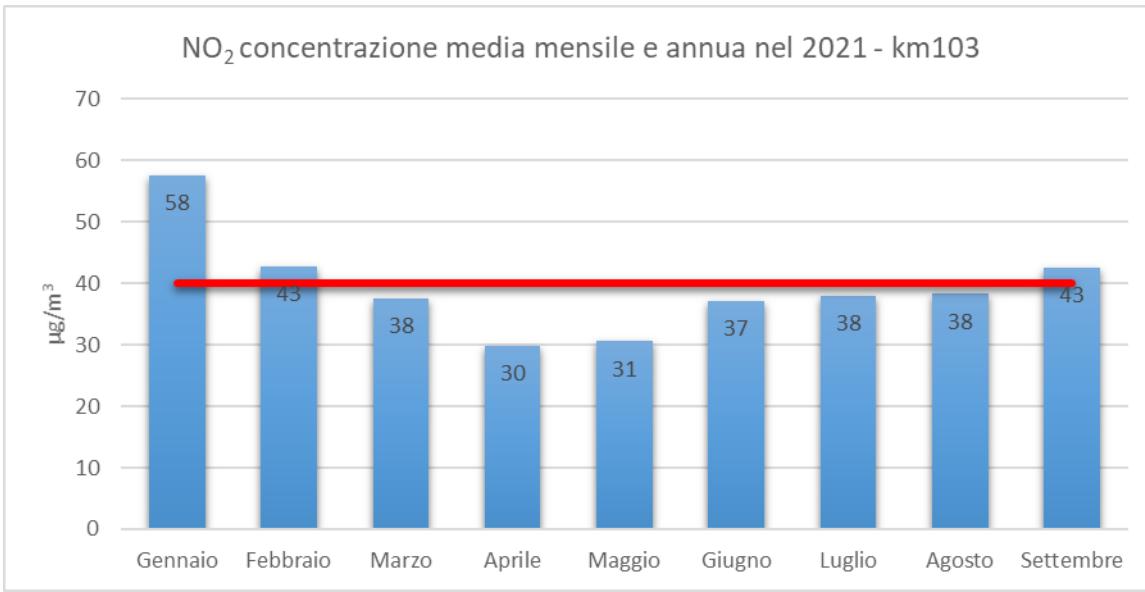


Figura 22: Concentrazione media mensile di NO<sub>2</sub> [µg/m<sup>3</sup>] per l'anno 2021 - stazione km 103

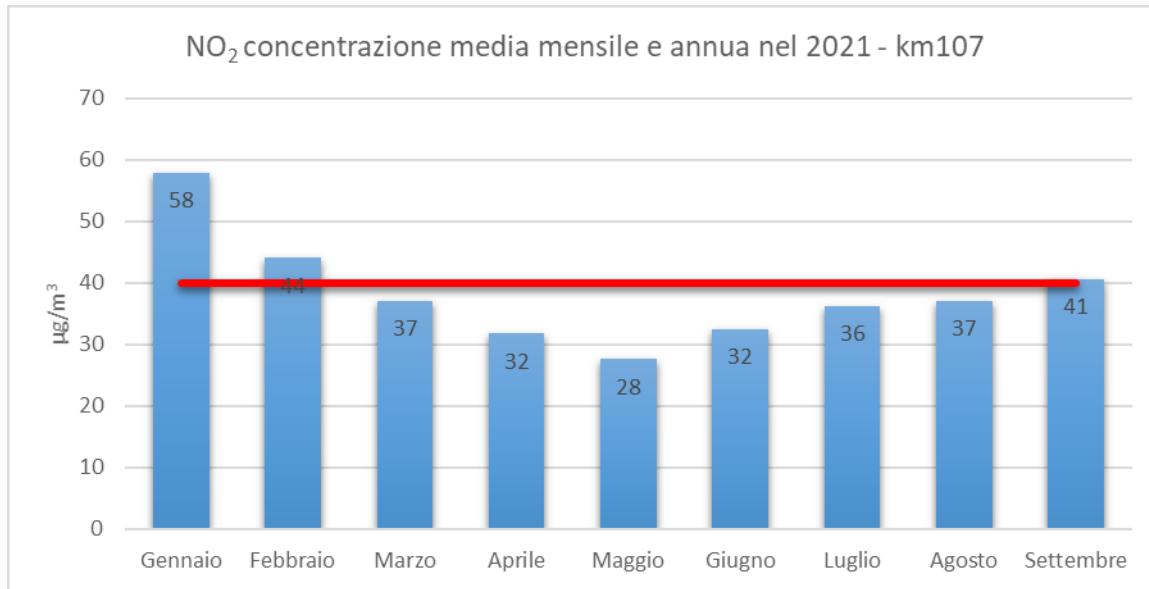


Figura 23: Concentrazione media mensile di NO<sub>2</sub> [µg/m<sup>3</sup>] per l'anno 2021 - stazione km 107

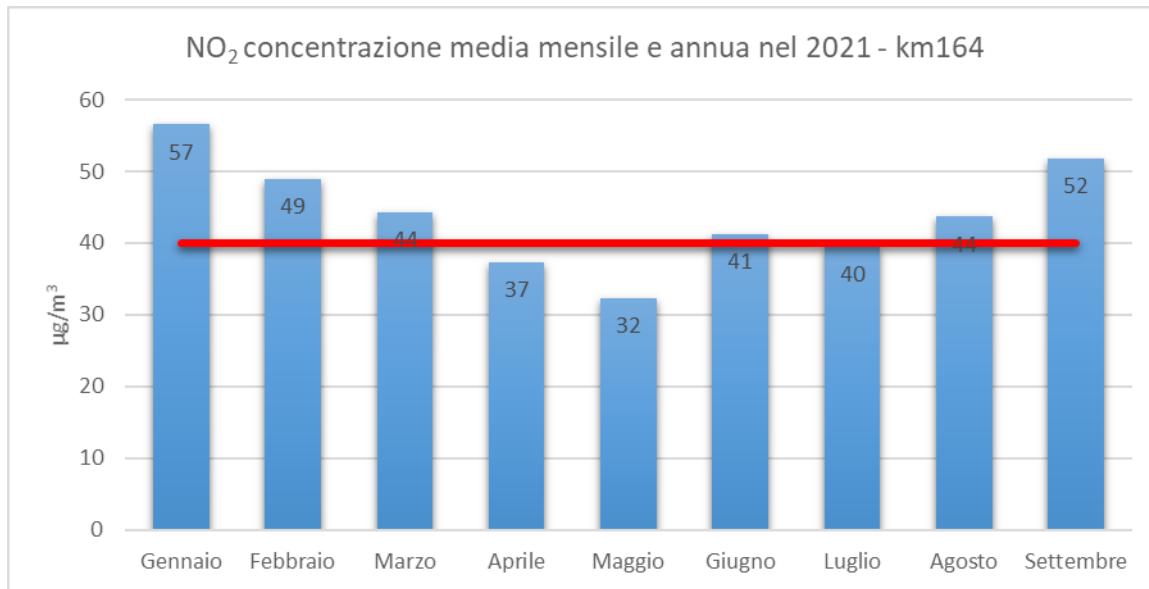


Figura 24: Concentrazione media mensile di NO<sub>2</sub> [µg/m<sup>3</sup>] per l'anno 2021 - stazione km 164

Per l'anno 2020 si nota chiaramente il calo delle concentrazioni a causa delle restrizioni per la pandemia da COVID-19, mentre nel 2021 si registra un progressivo innalzamento delle concentrazioni soprattutto nel periodo estivo a seguito della ripresa del traffico.

Come per gli anni precedenti, anche per il 2020 il limite normativo di  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  viene superato presso alcuni siti a bordo autostrada. La media annua del 2021 non viene invece riportata perché non è del tutto confrontabile con le precedenti in quanto relativa ai soli mesi da gennaio a settembre e mancante del periodo invernale di fine anno. Le concentrazioni più elevate, si verificano tipicamente nel periodo invernale anche in combinazione a condizioni meteorologiche stabili che favoriscono l'accumulo degli inquinanti negli strati più bassi dell'atmosfera.

A differenza delle stazioni di traffico in ambito urbano, che spesso sono caratterizzate da un calo delle concentrazioni nel periodo estivo, dovuto allo svuotamento delle città nei mesi più caldi dell'anno, lungo l'autostrada A22 le concentrazioni di ossidi di azoto risultano elevate anche nel periodo estivo del 2021 a causa dell'aumento dei flussi di traffico legati all'esodo turistico che, in quest'anno ancor più che nel passato, è stato caratterizzato dall'utilizzo dei mezzi veicolari su gomma.

L'analisi dei cicli diurni, settimanali e mensili di quanto misurato nei tre siti di monitoraggio mostra una buona confrontabilità tra le misure.

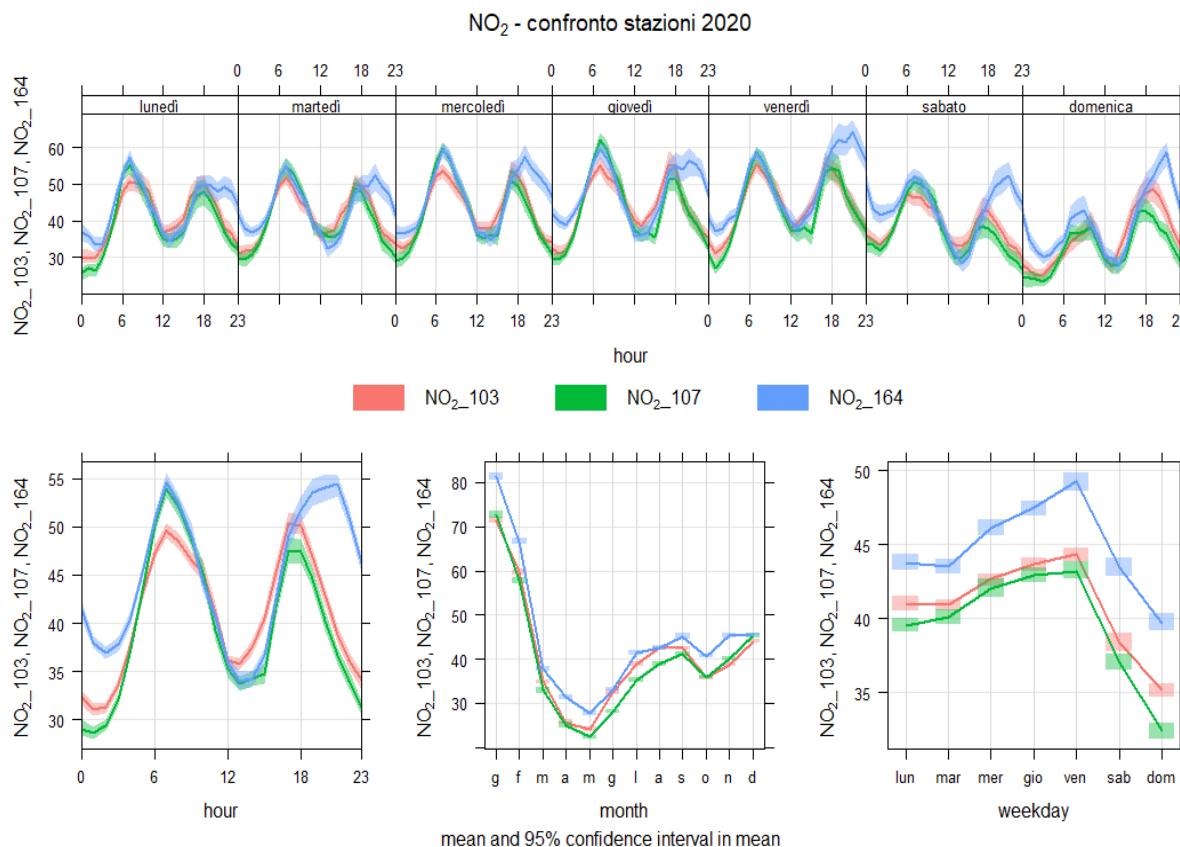
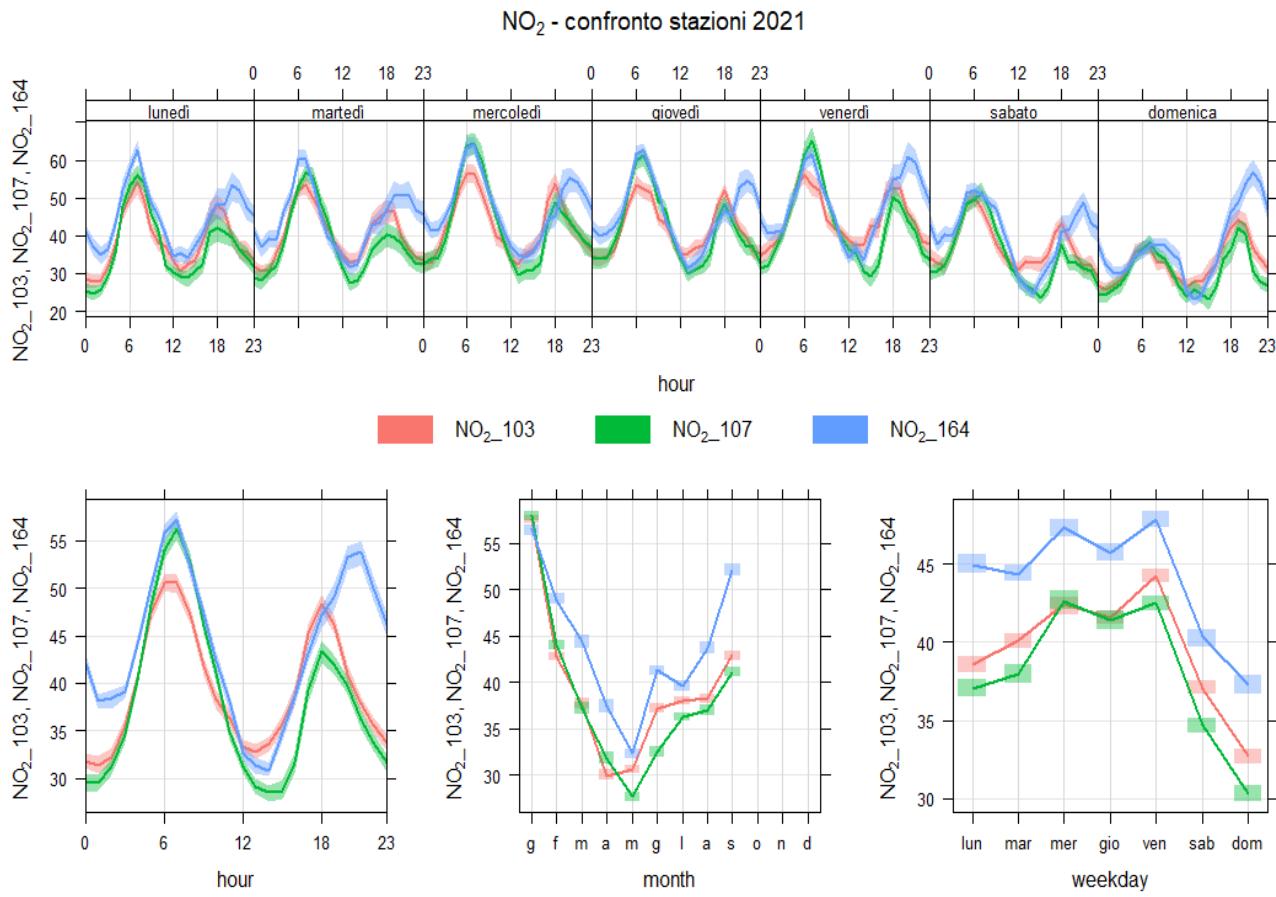


Figura 25: Andamento dell'ossido di azoto NO<sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] nei tre siti di monitoraggio ai km 103 (rosso), km 107 (verde) e km 164 (blu) - anno 2020.



*Figura 26: Andamento del biossido di azoto NO<sub>2</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] nei tre siti di monitoraggio ai km 103 (rosso), km 107 (verde) e km 164 (blu) - anno 2021.*

Nonostante le variazioni del traffico, le concentrazioni di NO<sub>2</sub> mostrano il tipico andamento con due picchi giornalieri legati ai picchi di traffico transitante in A22 (nel 2020 soprattutto di mezzi pesanti), uno al mattino e uno alla sera.

Tra i tre siti di monitoraggio si possono osservare sensibili differenze per quel che riguarda i picchi serali; le stazioni altoatesine ai km 103 e 107 sono caratterizzate da vento meridionale intenso fino a tarda serata che porta l'aria dalle campagne circostanti meno cariche di inquinanti, determinando un calo delle concentrazioni. La stazione trentina, al km 164, presenta invece calo del vento da Sud in serata e la permanenza della componente di vento settentrionale che si traduce in un picco di inquinanti più intenso e prolungato. Come riportato nei precedenti deliverable, dall'andamento settimanale si nota che le concentrazioni sono generalmente più elevate nei giorni infrasettimanali, mentre subiscono un calo durante il week-end, più marcato la domenica.



### 3.2.3 Effetti indotti dalla pandemia di COVID-19: variazioni medie di NO<sub>2</sub>

La seguente analisi di qualità dell'aria pone a confronto i dati dei primi cinque mesi del 2020 con gli analoghi periodi dei tre anni precedenti. I dati misurati dalle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria sono stati suddivisi in quattro periodi di riferimento. Tale suddivisione mira a separare le fasi dell'anno 2020 caratterizzate da diversi volumi di traffico, come conseguenza dell'introduzione delle misure di limitazione degli spostamenti per contenere la pandemia di COVID-19:

- **01/01 - 24/02**: regime di traffico inalterato;
- **25/02 - 08/03**: il traffico è progressivamente calato con il passare dei giorni. Dalle Tabelle 2 e 3 si può notare come in questo periodo il traffico sia calato mediamente del 16% per i veicoli leggeri e del 2% per i veicoli pesanti;
- **09/03 - 03/05**: periodo di lockdown in Italia. Rispetto all'analogico periodo degli anni precedenti, il traffico ha subito un calo del 92% per i veicoli leggeri e del 42% per i veicoli pesanti;
- **04/05 - 02/06**: allentamento delle misure di contenimento e ripresa del traffico (calo del 77% per i veicoli leggeri e del 32% per i veicoli pesanti).

Periodo	Veicoli leggeri triennio 2017-2019	Veicoli leggeri anno 2020	Variazione transiti veicoli leggeri 2020 vs. triennio 2017-2019	
	Veicoli medi giorno	Veicoli medi giorno	Veicoli medi giorno	[%]
25/02-08/03	26'353	22'093	-4'260	-16.2
09/03-03/05	28'024	2'193	-25'831	-92.2
04/05-02/06	30'214	7'008	-23'206	-76.8

Tabella 2: Confronto tra il numero medio di veicoli leggeri al giorno, su entrambe le carreggiate, nel triennio 2017-2019 e nel 2020 nei periodi in cui erano in atto le limitazioni agli spostamenti. I dati sono stati calcolati come media dei transiti nei tratti Egna-San Michele e Rovereto Nord-Rovereto Sud.

Periodo	Veicoli pesanti triennio 2017-2019	Veicoli pesanti anno 2020	Variazione transiti veicoli pesanti 2020 vs. triennio 2017-2019	
	Veicoli medi giorno	Veicoli medi giorno	Veicoli medi giorno	[%]
25/02-08/03	12'850	12'637	-213	-1.7
09/03-03/05	13'351	7'740	-5'612	-42.0
04/05-02/06	14'609	10'004	-4'606	-31.6

Tabella 3: Come per la tabella 1, ma per i veicoli pesanti.



Si riportano nelle Tabelle 4-10 le variazioni in termini assoluti e percentuali dei valori di concentrazione di NO<sub>2</sub> misurati nel 2020, rispetto ai valori medi dei tre anni precedenti, relativi ai periodi sopra individuati caratterizzati da diverse intensità di traffico nel 2020.

Dal confronto si evince che nel primo periodo del 2020 i valori sono in linea con gli anni precedenti; le variazioni sono dell'ordine di pochi punti percentuali in positivo o in negativo. Nel periodo di lockdown invece, a bordo autostrada, la concentrazione media di NO<sub>2</sub> diminuisce di quasi il 50% rispetto a quella dei tre anni precedenti.

Come era lecito aspettarsi, si osserva che le riduzioni nella concentrazione di NO<sub>2</sub> sono più marcate nelle stazioni di monitoraggio posizionate a bordo autostrada (km103, km107 e km164) e calano allontanandosi dalla fonte emissiva autostradale; le riduzioni risultano ugualmente significative ad una certa distanza dall'autostrada, con circa il 39% presso la stazione di Piana Rotaliana.

Dai dati a disposizione si può affermare che:

- nella prima trentina di metri di distanza dalla fonte, piccoli spostamenti dalla sede autostradale comportano grandi variazioni percentuali delle diminuzioni di NO<sub>2</sub>: le riduzioni misurate durante il periodo di lockdown nelle stazioni poste a bordo autostrada sono state di poco inferiori al 50%, mentre presso la stazione AB2, a circa 30 m di distanza dall'A22, la riduzione è del 40%; pertanto, allontanandosi di circa 30 m si è registrata una differenza pari a circa il 10%.
- a distanze superiori ai 30 m dalla fonte, le riduzioni di NO<sub>2</sub> durante il periodo di lockdown sembrano stabilizzarsi intorno al 37-40%.



Stazione ML107				
Periodo	NO <sub>2</sub> media triennio 2017-2019	NO <sub>2</sub> 2020	Variazione NO <sub>2</sub> 2020 vs. triennio 2017-2019	
	[µg/m <sup>3</sup> ]	[µg/m <sup>3</sup> ]	[µg/m <sup>3</sup> ]	[%]
01/01-24/02	68.9	66.9	-2.0	-2.9
09/03-03/05	50.7	25.6	-25.1	-49.5

Tabella 4: Confronto tra le concentrazioni di NO<sub>2</sub> nel triennio 2017-2019 e nel 2020 nel periodo con traffico inalterato (01/01-24/02) e nel periodo di lockdown (09/03-03/05) per la stazione ML107.

Stazione ML103				
Periodo	NO <sub>2</sub> media triennio 2017-2019	NO <sub>2</sub> 2020	Variazione NO <sub>2</sub> 2020 vs. triennio 2017-2019	
	[µg/m <sup>3</sup> ]	[µg/m <sup>3</sup> ]	[µg/m <sup>3</sup> ]	[%]
01/01-24/02	68.1	67.0	-1.1	-1.6
09/03-03/05	52.0	27.0	-25.0	-48.1

Tabella 5: Confronto tra le concentrazioni di NO<sub>2</sub> nel triennio 2017-2019 e nel 2020 nel periodo con traffico inalterato (01/01-24/02) e nel periodo di lockdown (09/03-03/05) per la stazione ML103.

Stazione AB2				
Periodo	NO <sub>2</sub> media triennio 2017-2019	NO <sub>2</sub> 2020	Variazione NO <sub>2</sub> 2020 vs. triennio 2017-2019	
	[µg/m <sup>3</sup> ]	[µg/m <sup>3</sup> ]	[µg/m <sup>3</sup> ]	[%]
01/01-24/02	58.2	56.3	-1.9	-3.3
09/03-03/05	33.6	20.3	-13.3	-39.5

Tabella 6: Confronto tra le concentrazioni di NO<sub>2</sub> nel triennio 2017-2019 e nel 2020 nel periodo con traffico inalterato (01/01-24/02) e nel periodo di lockdown (09/03-03/05) per la stazione AB2.

Stazione CR1				
Periodo	NO <sub>2</sub> media triennio 2017-2019	NO <sub>2</sub> 2020	Variazione NO <sub>2</sub> 2020 vs. triennio 2017-2019	
	[µg/m <sup>3</sup> ]	[µg/m <sup>3</sup> ]	[µg/m <sup>3</sup> ]	[%]
01/01-24/02	45.9	46.6	0.7	1.5%
09/03-03/05	25.5	16.1	-9.4	-36.9%

Tabella 7: Confronto tra le concentrazioni di NO<sub>2</sub> nel triennio 2017-2019 e nel 2020 nel periodo con traffico inalterato (01/01-24/02) e nel periodo di lockdown (09/03-03/05) per la stazione CR1.



Stazione km164				
Periodo	NO <sub>2</sub> media triennio 2017-2019	NO <sub>2</sub> 2020	Variazione NO <sub>2</sub> 2020 vs. triennio 2017-2019	
	[µg/m <sup>3</sup> ]	[µg/m <sup>3</sup> ]	[µg/m <sup>3</sup> ]	[%]
01/01-24/02	73.8	75.7	1.8	2.5
09/03-03/05	58.0	31.1	-9.4	-46.3

Tabella 8: Confronto tra le concentrazioni di NO<sub>2</sub> nel triennio 2017-2019 e nel 2020 nel periodo con traffico inalterato (01/01-24/02) e nel periodo di lockdown (09/03-03/05) per la stazione km164.

Stazione Avio km177				
Periodo	NO <sub>2</sub> media triennio 2017-2019	NO <sub>2</sub> 2020	Variazione NO <sub>2</sub> 2020 vs. triennio 2017-2019	
	[µg/m <sup>3</sup> ]	[µg/m <sup>3</sup> ]	[µg/m <sup>3</sup> ]	[%]
01/01-24/02	62.6	55.5	-7.1	-11.3
09/03-03/05	45.3	25.1	-20.2	-44.5

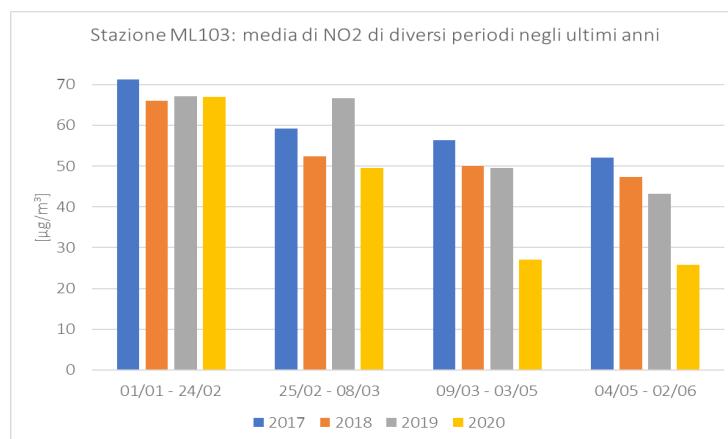
Tabella 9: Confronto tra le concentrazioni di NO<sub>2</sub> nel triennio 2017-2019 e nel 2020 nel periodo con traffico inalterato (01/01-24/02) e nel periodo di lockdown (09/03-03/05) per la stazione Avio km177.

Stazione Piana Rotaliana				
Periodo	NO <sub>2</sub> media triennio 2017-2019	NO <sub>2</sub> 2020	Variazione NO <sub>2</sub> 2020 vs. triennio 2017-2019	
	[µg/m <sup>3</sup> ]	[µg/m <sup>3</sup> ]	[µg/m <sup>3</sup> ]	[%]
01/01-24/02	34.8	35.5	0.7	2.0
09/03-03/05	18.9	11.6	-7.3	-38.7

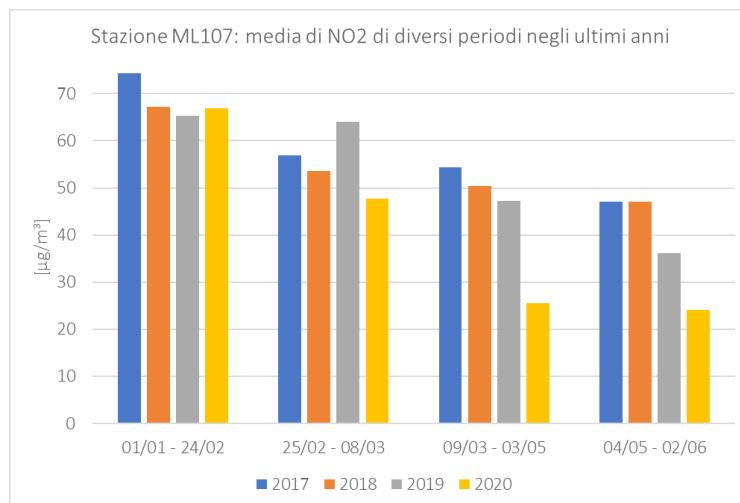
Tabella 10: Confronto tra le concentrazioni di NO<sub>2</sub> nel triennio 2017-2019 e nel 2020 nel periodo con traffico inalterato (01/01-24/02) e nel periodo di lockdown (09/03-03/05) per la stazione Avio km177.

Le informazioni contenute nelle precedenti tabelle possono essere apprezzate anche in forma grafica nelle seguenti figure. In particolare, viene riportato il valore medio di biossido di azoto rilevato negli ultimi 4 anni, nei quattro periodi individuati. Nel primo periodo i valori sono confrontabili per i diversi anni, mentre nel periodo di lockdown del 2020 si nota l'evidente diminuzione della concentrazione di NO<sub>2</sub>.

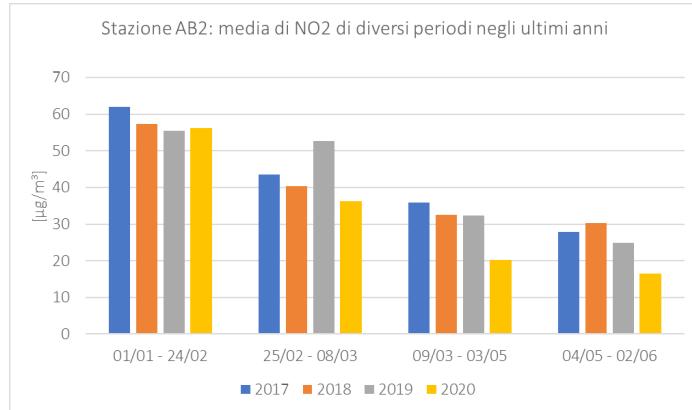
Il periodo che va dal 25/02 al 08/03 rappresenta un periodo di transizione e parziale calo del traffico, mentre il periodo di ripresa è molto graduale e presenta concentrazioni che si mantengono comunque ancora al di sotto delle medie del triennio precedente.



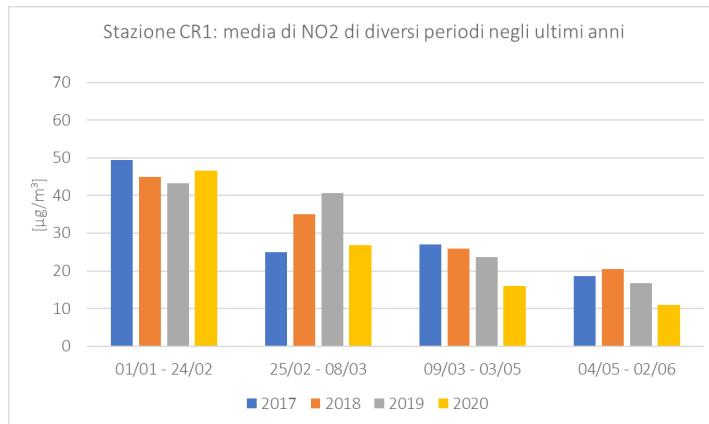
*Figura 27: Confronto delle concentrazioni di NO<sub>2</sub> nei periodi con diverse intensità di traffico negli anni 2017-2020 per la stazione ML103.*



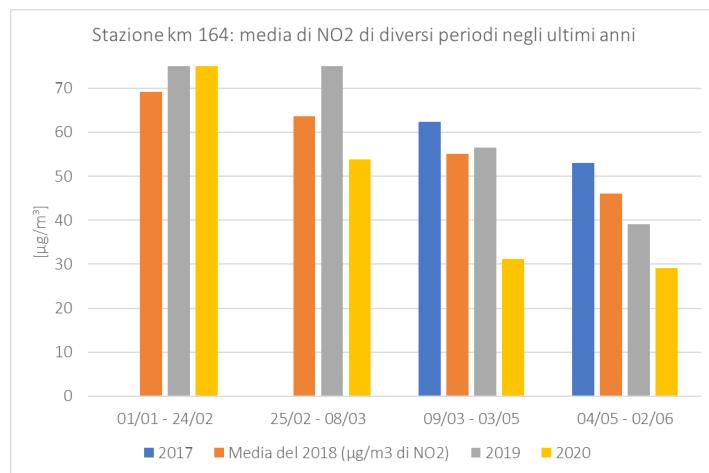
*Figura 28: Come in 27, ma per la stazione ML107.*



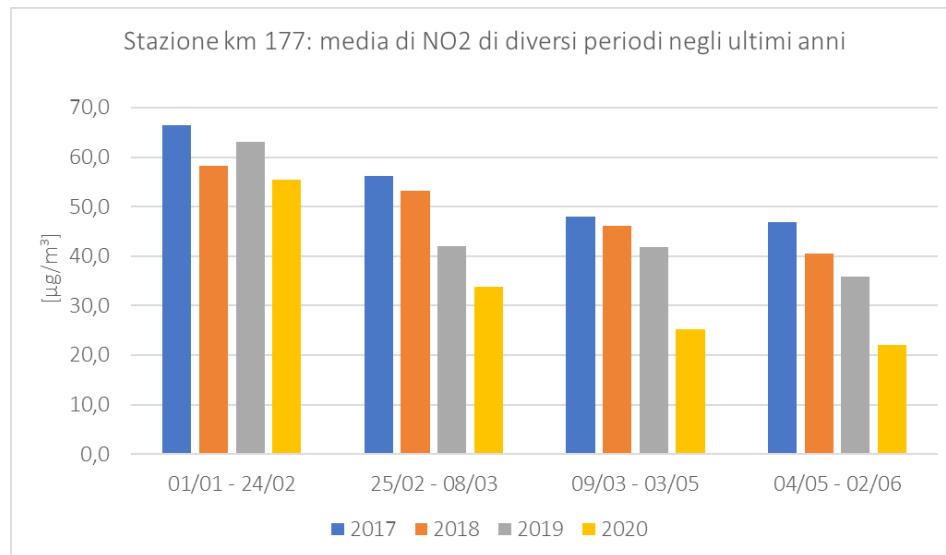
*Figura 29: Come in 27, ma per la stazione AB2.*



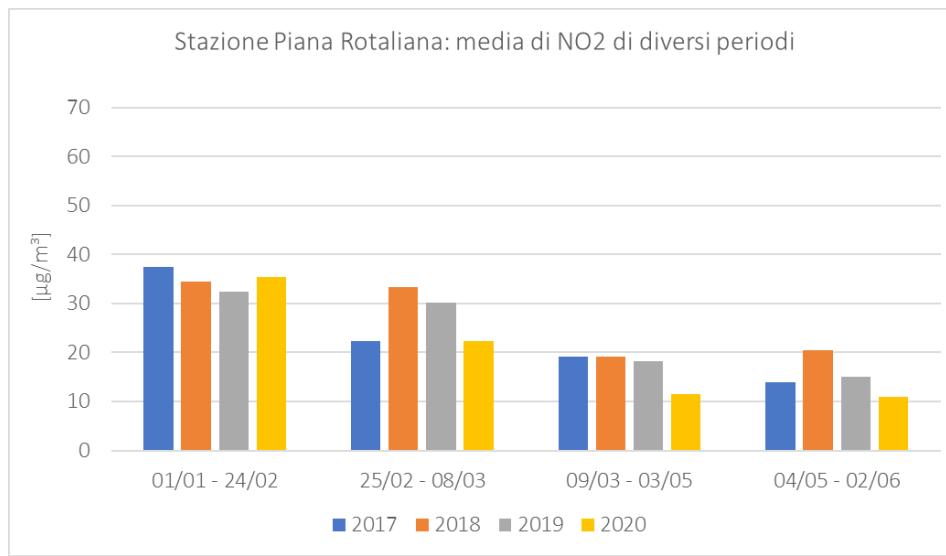
*Figura 30: Come in 27, ma per la stazione CR1.*



*Figura 31: Come in 27, ma per la stazione al km 164.*



*Figura 32: Come in 27, ma per la stazione al km 177.*

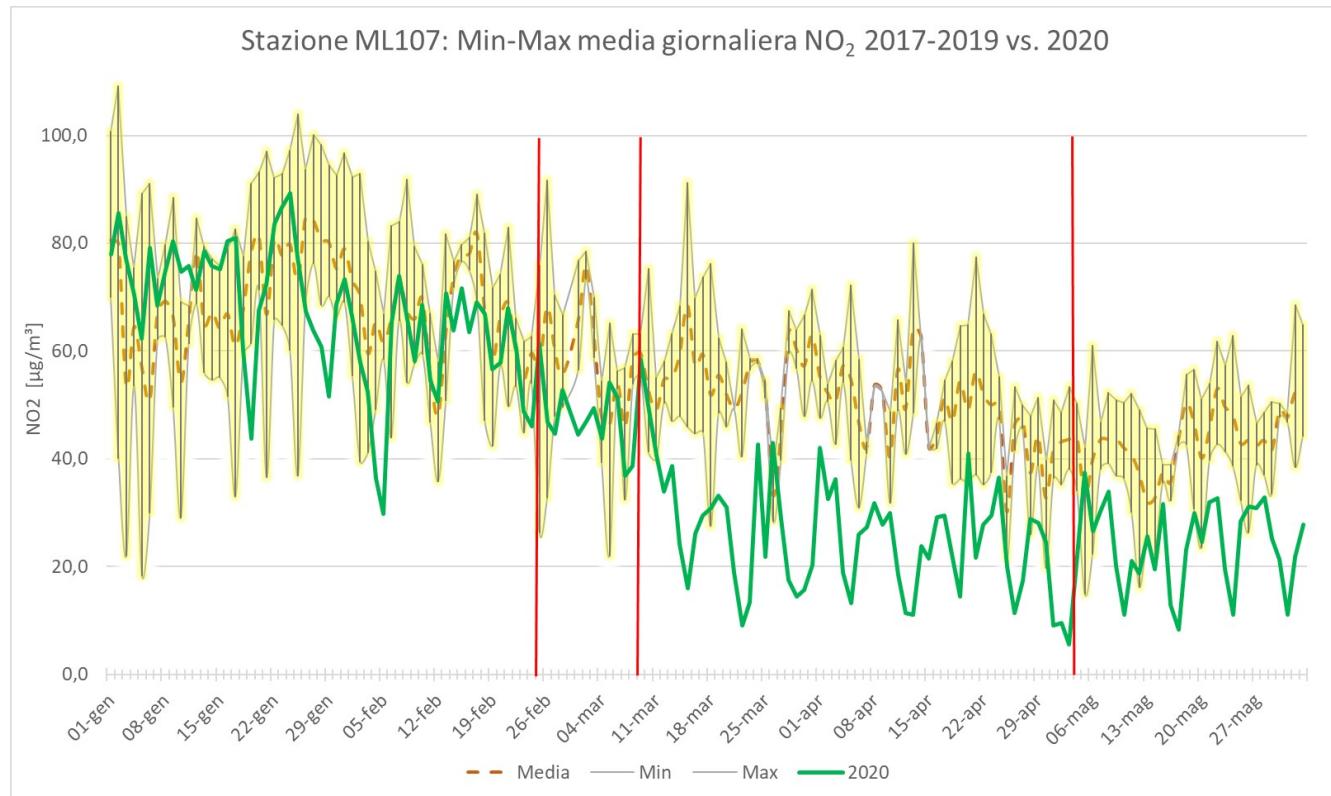


*Figura 33: Come in 27, ma per la stazione Piana Rotaliana.*

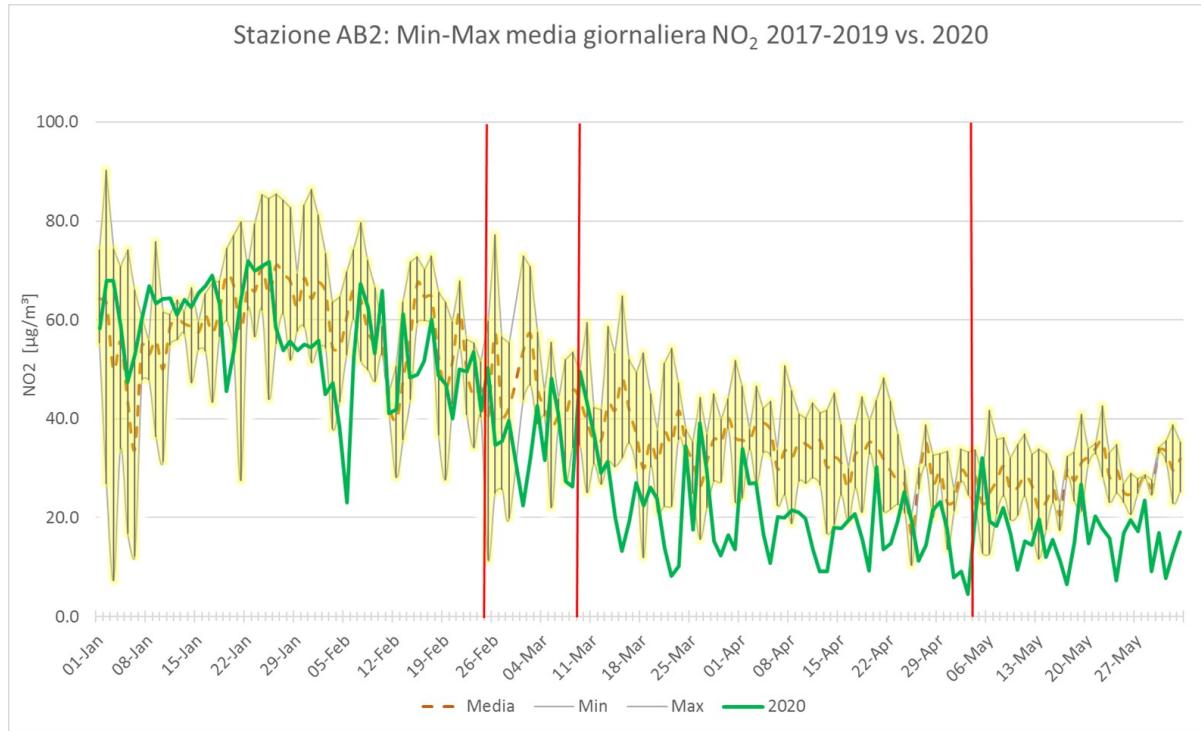
### 3.2.4 Effetti indotti dalla pandemia di COVID-19: variazione delle medie giornaliere

Di seguito vengono mostrate le serie temporali dei valori medi giornalieri delle concentrazioni di NO<sub>2</sub> per il periodo 01/01-02/06, confrontando i valori misurati nel 2020 con quelli osservati nel triennio precedente. In particolare, nei grafici viene riportato in arancione (linea tratteggiata) il valore medio giornaliero di NO<sub>2</sub> per gli ultimi 3 anni (2017-2019), mentre in verde la concentrazione misurata nei primi mesi del 2020. La fascia gialla delimita il range di valori minimi e massimi registrati negli anni 2017-2019, mentre

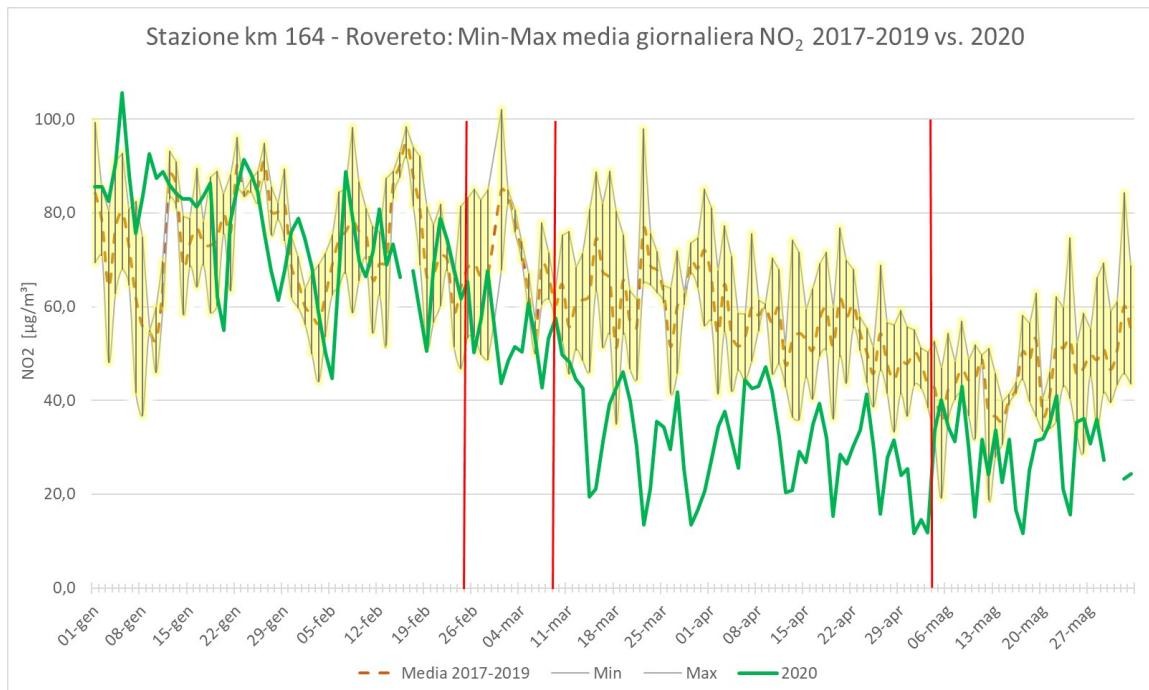
le linee rosse verticali delimitano i quattro periodi temporali presi in considerazione per la presente analisi. Per le stazioni considerate, nel primo periodo di traffico inalterato la curva verde oscilla prevalentemente all'interno della fascia gialla (tra minimo e massimo); durante la fase di calo del traffico e di lockdown le concentrazioni misurate nel 2020 diminuiscono e si discostano invece in maniera più accentuata rispetto alle concentrazioni degli anni precedenti.



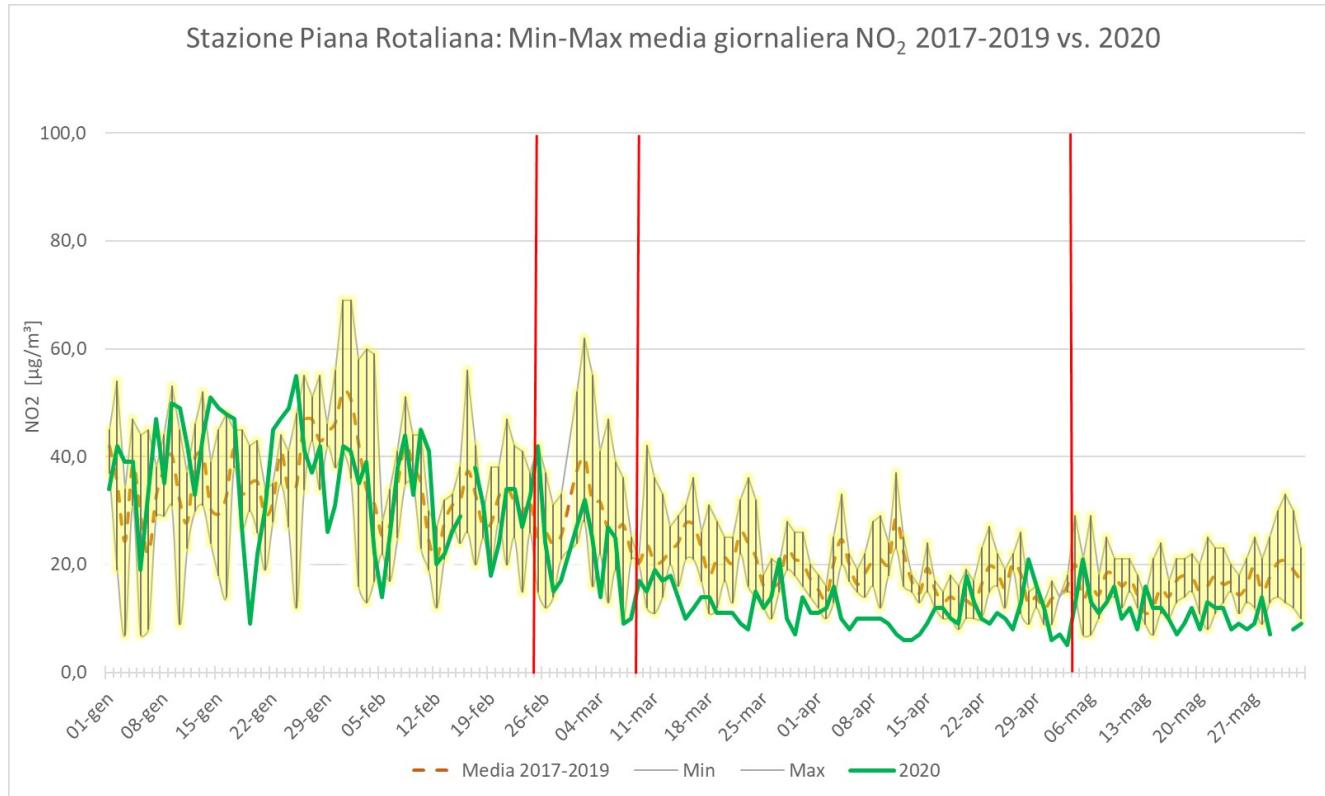
*Figura 34: Serie temporale su base giornaliera delle concentrazioni di NO<sub>2</sub> misurate presso la stazione ML107. La linea arancione tratteggiata rappresenta la concentrazione media nel periodo 2017-2019, gli estremi dell'area gialla rappresentano la concentrazione minima e massima nel periodo 2017-2019, mentre la linea verde continua rappresenta la concentrazione nell'anno 2020.*



*Figura 35: Come in 34, ma per la stazione AB2.*



*Figura 36: Come in 34, ma per la stazione al km164.*



*Figura 37: Come in 34, ma per la stazione Piana Rotaliana.*

### 3.2.5 Effetti indotti dalla pandemia di COVID-19: ciclo medio giornaliero

Nelle figure seguenti si possono apprezzare i cicli medi giornalieri di biossido di azoto nelle diverse stazioni di misura nel periodo con traffico inalterato e durante la fase di lockdown. Come osservato nelle analisi precedenti, anche per quanto riguarda gli andamenti giornalieri di NO<sub>2</sub> si riscontra come, nel periodo di normalità del 2020, si siano misurate concentrazioni di NO<sub>2</sub> paragonabili agli anni precedenti; durante il periodo caratterizzato dalle limitazioni al traffico nel 2020, invece, i valori di concentrazione di biossido di azoto si sono rivelati nettamente inferiori rispetto al triennio precedente ad ogni ora del giorno. Nonostante il calo delle attività produttive e l'ampia diffusione dello smart working per molti lavoratori, si conferma comunque il tipico andamento orario che presenta due picchi giornalieri, al mattino e alla sera, legati agli orari lavorativi, sia per le stazioni a bordo strada (es. stazione ML103) che per le altre stazioni (es. stazione AB2).

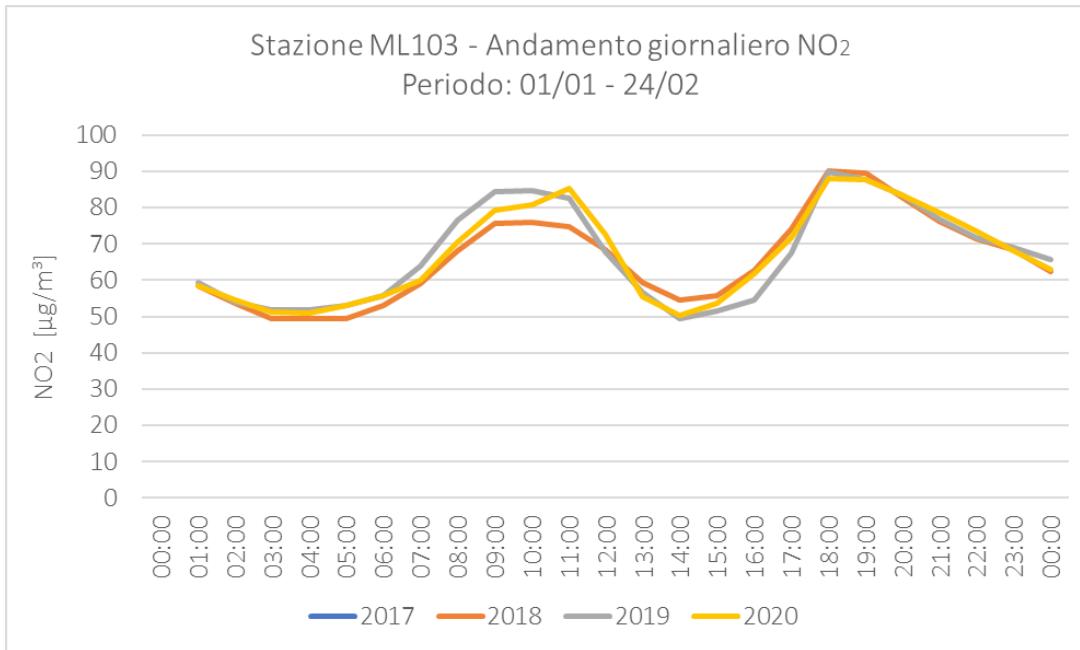


Figura 38: Ciclo medio giornaliero delle concentrazioni di NO<sub>2</sub> nel periodo con traffico inalterato (01/01 - 24/02) per la stazione ML103. In questa stazione non è disponibile il ciclo medio giornaliero per l'anno 2017.

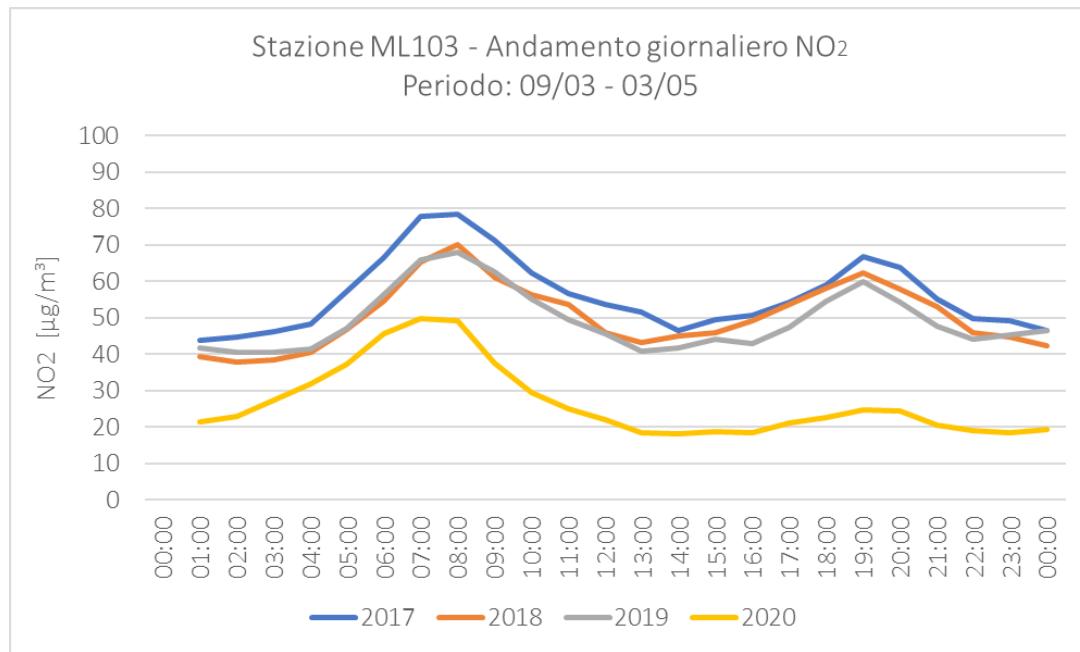


Figura 39: Ciclo medio giornaliero delle concentrazioni di NO<sub>2</sub> nel periodo di lockdown (09/03 - 03/05) per la stazione ML103.

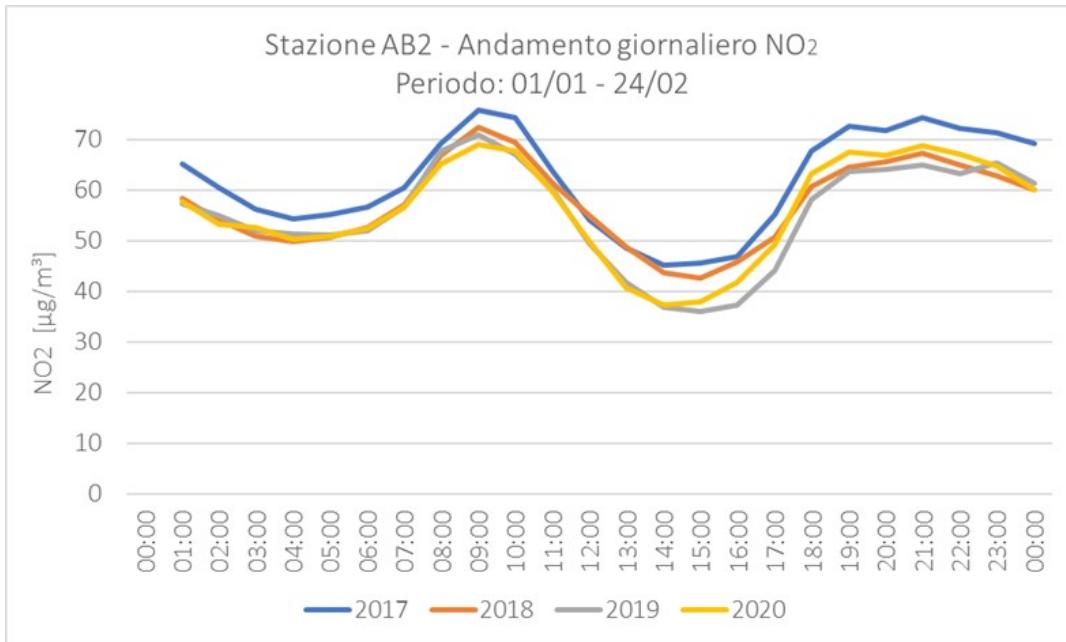


Figura 40: Ciclo medio giornaliero delle concentrazioni di NO<sub>2</sub> nel periodo con traffico inalterato (01/01 - 24/02) per la stazione AB2.

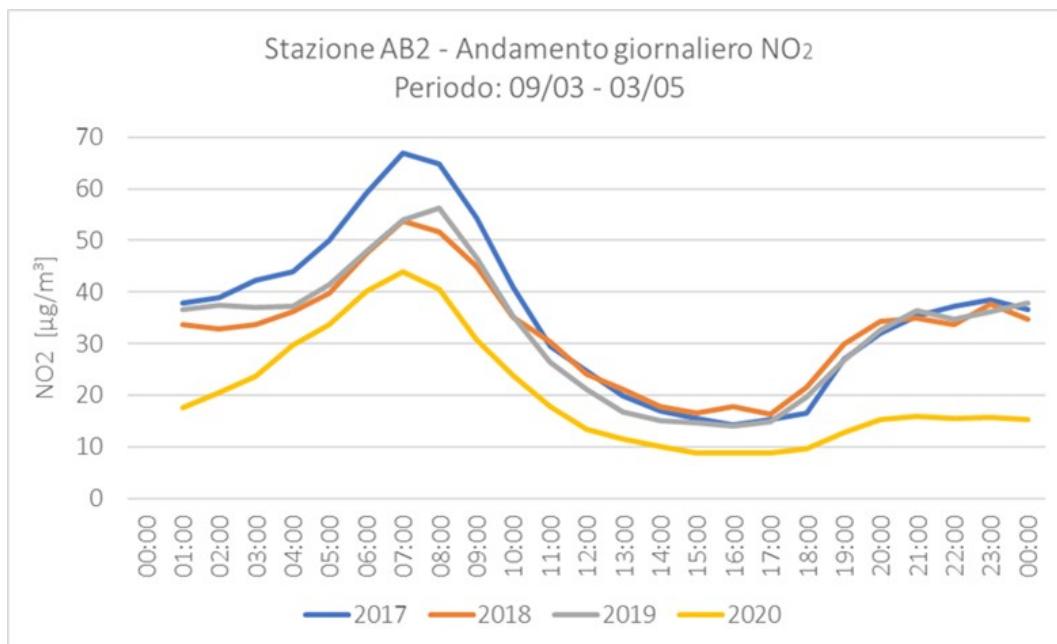


Figura 41: Ciclo medio giornaliero delle concentrazioni di NO<sub>2</sub> nel periodo di lockdown (09/03 - 03/05) per la stazione AB2.



### **3.2.6 Effetti indotti dalla pandemia di COVID-19: valori normalizzati di NO<sub>2</sub>**

Al fine di evidenziare il calo delle emissioni durante il periodo di lockdown è possibile utilizzare un approccio alternativo rispetto a quello appena presentato. Tale approccio consiste nell'effettuare una normalizzazione meteorologica sfruttando non solo le misure di concentrazione di inquinante, ma anche dati prettamente meteorologici. Di seguito sono spiegati brevemente i principi su cui si basa questa tecnica e come essa è stata utilizzata per questa analisi.

La concentrazione degli inquinanti misurata dagli strumenti dipende da due fattori:

1. l'emissione intrinseca, ovvero la quantità di sostanza inquinante emessa dalla sorgente;
2. le condizioni atmosferiche, in particolare la capacità dell'atmosfera di disperdere gli inquinanti.

Ad esempio, se una sorgente emette una certa quantità di inquinante e ci si trova in condizioni di atmosfera stabile (es. in inverno), la sostanza tende a rimanere nelle vicinanze della sorgente, negli strati inferiori dell'atmosfera, per cui la concentrazione misurata risulterà elevata. Al contrario, se la stessa quantità di inquinante viene rilasciata in un momento in cui sono presenti moti convettivi (es. in estate), a causa del rimescolamento dell'aria prodotto dalla convezione l'inquinante viene disperso e la concentrazione misurata risulterà minore. Per questo motivo, se si vuole studiare l'emissione intrinseca, paragonare i valori misurati in periodi in cui le condizioni atmosferiche sono molto differenti può essere fuorviante. Pertanto l'analisi presentata in precedenza è andata a confrontare le concentrazioni del periodo di lockdown con quelle dello stesso periodo relativo agli anni precedenti (primavera 2020 - primavera 2017/2018/2019), in modo da garantire una certa omogeneità di condizioni atmosferiche. Lo scopo della normalizzazione meteorologica è quello di ottenere l'andamento temporale della concentrazione normalizzata, cioè depurata dagli effetti della variabilità meteorologica. Quello che si ottiene in seguito alla normalizzazione è quindi una serie temporale che mostra l'andamento che avrebbe la concentrazione dell'inquinante se le condizioni meteorologiche fossero sempre le stesse.

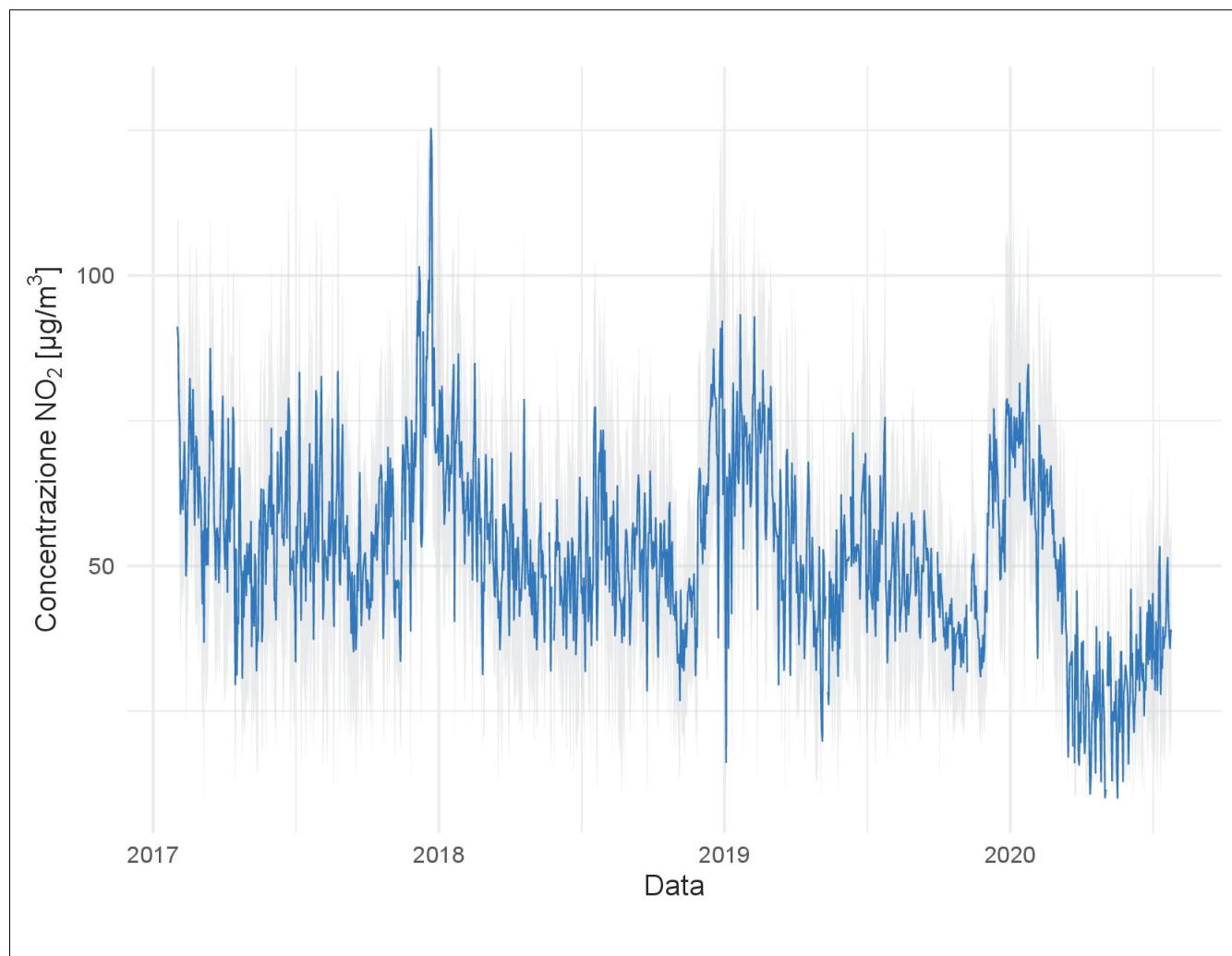
Per effettuare la normalizzazione viene utilizzato un algoritmo di machine learning che determina la dipendenza della concentrazione misurata da un gruppo di variabili rappresentative dei processi che influenzano la dispersione degli inquinanti. Queste variabili (indipendenti) sono le principali grandezze meteorologiche (temperatura, velocità e direzione del vento, pressione, umidità, precipitazione, radiazione solare e gradiente verticale di temperatura), a cui vengono aggiunte alcune variabili temporali, che servono per tenere in considerazione i cicli periodici e il trend di lungo periodo della



concentrazione degli inquinanti (giorno della settimana, giorno dell'anno e data "unix", cioè i secondi a partire dal 01/01/1970). Per ottenere una serie temporale della concentrazione normalizzata che rispecchi il più possibile l'effettivo andamento delle emissioni, è molto importante che le variabili siano scelte in modo tale da includere tutti i fattori che hanno un ruolo nella dispersione. L'algoritmo per la normalizzazione richiede in ingresso la serie temporale della concentrazione misurata e quelle delle variabili indipendenti. Una parte di questi dati (scelta in maniera casuale) viene utilizzata per "allenare" il modello: ai diversi valori delle variabili indipendenti è associato un valore di concentrazione, se tali valori cambiano, la concentrazione cambia di conseguenza. Il modello quindi, utilizzando i dati, "impara" a capire come avviene questo cambiamento. Per esempio, se accade sistematicamente che quando la temperatura è bassa le concentrazioni misurate sono alte, l'algoritmo "capisce" che la concentrazione aumenta al calore della temperatura. Questo semplice ragionamento è implementato considerando tutte le variabili contemporaneamente ed utilizzando opportuni intervalli di valori per ciascuna di esse (ciò consente di capire, ad esempio, cosa succede alla concentrazione se la temperatura è minore di un certo valore, il gradiente termico è negativo, le precipitazioni assenti ecc...). Grazie a questo "allenamento", il modello è in grado di fare delle previsioni sui valori delle concentrazioni e tali previsioni vengono poi verificate utilizzando la restante parte dei dati in ingresso. Per ottenere delle previsioni accurate è fondamentale che i dati forniti all'algoritmo contengano più combinazioni possibili di valori assunti dalle variabili meteorologiche; per questo è utile avere a disposizione molti anni di misurazioni strumentali.

In questo studio sono stati presi in esame i dati meteorologici e di qualità dell'aria delle stazioni ML103 ed ML107 situate a bordo autostrada, rispettivamente ai km 103 e 107, mentre le misure del gradiente termico verticale sono quelle ottenute dal profilatore termico situato all'aeroporto di Bolzano. L'algoritmo utilizzato per la normalizzazione è stato scritto in linguaggio R, a partire dai codici del pacchetto "rmweather" [1,2]. Il grafico presentato in 42 mostra l'andamento della concentrazione di NO<sub>2</sub> misurata dalla stazione ML103 da febbraio 2017 a luglio 2020. Si tratta di valori non normalizzati, in particolare la linea blu mostra le medie giornaliere della concentrazione, mentre l'area grigia ne indica l'incertezza ( $\pm$  deviazione standard). Si nota un andamento irregolare contraddistinto da molte fluttuazioni: ciò è dovuto alla variabilità giornaliera delle condizioni meteorologiche. Tuttavia, nonostante l'irregolarità, si può comunque vedere che durante gli inverni la concentrazione risulta mediamente più alta che negli altri periodi (si notino i tre picchi a cavallo degli anni 2018, 2019 e 2020). Anche questa è una conseguenza delle condizioni meteorologiche: in inverno l'atmosfera tende ad essere più stabile e quindi ad ostacolare la dispersione degli inquinanti. Infine, il grafico mostra un marcato calo della concentrazione nella prima metà del 2020, seguito da una lenta

risalita: si tratta dell'effetto del lockdown e della successiva ripresa delle attività, già evidenziato nelle analisi presentate nelle sezioni precedenti. Tuttavia, è bene evidenziare che il calo iniziale avviene in concomitanza della fine dell'inverno per cui, considerati i cicli stagionali, anche in assenza di lockdown sarebbe stato lecito attendersi una diminuzione della concentrazione. La conseguenza del lockdown è il fatto che il calo sia stato più marcato rispetto agli anni precedenti, come si vede qualitativamente dal grafico e come è stato illustrato quantitativamente nella prima parte di questo studio.



*Figura 42: Andamento della concentrazione di NO<sub>2</sub> misurata dalla stazione ML103. La linea blu rappresenta la media giornaliera, mentre l'area grigia l'incertezza ( $\pm$  deviazione standard).*

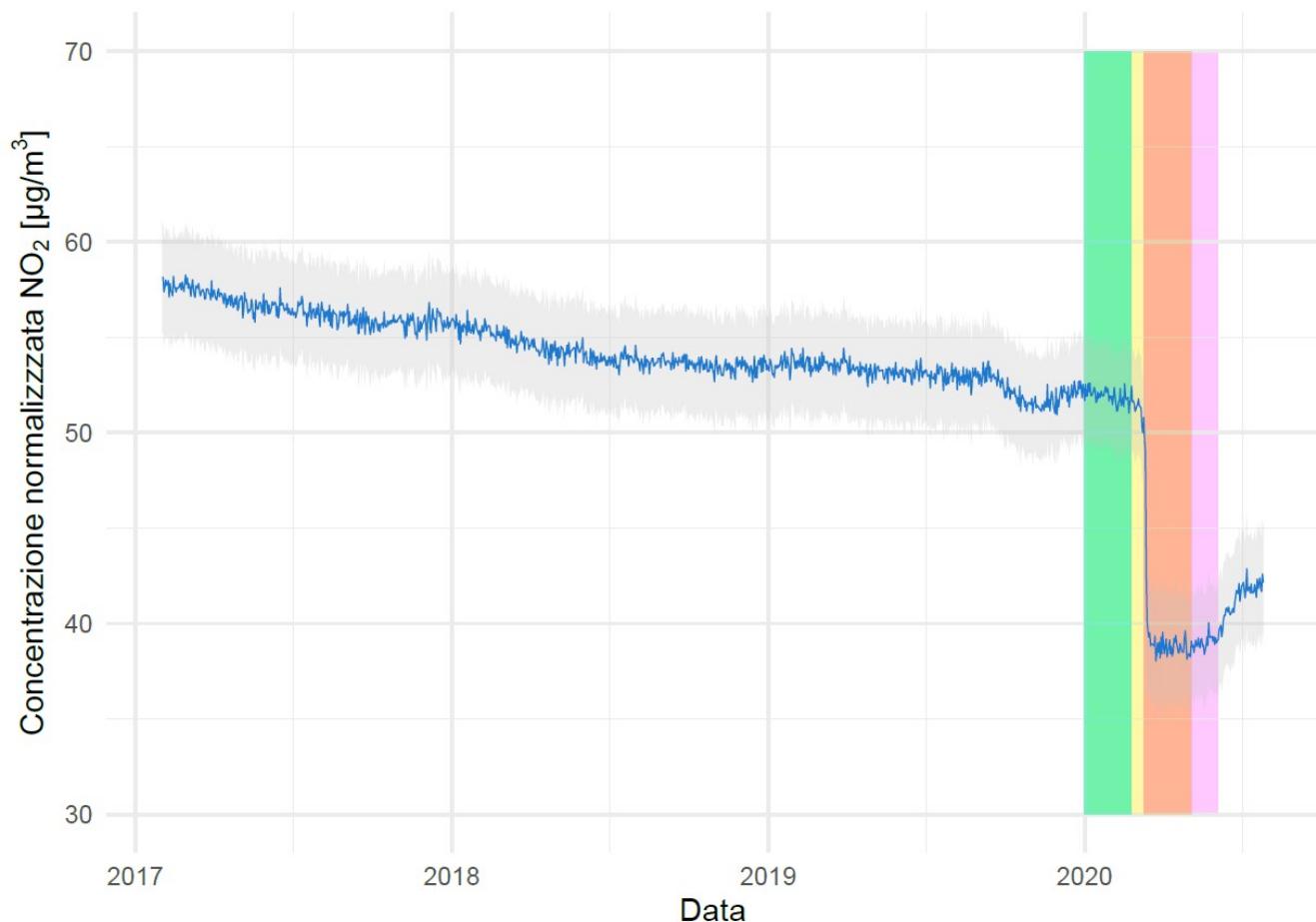
Alla serie temporale rappresentata in 42 è stato applicato l'algoritmo di normalizzazione meteorologica, utilizzando i dati meteorologici della medesima stazione e le misure del profilatore termico. L'andamento della concentrazione normalizzata così ottenuto è



mostrato in 43. La linea blu e l'area grigia indicano, come nel grafico precedente, i valori medi e l'incertezza, mentre le quattro aree colorate in verde, giallo, arancione e rosa indicano rispettivamente i quattro periodi con differenti intensità di traffico, definiti in precedenza. Questo grafico, rispetto a quello precedente, mostra un andamento più regolare, senza particolari picchi o cicli stagionali, questo perché, grazie alla normalizzazione, i dati sono stati depurati dagli effetti delle condizioni meteorologiche. Nei tre anni di misurazione che vanno dall'inizio del 2017 all'inizio nel 2020 si vede una lenta e progressiva diminuzione della concentrazione, ciò è probabilmente dovuto al rinnovamento del parco circolante. Infatti, siccome la stazione ML103 è situata a bordo autostrada, la quasi totalità del biossido di azoto da essa rilevato è originata dal traffico autostradale e dal momento che, con il passare degli anni, i veicoli circolanti sono sempre meno inquinanti, la concentrazione normalizzata tende a calare. Considerando invece i quattro periodi evidenziati si nota che:

1. durante il periodo 01/01-24/02, caratterizzato da un regime di traffico inalterato, l'andamento della concentrazione normalizzata è effettivamente in linea con gli anni precedenti;
2. durante il periodo 25/02-08/03, caratterizzato da una diminuzione del traffico, anche la concentrazione normalizzata mostra un lieve calo, che poi diventa un salto repentino in corrispondenza del 9 marzo, giorno di inizio della fase di lockdown.
3. durante il periodo 09/03-03/05, caratterizzato da un traffico enormemente ridimensionato, la concentrazione normalizzata, dopo il salto iniziale, rimane stabile su livelli molto bassi.
4. durante il periodo 04/05-02/06, caratterizzato da un allentamento delle misure restrittive, con conseguente ripresa del traffico autostradale, anche la concentrazione normalizzata comincia lievemente ad aumentare.

È da qui evidente che la concentrazione normalizzata di NO<sub>2</sub> riflette molto bene le condizioni di traffico.



*Figura 43: Andamento della concentrazione normalizzata di NO<sub>2</sub> ricavata dai dati della stazione ML103. La linea blu rappresenta la media giornaliera, l'area grigia l'incertezza ( $\pm$  deviazione standard), mentre le fasce verde, giallo, arancione e rosa indicano rispettivamente i quattro periodi con differente traffico nel 2020 evidenziati in questo studio.*

La discontinuità presente nel grafico di 43 suggerisce la possibilità di definire due macro-periodi caratterizzati da regimi di traffico ed emissioni molto differenti: il primo (01/01-08/03) può essere considerato rappresentativo della situazione prima del lockdown, il secondo (09/03-02/06) rappresenta la situazione durante la fase del lockdown e post-lockdown, quando le restrizioni sugli spostamenti erano molto pesanti.

Di seguito viene mostrata la serie temporale delle concentrazioni normalizzate per la stazione ML107, caratterizzata da un andamento molto simile a quello analizzato per la stazione ML103.

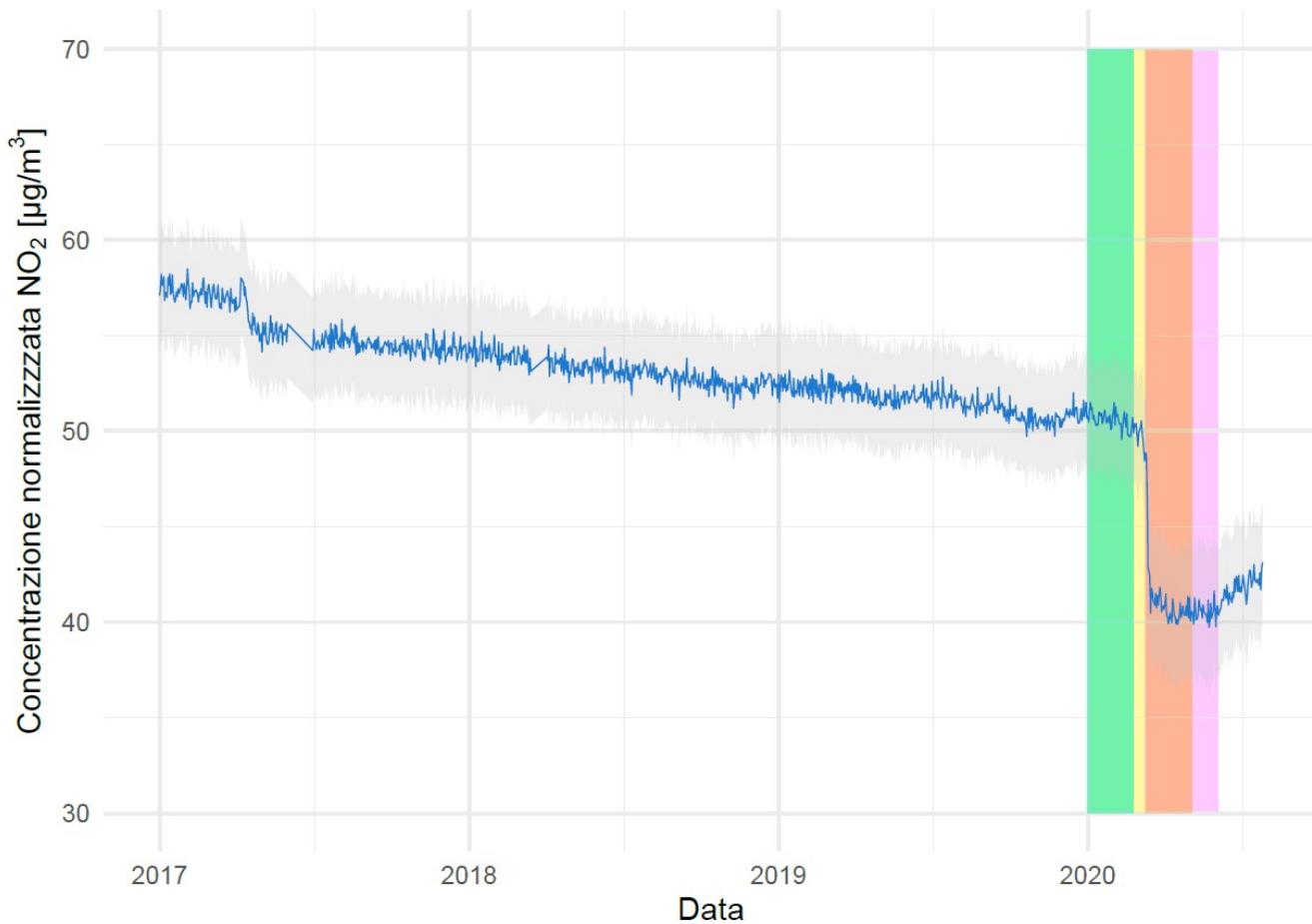


Figura 44: Come in Figura 18, ma per la stazione ML107



### 3.2.7 Effetti indotti dalla pandemia di COVID-19: analisi delle emissioni di NO<sub>x</sub> e CO<sub>2</sub>

Attraverso la catena modellistica implementata per il progetto, è stata effettuata la stima delle emissioni di ossidi di azoto e di anidride carbonica prodotti, differenziandole nei diversi periodi che hanno caratterizzato le varie fasi dell'emergenza COVID-19 e che sono stati utilizzati anche per l'analisi dei dati di qualità dell'aria. I valori ottenuti sono stati confrontati con gli analoghi periodi del 2017, del 2018 e del 2019. Come spire contatraffico di riferimento sono state utilizzate quelle al km 103 e al km 164. In 45 è presentato il confronto tra le stime delle emissioni giornaliere totali di NO<sub>x</sub> prodotte nei diversi anni presso la spira al km 103. Quello che appare evidente è che, al di là di differenze dovute a peculiari condizioni di traffico e a valori particolarmente bassi dovuti a parziale mancanza di dati di traffico rilevati dalla spira, l'andamento giornaliero nel corso degli anni risulta del tutto confrontabile tra gli anni 2017, 2018 e 2019. Il comportamento nel 2020 invece si discosta in modo netto: già a seguito dell'emanazione del Decreto Legge del 23/02/2020 n.6, si osserva un calo delle emissioni che raggiungono i valori minimi proprio durante il periodo di lockdown.

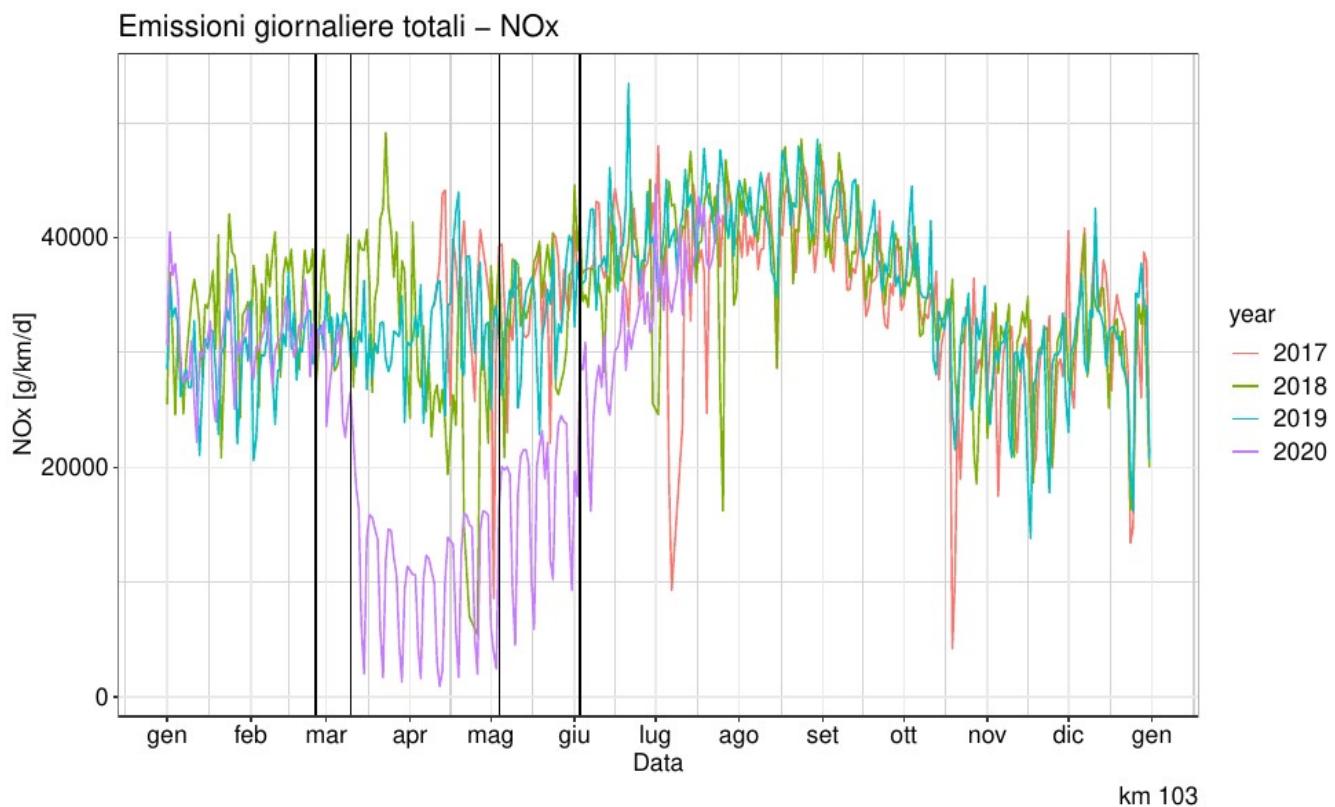
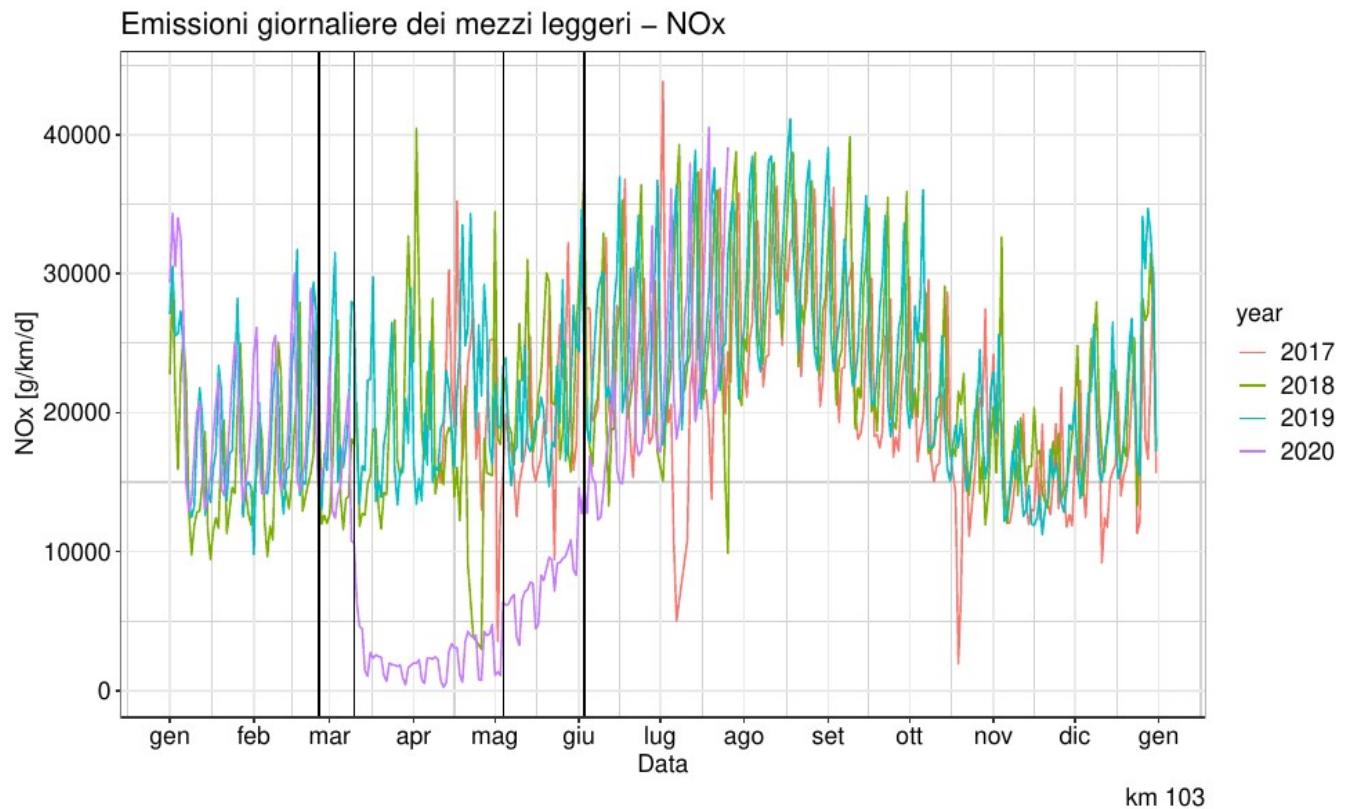
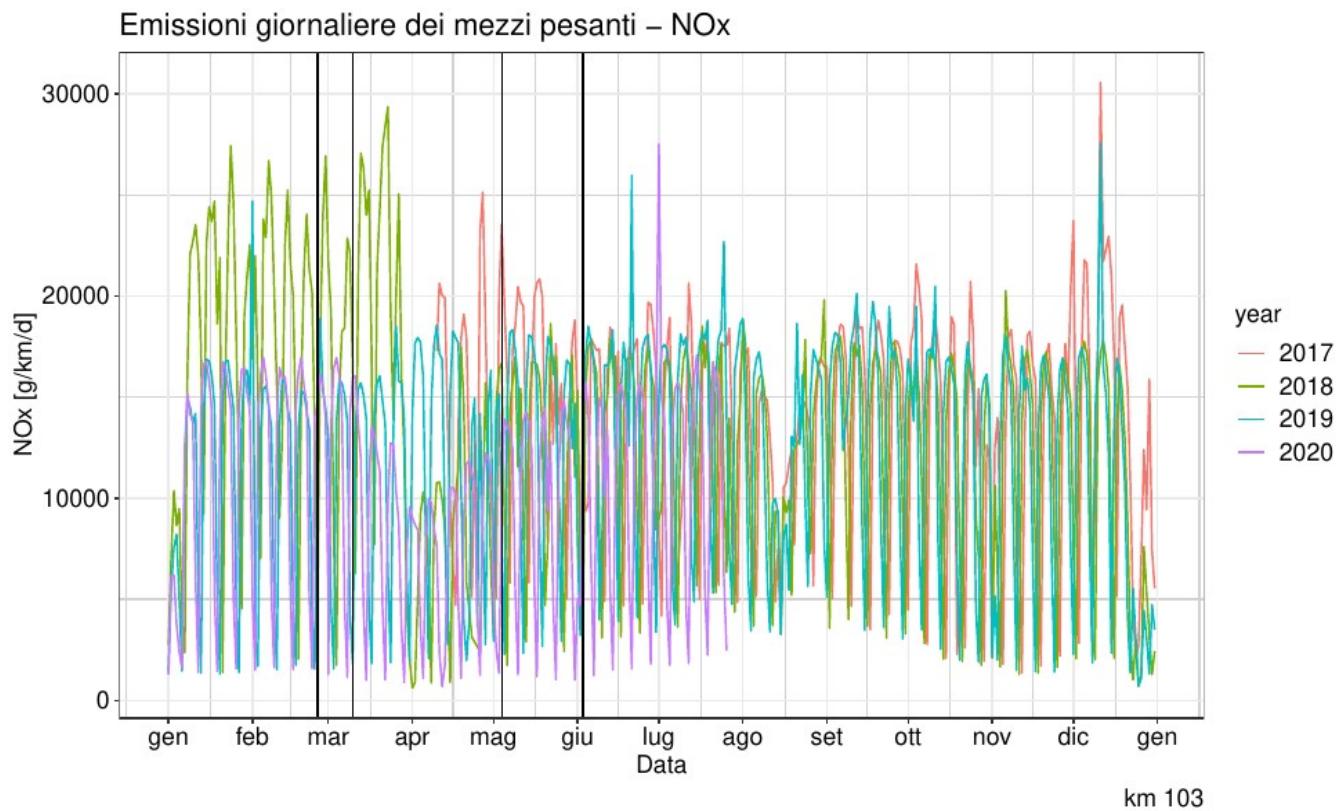


Figura 45: Emissioni giornaliere totali di ossidi di azoto stimate presso la spira al km 103: confronto tra gli anni 2017, 2018, 2019 e 2020

In 46 è presentato il confronto delle emissioni giornaliere di NOx dovute ai soli veicoli leggeri presso la spira al km 103 nei diversi anni analizzati. Quello che emerge è che per i veicoli leggeri il calo delle emissioni appare ancora più rilevante. Invece, se si osservano le emissioni dovute ai soli veicoli pesanti (Figura 47), si nota come il calo maggiore si sia registrato all'inizio di aprile, ma sia meno rilevante di quello che ha caratterizzato i veicoli leggeri.



*Figura 46: Come in 45, ma con emissioni per i soli veicoli leggeri.*



*Figura 47: Come in 45, ma con emissioni per i soli veicoli pesanti.*

Nelle seguenti figure sono presentati i confronti delle emissioni di anidride carbonica prodotte giornalmente per i diversi anni analizzati, sempre alla spira al km 103.

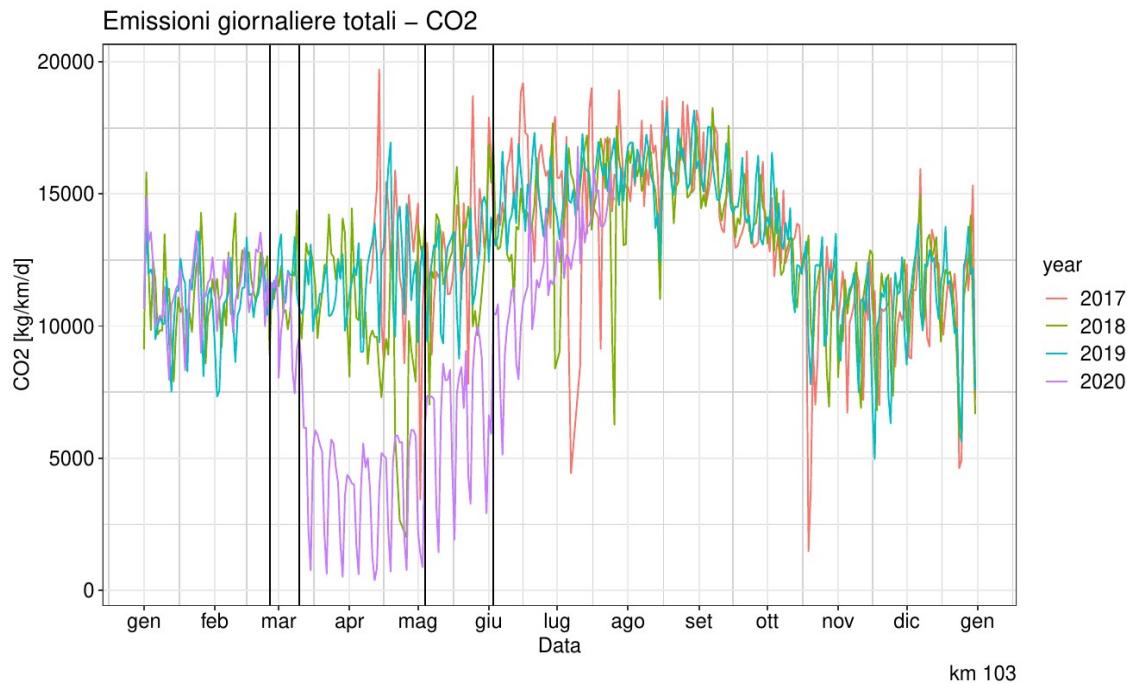


Figura 48: Emissioni giornaliere totali di anidride carbonica stimate presso la spira al km 103: confronto tra gli anni 2017, 2018, 2019 e 2020.

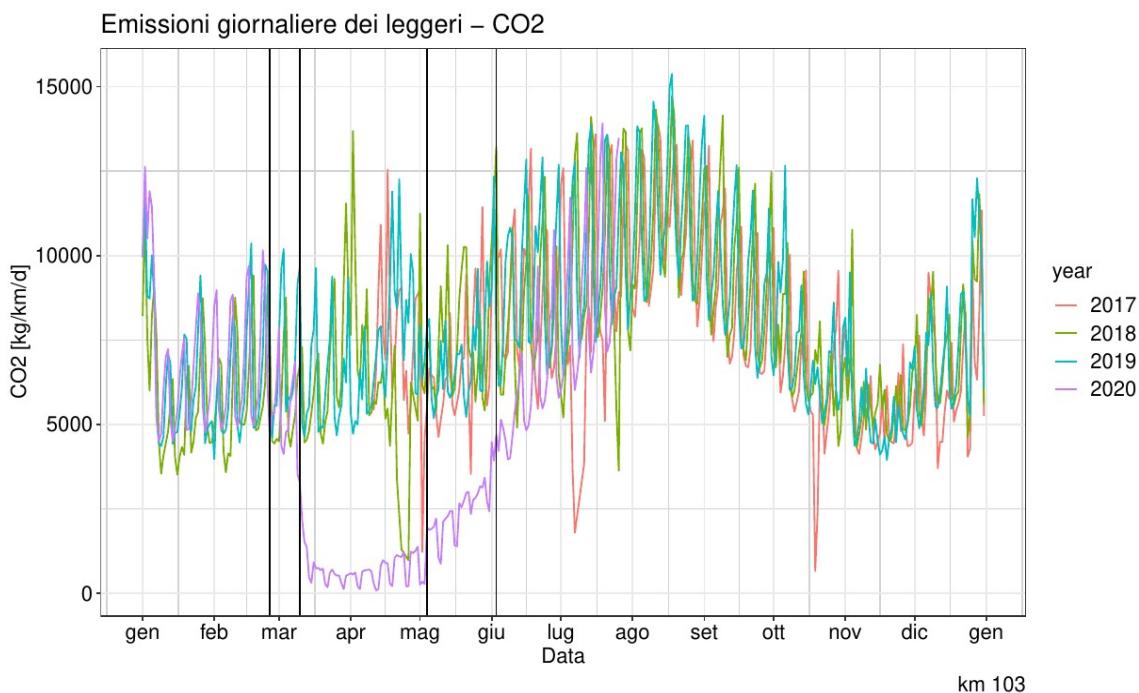
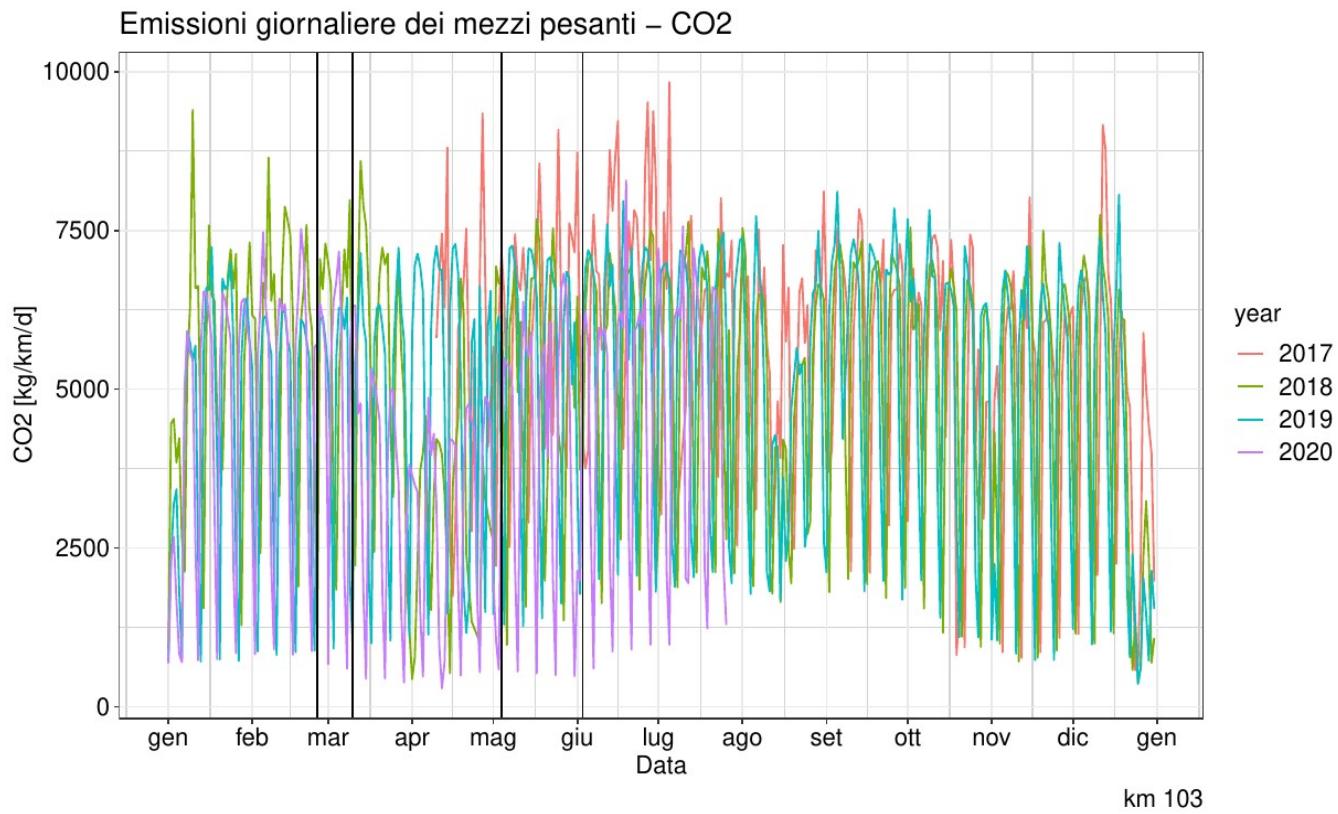


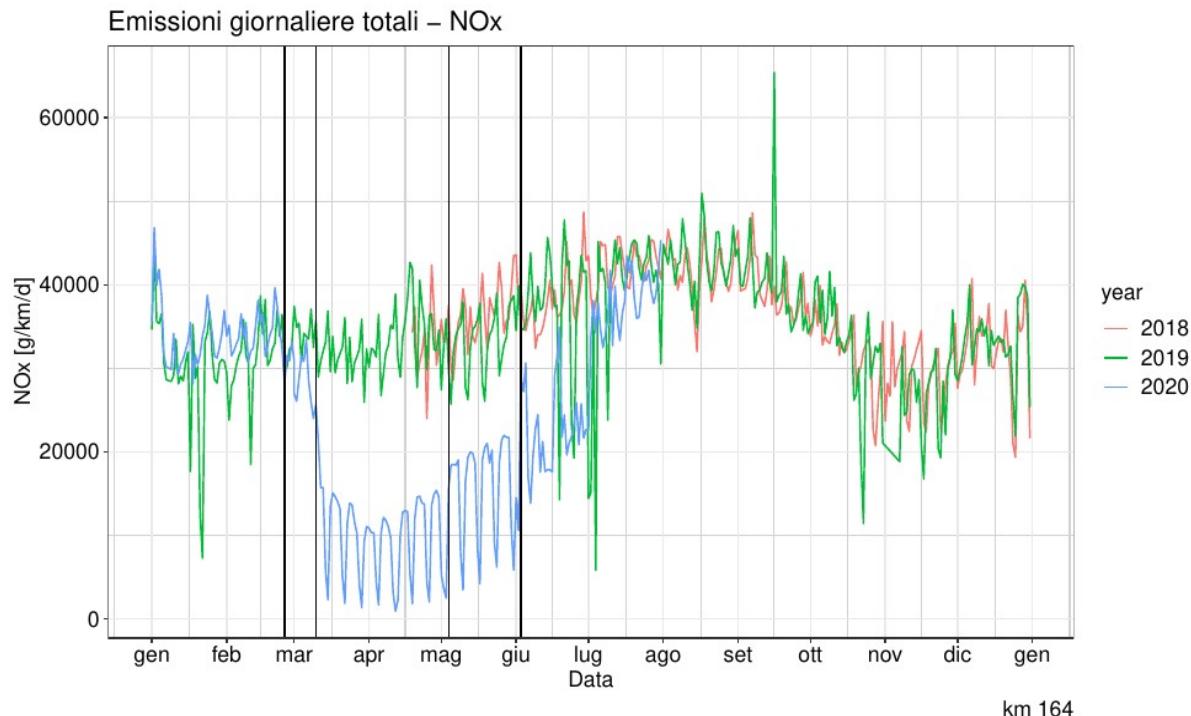
Figura 49: Come in 48, ma con emissioni per i soli veicoli leggeri.



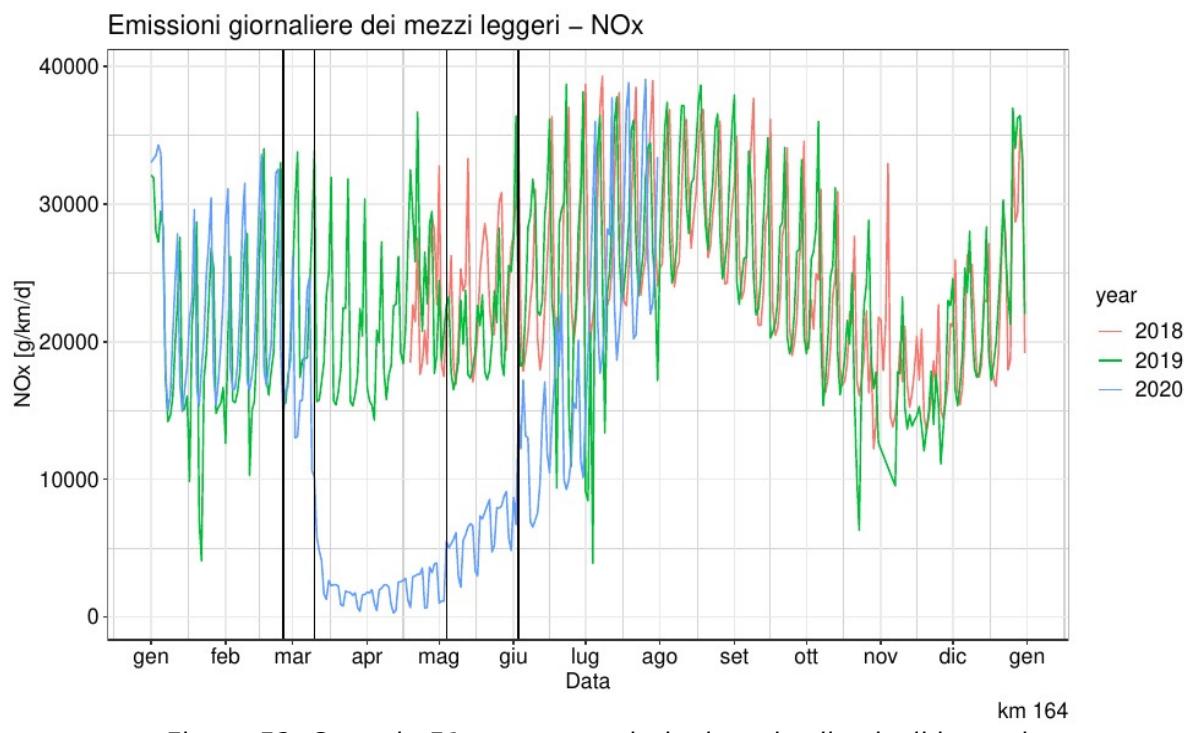
*Figura 50: Come in 48, ma con emissioni per i soli veicoli pesanti.*

I grafici sono del tutto coerenti con quanto già osservato per gli ossidi di azoto.

Nelle Figure successive sono invece presentati gli stessi confronti di emissioni giornaliere di NOx prodotte, ma calcolate in corrispondenza della spira al km 164. Le emissioni sono state calcolate a partire dal 18 aprile 2018, data in cui è stata sostituita la spira contatraffico che prima mostrava un comportamento anomalo e poco affidabile. Il comportamento rispecchia quanto già evidenziato per la spira al km 103.



*Figura 51: Emissioni giornaliere totali di ossidi di azoto stimate presso la spira al km 164: confronto tra gli anni 2018, 2019 e 2020.*



*Figura 52: Come in 51, ma con emissioni per i soli veicoli leggeri.*



Emissioni giornaliere dei mezzi pesanti – NOx

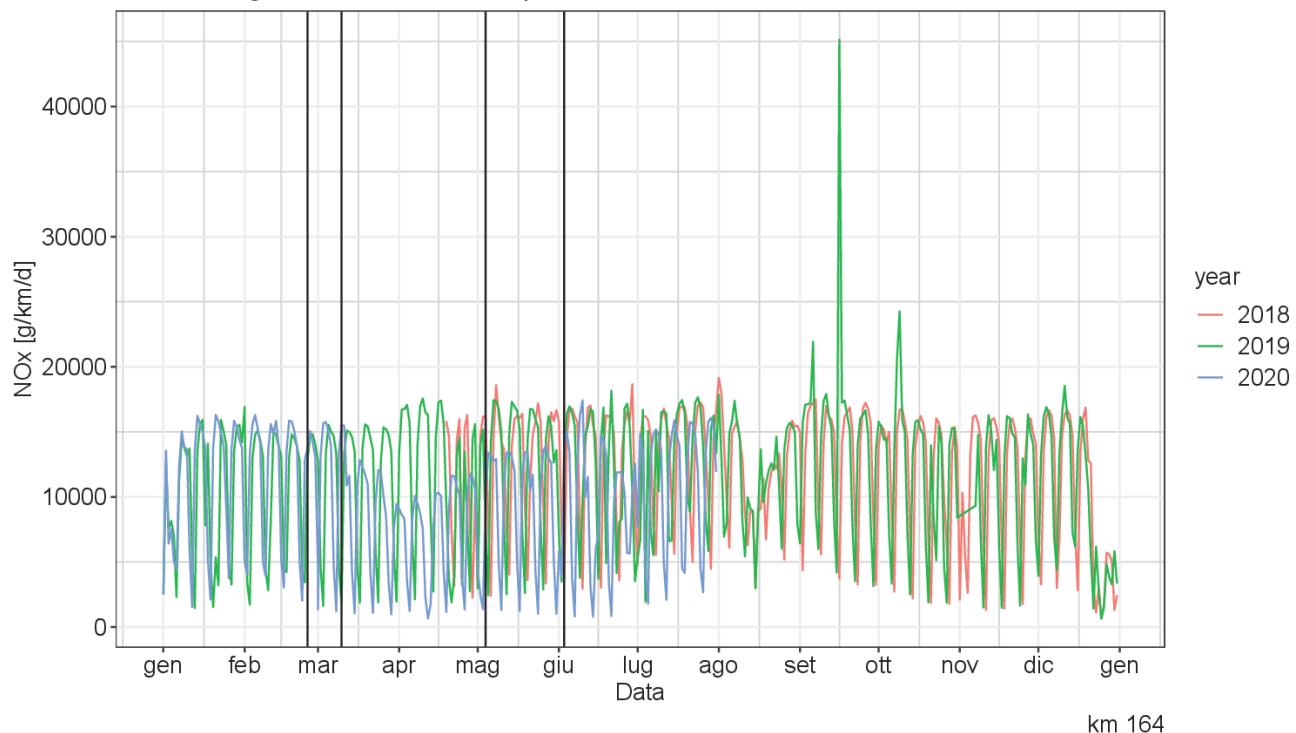


Figura 53: Come in 51, ma con emissioni per i soli veicoli pesanti.

I valori delle emissioni di NOx e CO<sub>2</sub> cumulate in ciascuno dei periodi individuati per la spira al km 103 sono riportati nelle tabelle seguenti. Si nota come i valori di emissione per l'anno 2020 siano nettamente inferiori, soprattutto nel periodo 09/03-02/06.

Periodo	Stazione ML103			
	Emissioni NO <sub>x</sub> media triennio 2017-2019	Emissioni NO <sub>x</sub> 2020	Variazione emissioni NO <sub>x</sub> 2020 vs. triennio 2017-2019	
	[g/km/d]	[g/km/d]	[g/km/d]	[%]
01/01-24/02	31'734	30'833	-851	-2.7
25/02-08/03	32'187	28'796	-3'481	-10.8
09/03-03/05	31'628	10'773	-20'855	-65.9
04/05-02/06	34'238	17'797	-16'441	-48.0
03/06-31/07	39'134	33'849	-5'285	-13.5

Tabella 11: Emissioni giornaliere totali di ossidi di azoto [g/km/d] stimate in corrispondenza della spira al km 103 e variazioni tra il triennio 2017-2019 e l'anno 2020.



Stazione ML103				
Periodo	Emissioni CO <sub>2</sub> media triennio 2017-2019	Emissioni CO <sub>2</sub> 2020	Variazione emissioni CO <sub>2</sub> 2020 vs. triennio 2017-2019	
	[kg/km/d]	[kg/km/d]	[kg/km/d]	[%]
01/01-24/02	11'107	11'370	263	2.4
25/02-08/03	11'451	10'374	-1'077	-9.4
09/03-03/05	11'311	4'074	-7'237	-64.0
04/05/02/06	12'717	6'678	-6'039	-47.5
03/06-31/07	14'913	12'256	-2'657	-17.8

Tabella 12: Emissioni giornaliere totali di anidride carbonica [kg/km/d] stimate in corrispondenza della spira al km 103 e variazioni tra il triennio 2017-2019 e l'anno 2020.

### 3.2.8 Concentrazioni di black carbon

Come il biossido di azoto, anche il black carbon è un inquinante indicatore del traffico. Come già mostrato nei deliverables precedenti, infatti, l'andamento della concentrazione dell' $\text{NO}_2$  corrella discretamente bene con l'andamento di black carbon totale (BC<sub>6</sub>) e ancora meglio con la parte parte del black carbon strettamente legata alla combustione dei motori endotermici alimentati con combustibili fossili (BC<sub>ff</sub>, fossil fuel).

Nelle Figure 54 e 55 è riportato l'andamento normalizzato dei due inquinanti negli anni 2020 e 2021.

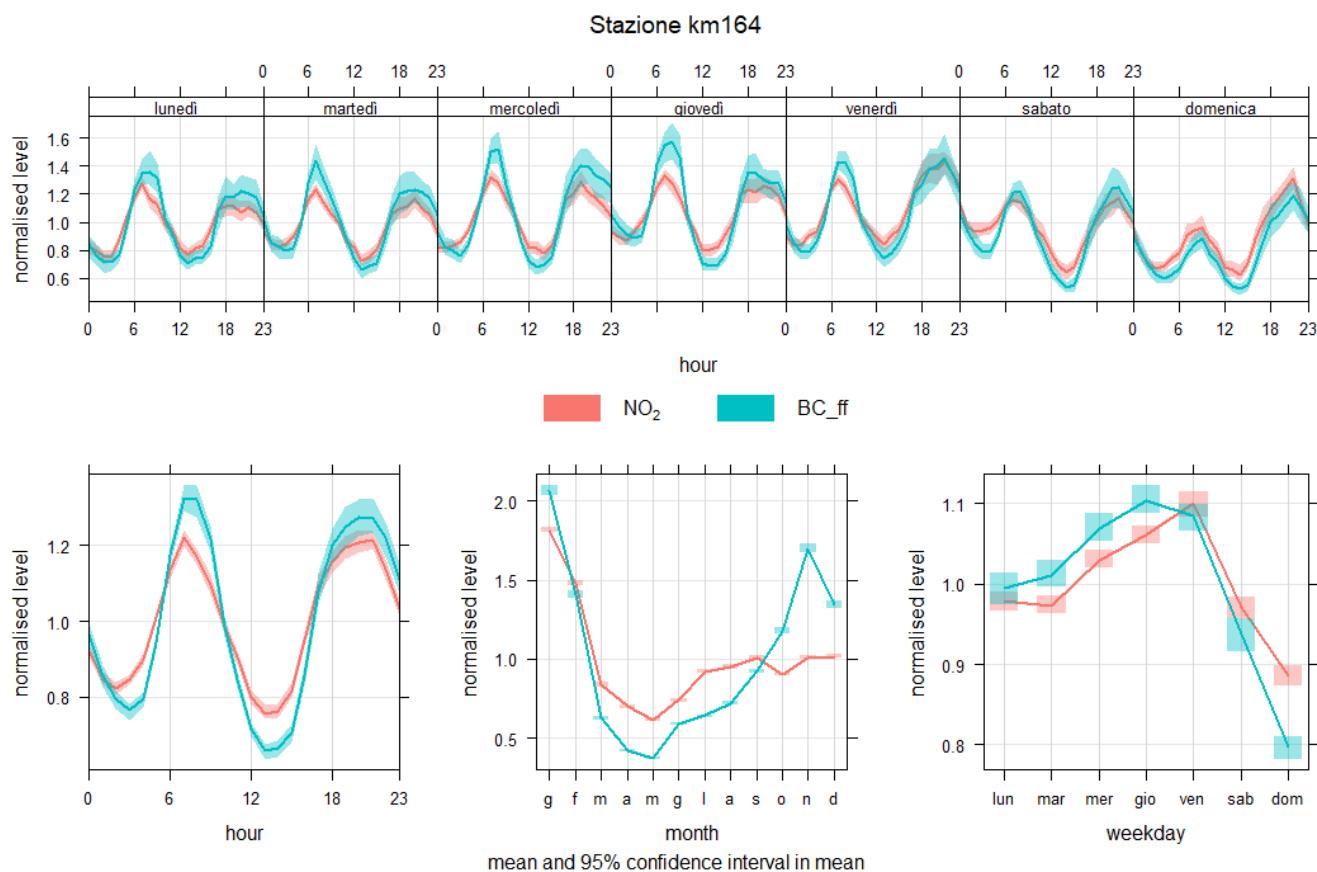
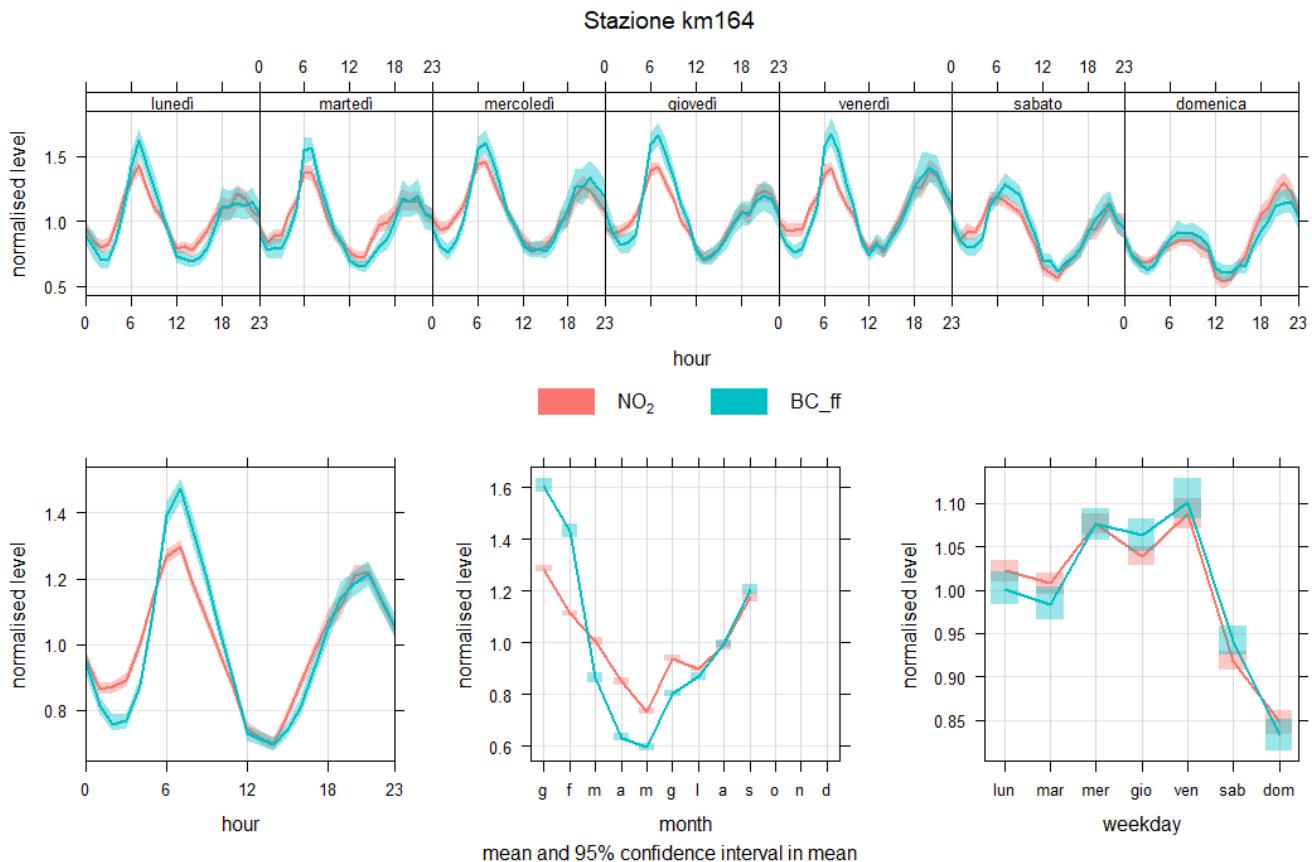


Figura 54: Correlazione tra andamento del biossido di azoto  $\text{NO}_2$  e del black carbon dovuto al traffico (BC<sub>ff</sub>) nel sito di monitoraggio al km 164 - anno 2020: valori normalizzati.



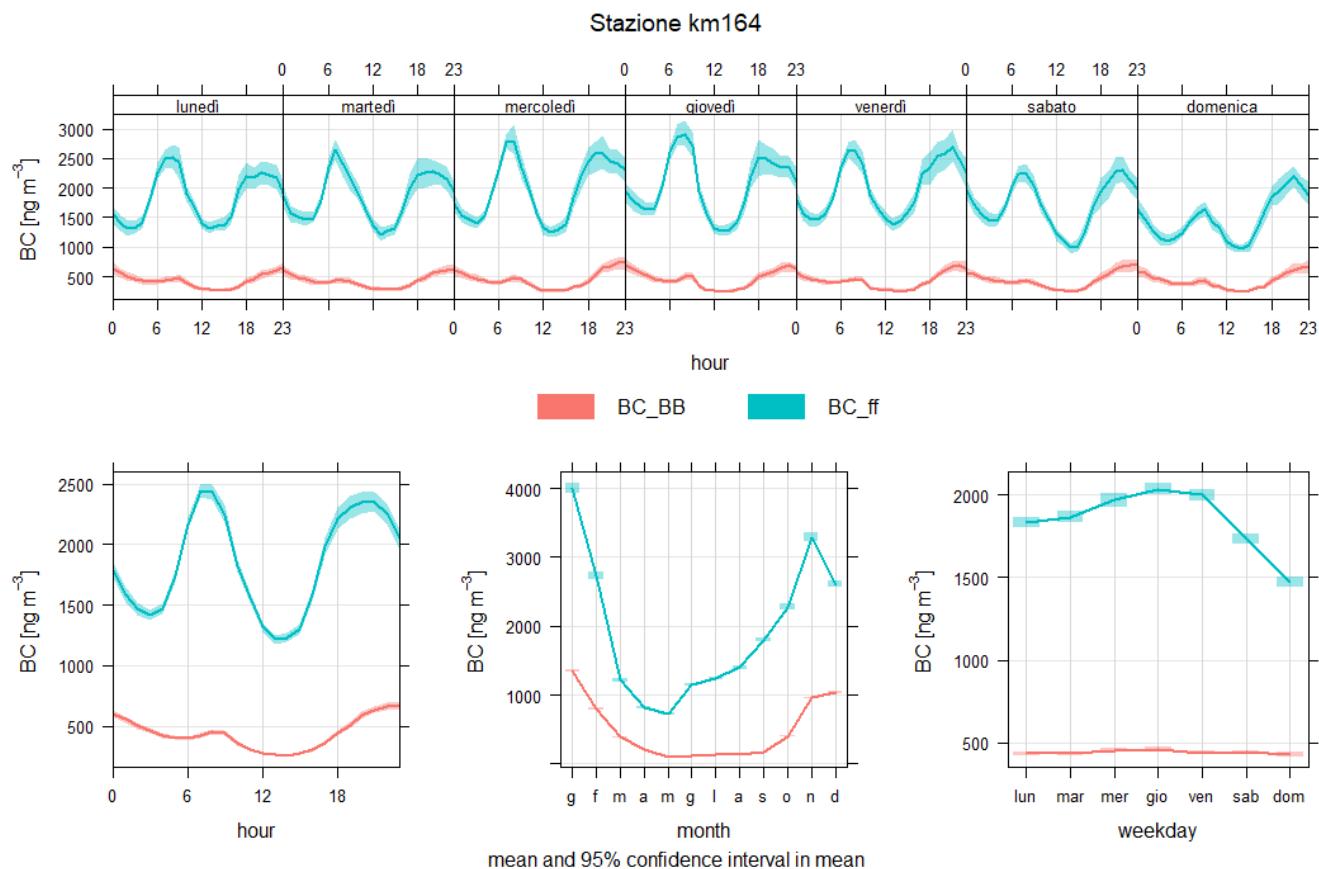
*Figura 55: Correlazione tra andamento del biossido di azoto NO<sub>2</sub> e del black carbon dovuto al traffico (BC\_ff) nel sito di monitoraggio al km 164 - anno 2021: valori normalizzati.*

Si riportano i dati relativi alla stazione posizionata al km 164 in quanto per la stazione al km 103 vi sono alcuni dati mancanti a causa di alcuni guasti e manutenzioni ma nel complesso i trend hanno andamenti del tutto analoghi.

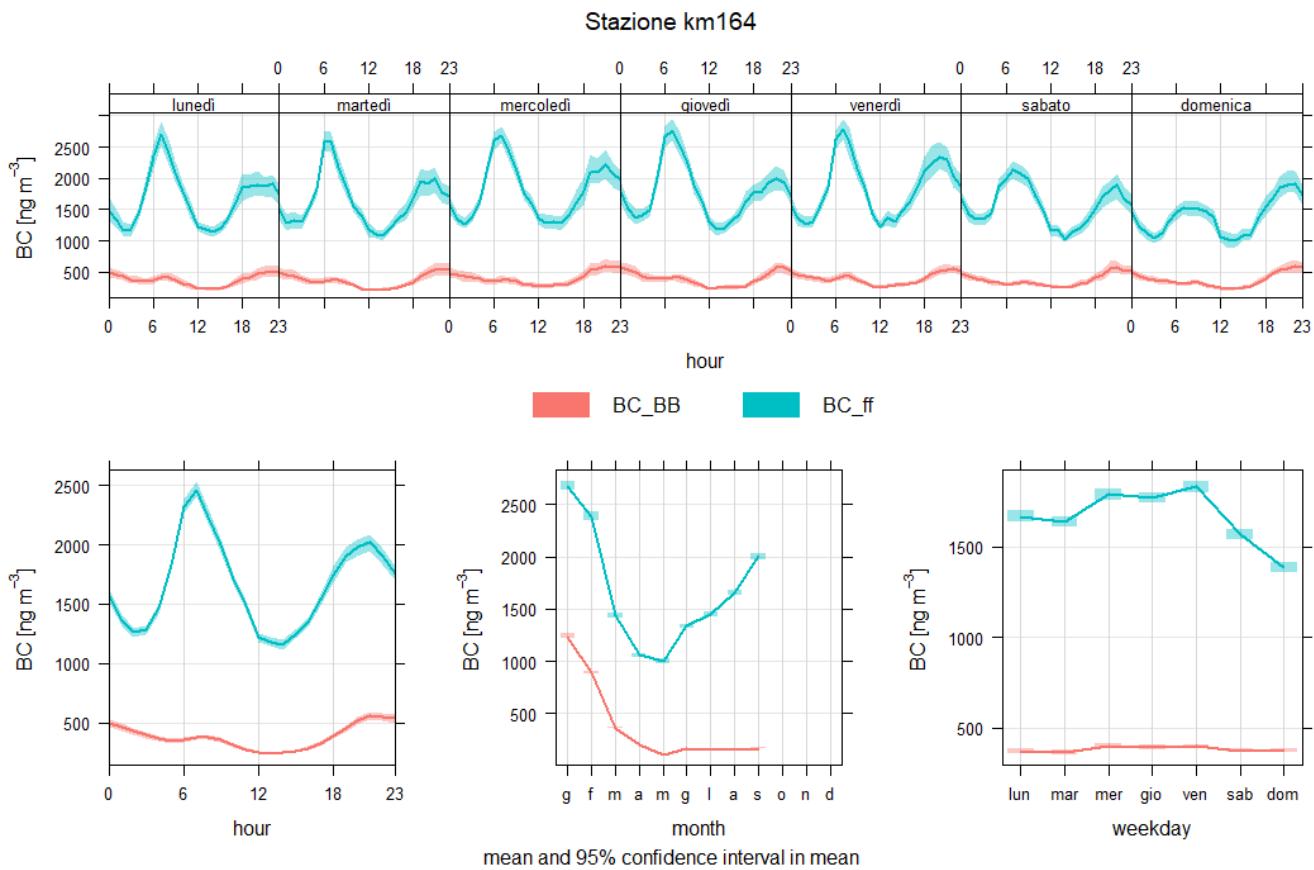
Come mostrato nelle Figure 56 e 57, lungo l'autostrada, la parte di black carbon legata al fossile fuel (BCff) è prevalente e la quota che deriva invece dalla combustione della biomassa (BCbb) compare soprattutto nel periodo invernale, mentre è molto bassa nei mesi estivi. Ciò appare chiaro osservando l'andamento sui mesi dell'anno riportato nel riquadro centrale delle figure seguenti.

In riferimento all'andamento orario (riquadro in basso a sinistra), si nota un picco di BCff mattutino più accentuato, con una distribuzione più concentrata tra le ore 7 e le ore 8 ed un picco serale più disperso. Questi valori rispecchiano il trend della sorgente che genera in modo prioritario l'inquinante (traffico). Per quanto riguarda il BCbb, strettamente legato

alla combustione domestica, si nota invece un picco serale molto più marcato del picco mattutino in corrispondenza del maggior utilizzo di riscaldamento domestico.



*Figura 56: Componenti di BC dovuto alla combustione della biomassa (BB) e al traffico (ff) per la stazione al km 164 - anno 2020: valori normalizzati.*



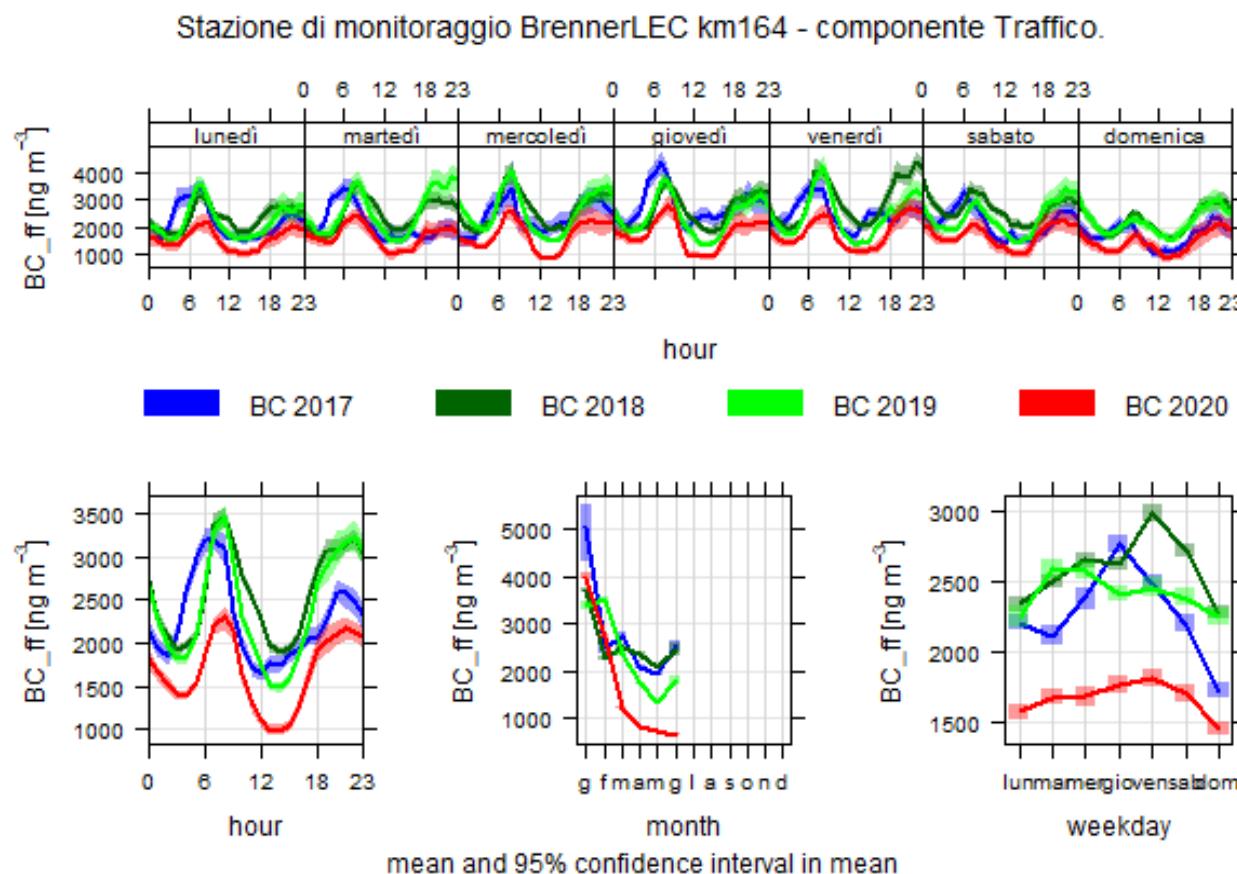
*Figura 57: Componenti di BC dovuto alla combustione della biomassa (BB) e al traffico (ff) per la stazione al km 164 - anno 2021: valori normalizzati.*

### 3.2.9 Effetti indotti dalla pandemia di COVID-19 sulle concentrazioni di black carbon

Si riportano di seguito le analisi dei dati relativi al 2020 per evidenziare, in analogia con l'inquinante NO<sub>2</sub>, gli effetti della pandemia da COVID-19 anche sul black carbon.

Al fine della presente analisi è stato utilizzato il solo etalometro posizionato presso la stazione di monitoraggio al km 164, in quanto quello collocato presso la stazione di qualità dell'aria in territorio altoatesino al km 103 è stato sottoposto in più occasioni durante il progetto a manutenzioni straordinarie, non permettendo di registrare un numero di dati sufficiente.

Analogamente a quanto riportato per l'inquinante NO<sub>2</sub>, anche per le concentrazioni di black carbon si osserva un importante calo in corrispondenza del periodo del lockdown dal 9 marzo al 3 maggio 2020.



*Figura 58: Concentrazioni di black carbon dovute al traffico veicolare nel periodo gennaio-giugno negli anni 2017-2020 presso la stazione km164.*



Come riportato in Figura 58, le concentrazioni di black carbon totale hanno subito mediamente un calo di poco superiore al 50% ma, nella tabella e nei grafici seguenti, è interessante osservare il comportamento delle due componenti.

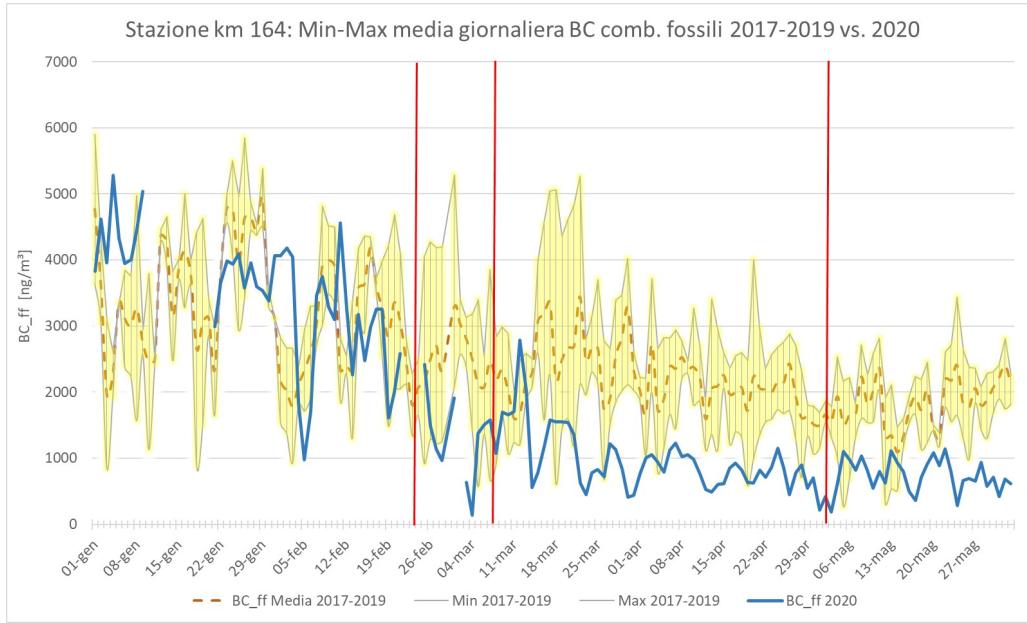
Stazione al km 164 - Variazione Black Carbon 2020 vs. triennio 2017-2019			
Periodo	Black Carbon totale	Black Carbon combustibili fossili (ff)	Black Carbon combustione biomassa (BB)
	[%]	[%]	[%]
01/01 - 24/02	8.7	6.6	11.8
09/03 - 03/05	-51.5	-57.5	4.7

Tabella 13: Confronto tra le concentrazioni di black carbon nel triennio 2017-2019 e nel 2020 nel periodo con traffico inalterato (01/01-24/02) e nel periodo di lockdown (09/03-03/05) per la stazione km164.

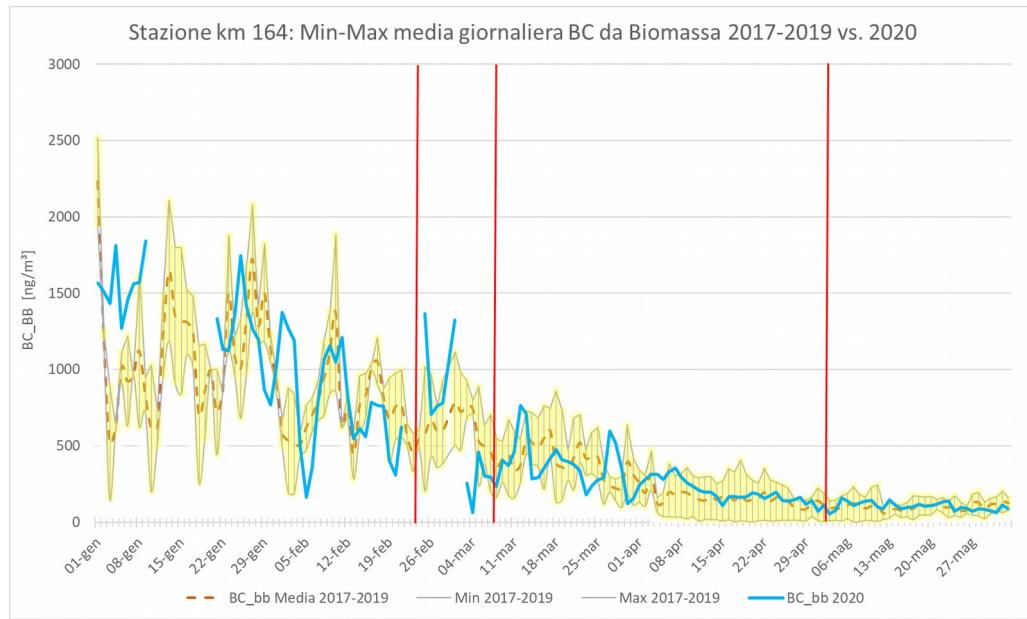
A causa del forte calo dei transiti veicolari e a riconferma della stretta correlazione di questo inquinante con il traffico veicolare, la componente di black carbon derivante da motori e combustibili fossili (BC\_ff, fossil fuel), ha registrato una riduzione media superiore al 57% rispetto alla media del triennio precedente.

Nonostante la specificità del sito di traffico si coglie, però, anche un altro interessante aspetto; la seconda componente, legata alla combustione della biomassa, ha subito un aumento del 5% rispetto al triennio precedente. Questo andamento si correla con un relativo incremento dell'utilizzo dei riscaldamenti domestici legato alla permanenza di cittadini e lavoratori (smart working) nelle proprie abitazioni.

Nei grafici riportati nelle Figure 59 e 60 si nota la forte riduzione, nel periodo di lockdown, delle concentrazioni della componente di black carbon legata al traffico (BC\_ff) e il sostanziale mantenimento, rispetto al triennio precedente, della componente legata ai riscaldamenti domestici (BC\_BB).

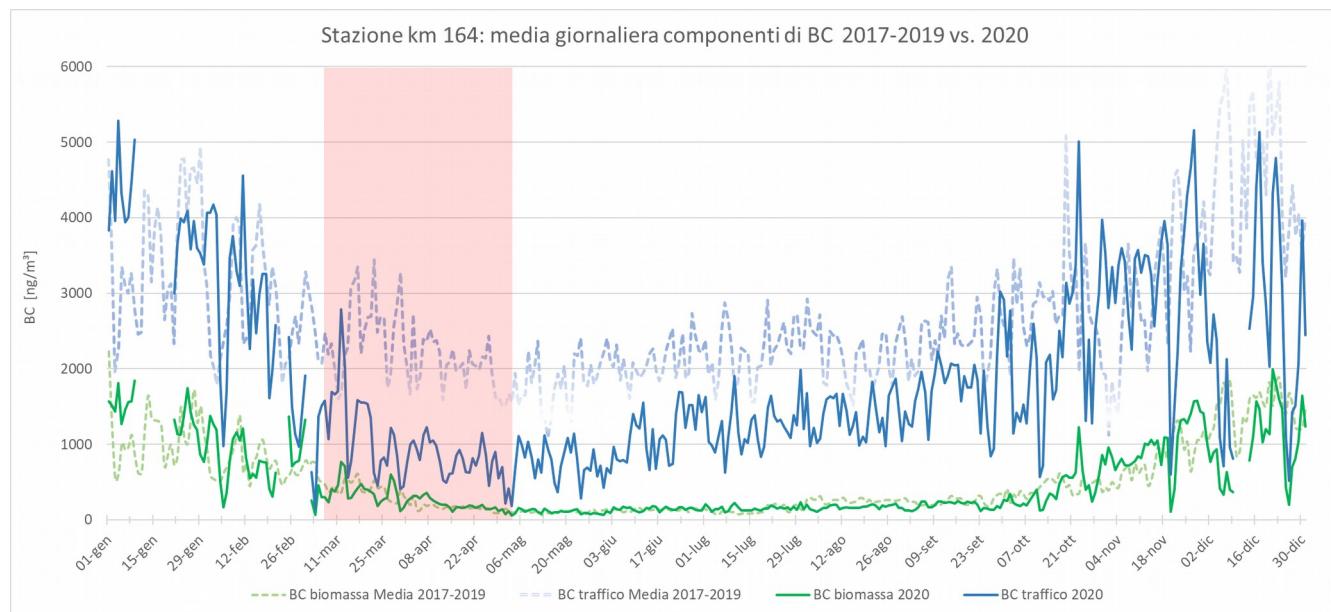


*Figura 59: Serie temporale su base giornaliera delle concentrazioni di black carbon dovute al traffico veicolare misurate presso la stazione km 164. La linea arancione tratteggiata rappresenta la concentrazione media nel periodo 2017-2019, gli estremi dell'area gialla rappresentano la concentrazione minima e massima nel periodo 2017-2019, mentre la linea verde continua rappresenta la concentrazione nell'anno 2020.*



*Figura 60: Come in la Figura 59, ma per la componente di black carbon dovuto alla biomassa.*

Allargando il focus sull'interno anno 2020, la Figura 61 conferma che, nei mesi successivi a febbraio, la concentrazione di BC\_ff si è mantenuta nettamente inferiore rispetto alla media del triennio precedente mentre la componente legata alla combustione della biomassa ha avuto un andamento del tutto in linea con quanto misurato negli anni precedenti ricalcando quanto osservato anche a livello nazionale.



*Figura 61: Serie temporale su base giornaliera delle concentrazioni delle due componenti di black carbon dovute al traffico veicolare e alla combustione della biomassa misurate presso la stazione km 164 nell'anno 2020.*

### 3.2.10 Particolato atmosferico e altri inquinanti

Come citato e riportato nei deliverable D.C1.2 e D.C1.3, vi è una parte del particolato sottile che è legato al traffico perché deriva proprio dalla combustione dei motori. Come sopra esposto, tale frazione è rappresentata dalla componente BC\_ff ma la si ritrova anche nelle polveri sottili misurate dallo strumento contaparticelle e in particolare in corrispondenza della frazione di particelle aventi granulometria inferiore a 0,1  $\mu\text{m}$  che viene misurata dallo stage 5 del contaparticelle.

La Figura 62 conferma infatti la buona correlazione tra gli inquinanti  $\text{NO}_2$ , BC\_ff e stage5 del contaparticelle, tutti derivanti dalle emissioni del traffico veicolare.

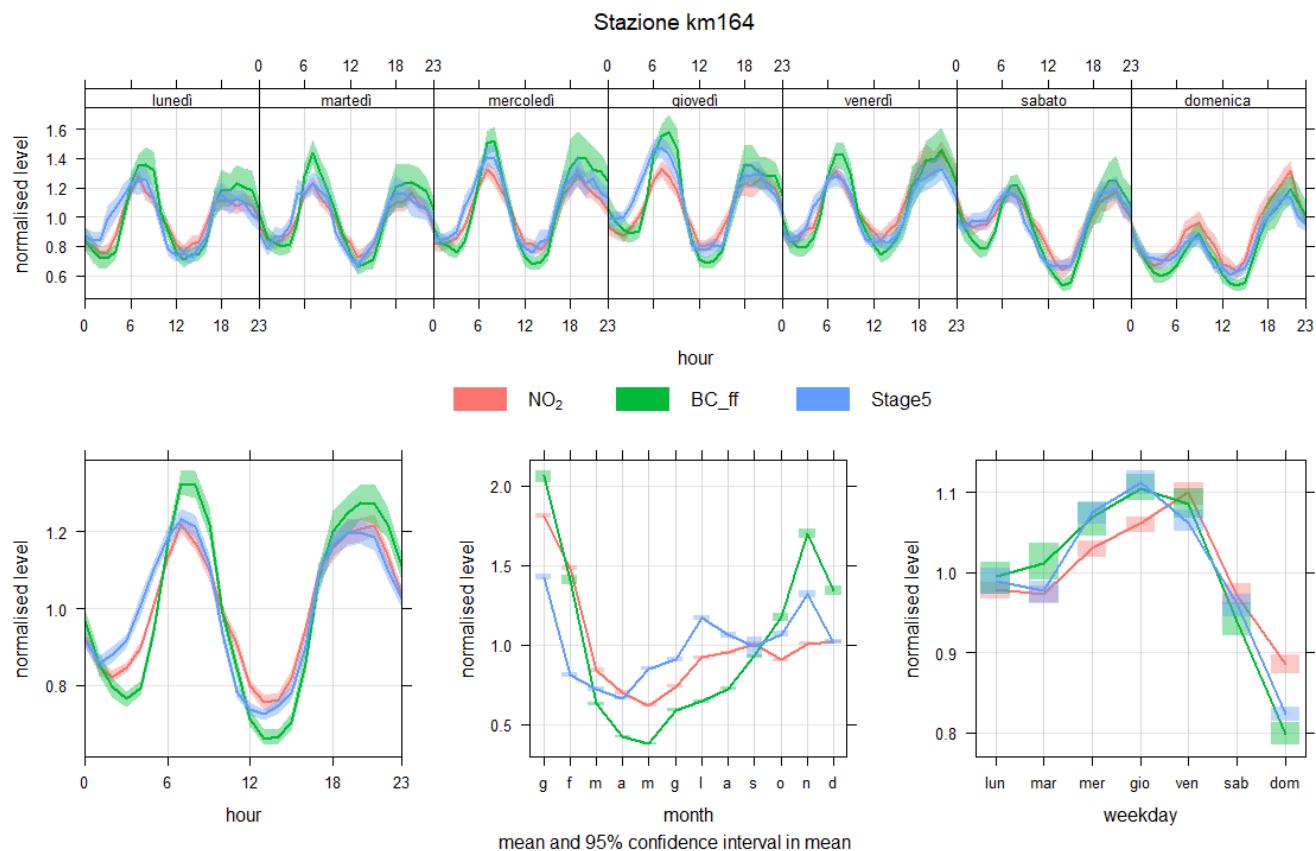


Figura 62: Correlazione tra andamento delle concentrazioni di  $\text{NO}_2$ , BCff e numero di particelle (stage 5) nel sito di monitoraggio al km 164 - anno 2020: valori normalizzati.

Nei primi mesi del 2021 è stata effettuata una campagna di misura delle concentrazioni di PM10 presso la stazione di monitoraggio posizionata al km 164. Come già evidenziato

nei precedenti deliverable il PM10 non ha una correlazione diretta molto elevata con il traffico in quanto sono numerose le fonti che contribuiscono alla concentrazione di polveri sottili nell'aria. Come riportato in Figura 63 l'andamento delle polveri sottili presso la stazione di misura posizionato a bordo strada al km164 non si discosta di molto rispetto alle concentrazioni misurate presso la stazione di fondo urbano di Rovereto.

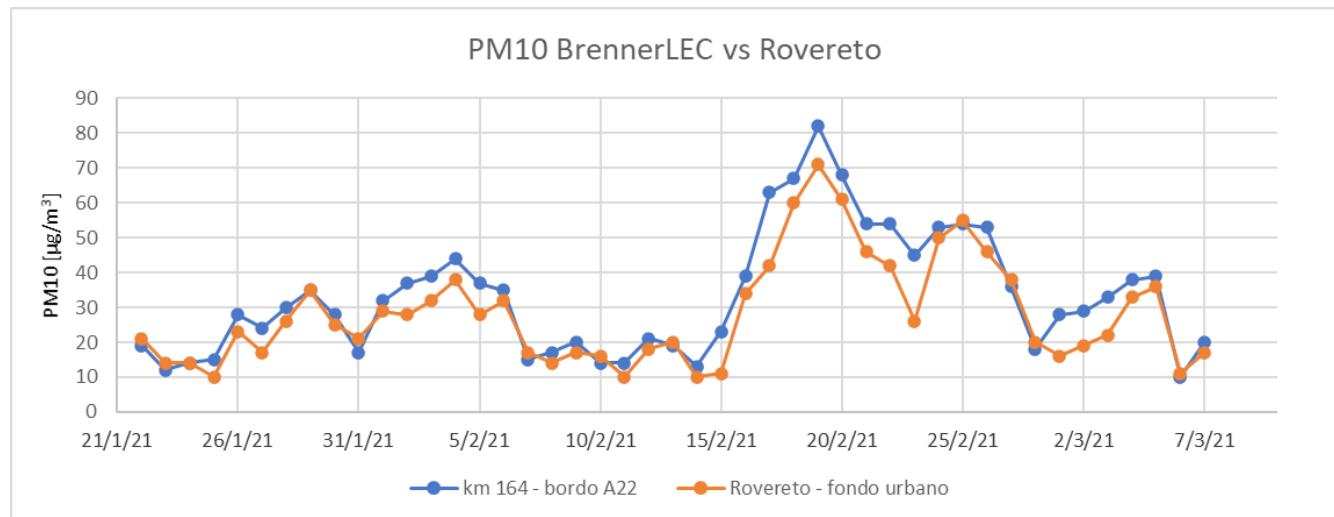


Figura 63: Andamento delle concentrazioni di PM10 presso la stazione di monitoraggio al km164 e la stazione di Rovereto posizionata in ambito di fondo urbano.

Tramite le analisi chimiche sui filtri di polveri sottili campionati, abbiamo determinato la concentrazione di levoglucosano, uno zucchero identificato come ottimo tracciante delle emissioni di biomassa in quanto prodotto dalla pirolisi della cellulosa.

Viste le numerose fonti che contribuiscono a comporre il PM10 (per esempio anche gli apporti di polveri desertiche trasportate), la correlazione del levoglucosano con il PM10 non è altissima ma lo è molto di più la correlazione del levoglucosano con il benzo(a)pirene, B(a)P, un idrocarburo policiclico aromatico che deriva dalla combustione della biomassa e che è stato determinato tramite le analisi sui filtri campionati.

Il levoglucosano corrella altrettanto bene con la componente BC\_BB del black carbon con un coefficiente di correlazione  $R^2$  che sfiora lo 0,9. Questo va a confermare l'attendibilità delle misure ottiche effettuate tramite lo strumento etalometro che, mediante l'analisi a diverse lunghezze d'onda discrimina in maniera del tutto attendibile la componente di black carbon derivante dalla combustione della biomassa e di conseguenza è da considerare affidabile anche il valore relativo alla componente BC\_ff legata alle emissioni dei motori.

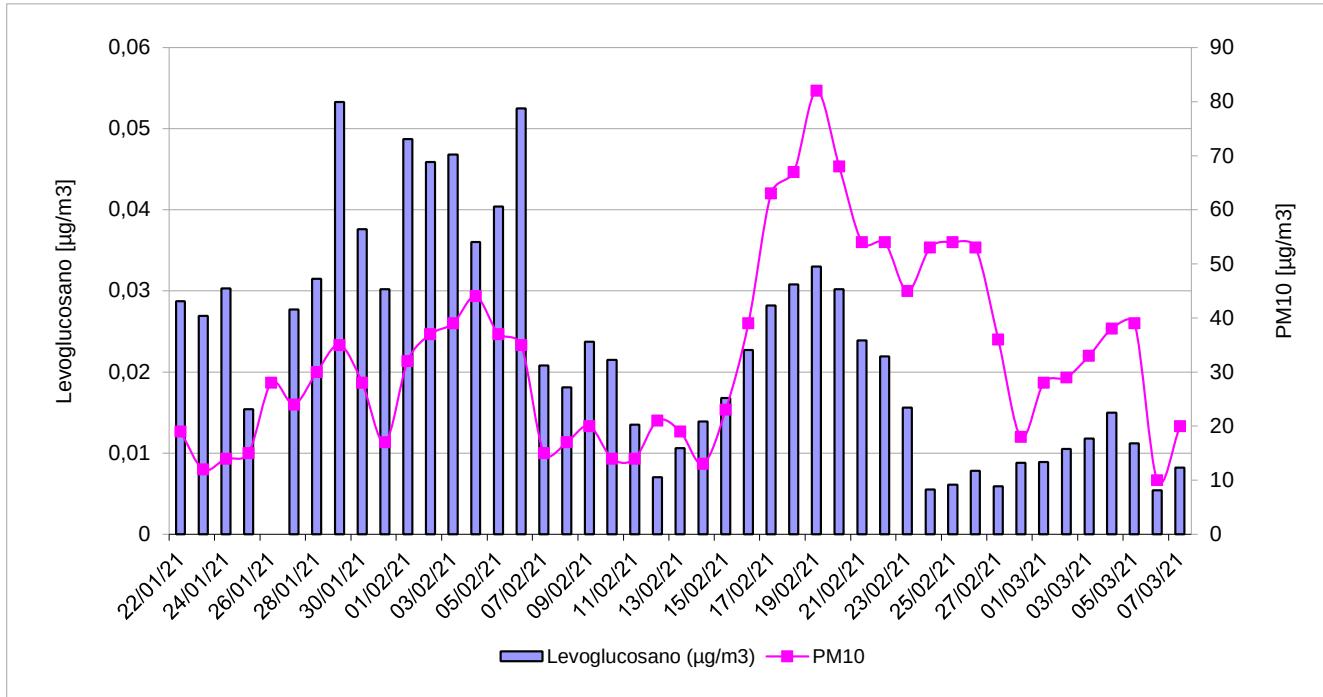


Figura 64: Correlazione tra le concentrazioni di levoglucosano e PM10.

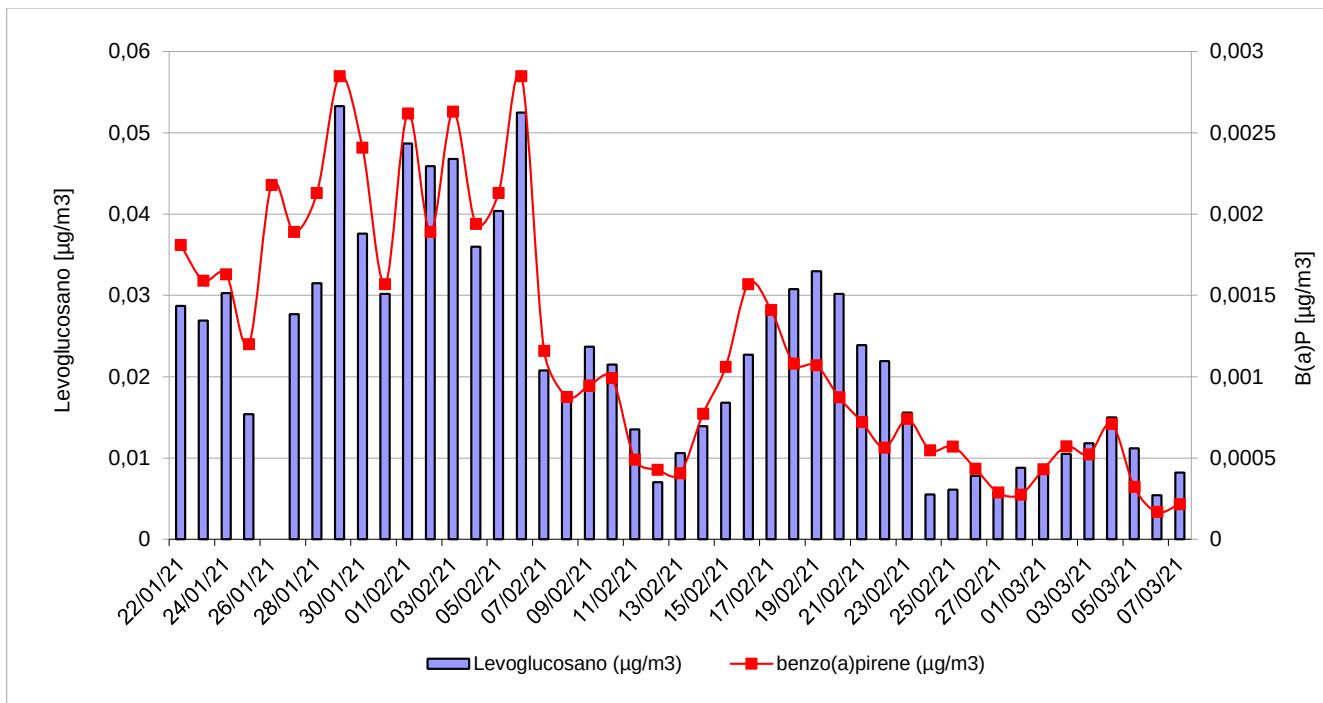


Figura 65: Correlazione tra le concentrazioni di levoglucosano e benzo(a)pirene B(a)P.

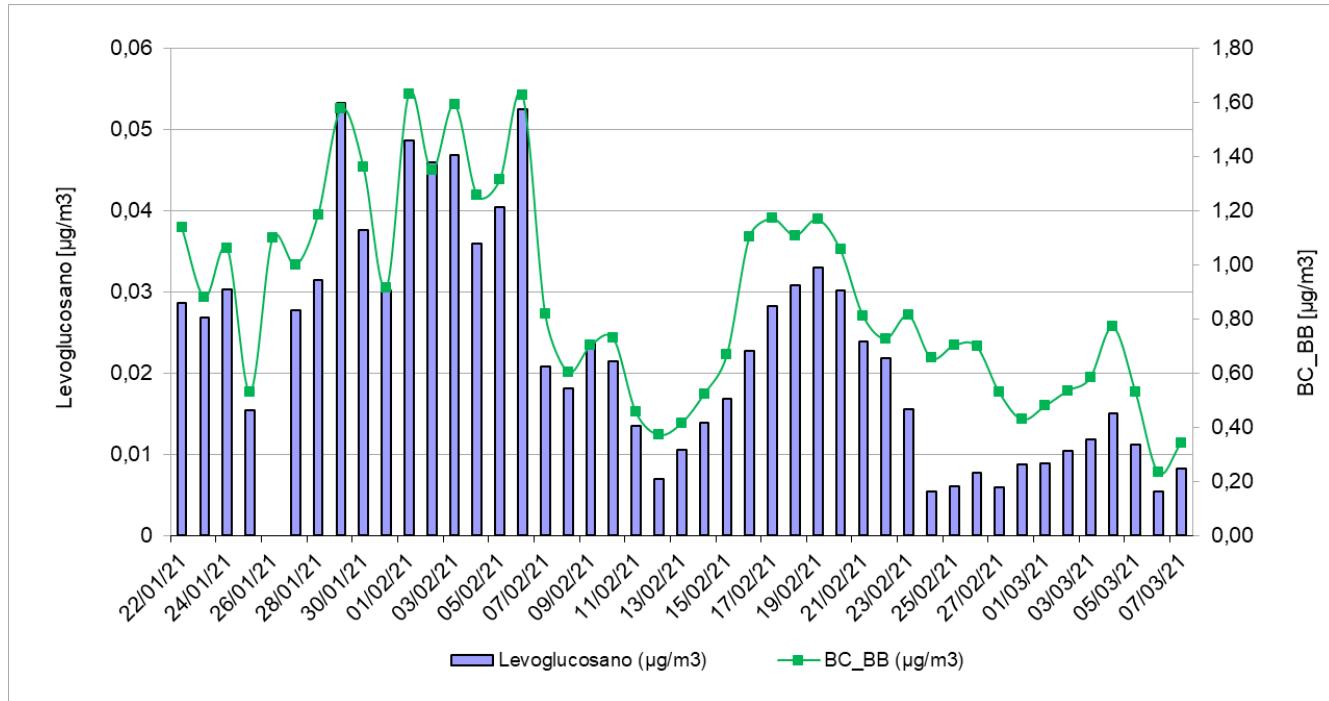


Figura 66: Correlazione tra le concentrazioni di levoglucosano e componente BC\_BB.

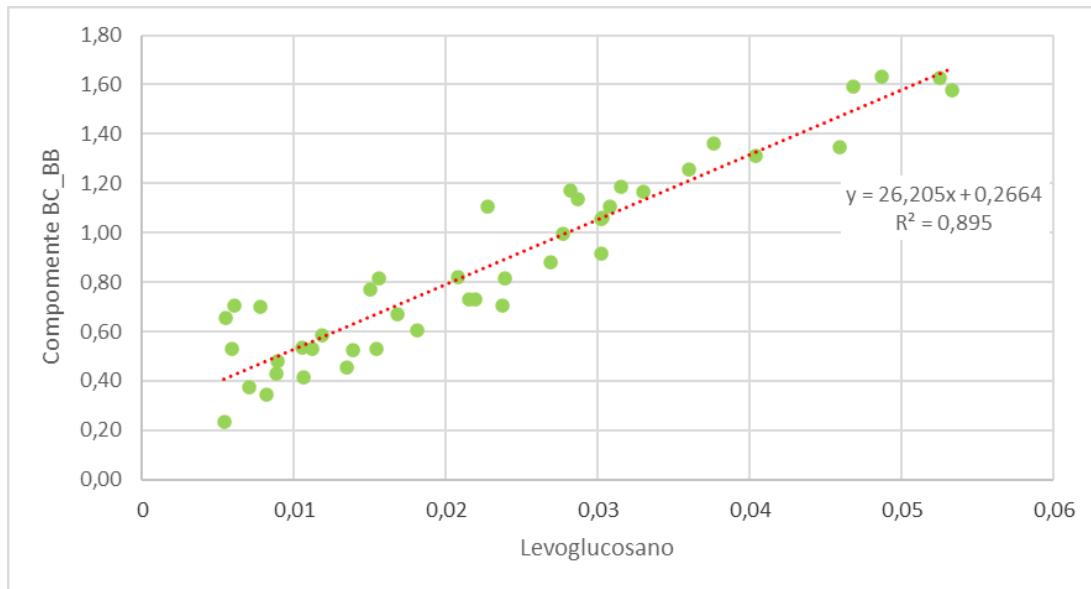


Figura 67: Correlazione tra le concentrazioni di levoglucosano e componente BC\_BB.



### 3.3 Qualità dell'aria - campionatori passivi

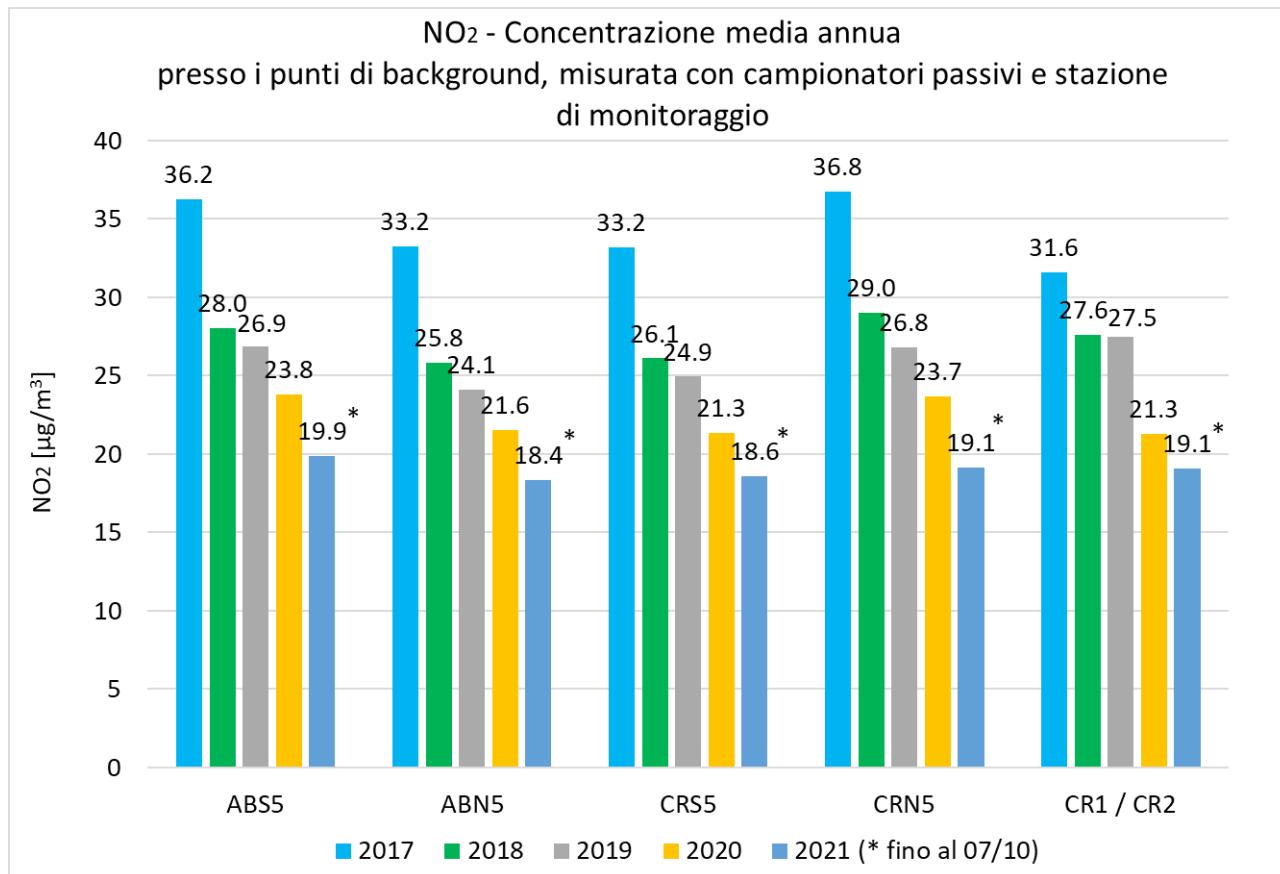
I campionatori passivi installati lungo il tratto autostradale altoatesino compreso tra Egna e Salorno consentono la misura della concentrazione media del biossido di azoto ( $\text{NO}_2$ ).

I quattro punti di misura destinati al rilevamento delle concentrazioni di fondo dell' $\text{NO}_2$  (background) sono attivi da gennaio 2017, pertanto è stato possibile misurare i valori medi annuali della concentrazione di  $\text{NO}_2$  per gli anni dal 2017 al 2021. Questi valori vengono confrontati con quelli misurati presso la stazione di misura fissa della qualità dell'aria di Cortina s.s.d.v. (CR1 fino al 2019, CR2 dal 2020) che rappresenta la stazione di fondo suburbano presente nella zona. Per il posizionamento dei punti di misura si rimanda ai deliverables relativi all'attività di monitoraggio redatti in precedenza.

Nel grafico di Figura 68 sono riportati i valori delle concentrazioni medie annuali di  $\text{NO}_2$  misurate presso i quattro campionatori passivi di background e presso la stazione di misura fissa. In Tabella 14 sono indicati gli intervalli temporali considerati per effettuare tali medie, in funzione delle date di sostituzione dei campionatori passivi.

Anno	Periodo di misura	Concentrazione media di $\text{NO}_2$ [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]				
		ABS5	ABN5	CRS5	CRN5	CR1/CR2
2017	12/01/2017 - 11/01/2018	36,2	33,2	33,2	36,8	31,6
2018	11/01/2018 - 02/01/2019	28,0	25,8	26,1	29,0	27,6
2019	02/01/2019 - 09/01/2020	26,9	24,1	24,9	26,8	27,5
2020	09/01/2020 - 12/01/2021	23,8	21,6	21,3	23,7	21,3
2021 (parziale*)	12/01/2021 - 07/10/2021	19,9*	18,4*	18,6*	19,1*	19,1*

Tabella 14: Concentrazione media di  $\text{NO}_2$  misurata nei diversi siti e relativi intervalli temporali considerati.



*Figura 68: Concentrazione media annua di NO<sub>2</sub> misurata con i campionatori passivi nei punti di background e con la stazione di monitoraggio della qualità dell'aria (CR1 fino al 2019, CR2 da 2020).*

Dal grafico si evincono tre informazioni significative:

- I valori registrati risultano tra loro confrontabili, nonostante i 4 campionatori passivi siano collocati a coppie poste a circa 10km di distanza tra loro lungo la Valle dell'Adige e questo conferma che i misuratori sono stati posizionati in siti effettivamente rappresentativi delle concentrazioni di fondo dell'NO<sub>2</sub> in Bassa Atesina.
- Come confermato anche dalle stazioni di monitoraggio, si evidenzia un chiaro trend decrescente delle concentrazioni di NO<sub>2</sub> a partire dall'anno 2017. Inoltre, si riscontrano due cali delle concentrazioni particolarmente marcati, il primo dal 2017 al 2018 ed il secondo dal 2019 al 2020; in quest'ultimo caso, tale decremento è da attribuirsi alla limitazione delle attività e degli spostamenti imposti in seguito alla pandemia da COVID-19, come illustrato in maniera esauriente nei capitoli precedenti.



- I valori di fondo di NO<sub>2</sub> registrati nell'intero periodo di misura non presentano superamenti del valore limite annuale di 40 µg/m<sup>3</sup>.

La qualità del dato misurato con i campionatori passivi è stata controllata tramite il confronto con i valori misurati presso le stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria posizionate a bordo autostrada, dove è installata la strumentazione conforme alle normative vigenti (Figure 69 e 70). Per fare questo è stato posizionato un campionatore passivo sulla stazione ML103 ed uno sulla ML107. Tale confronto è stato svolto considerando gli intervalli temporali riportati nella Tabella 15, in funzione delle date di sostituzione dei campionatori passivi.

Anno	Periodo di misura	Stazione di misura ML 107
<b>2017</b>	-	15/03/2017 - 03/01/2018
<b>2018</b>	02/02/2018 - 09/01/2019	03/01/2018 - 09/01/2019
<b>2019</b>	09/01/2019 - 20/12/2019	09/01/2019 - 20/12/2019
<b>2020</b>	20/12/2019 - 29/12/2020	20/12/2019 - 29/12/2020
<b>2021 (parziale*)</b>	29/12/2020 - 22/11/2021	29/12/2020 - 22/11/2021

Tabella 15: Concentrazione media di NO<sub>2</sub> misurata nei diversi siti e relativi intervalli temporali considerati.

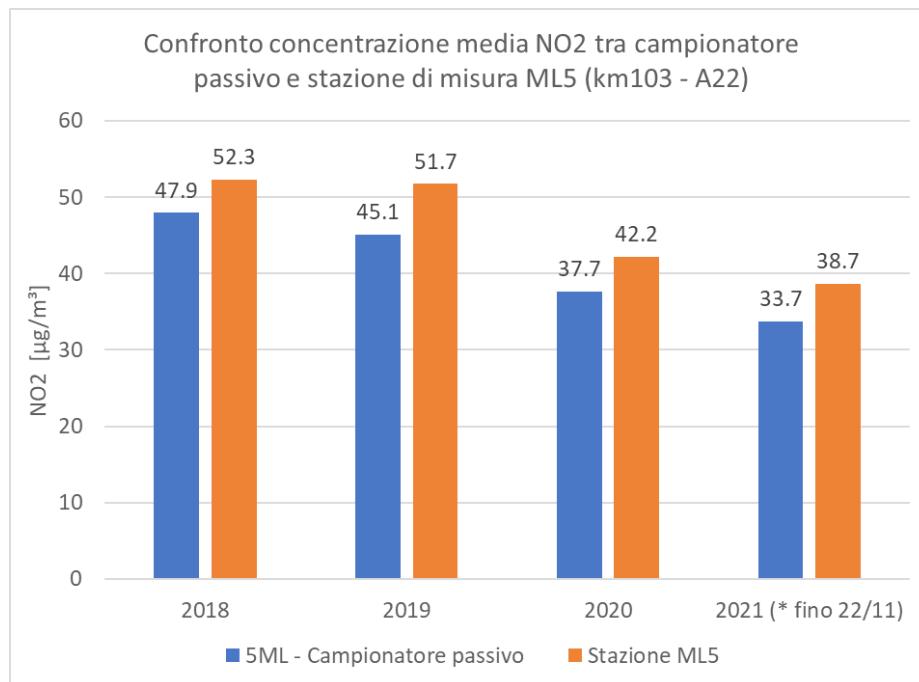
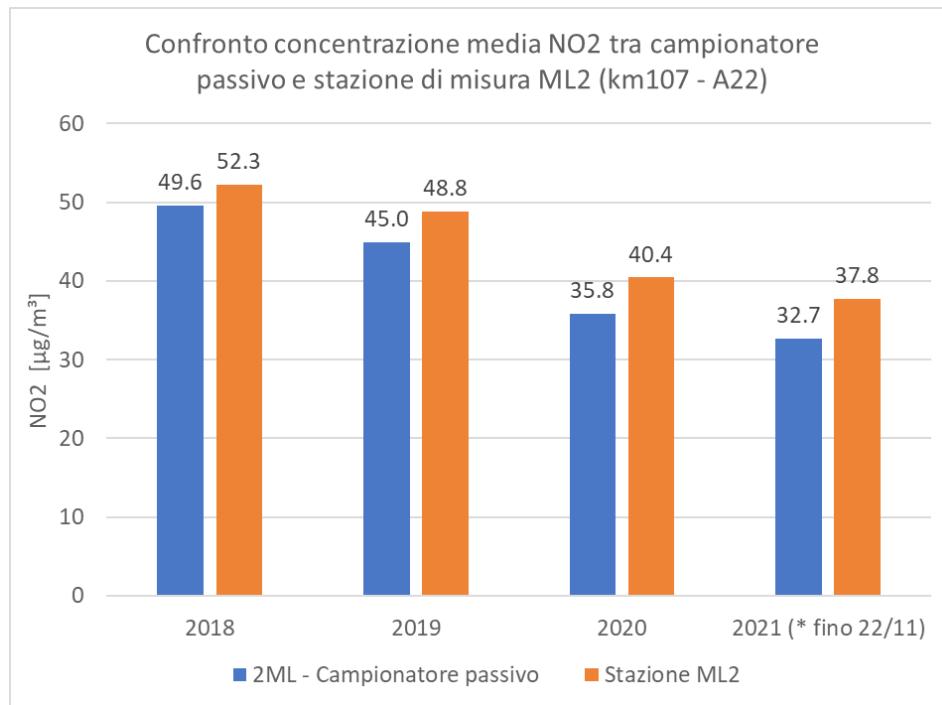


Figura 69: Confronto dato medio concentrazione NO<sub>2</sub> tra campionatore passivo e stazione di misura - ML103.



*Figura 70: Confronto dato medio concentrazione NO<sub>2</sub> tra campionatore passivo e stazione di misura - ML107.*

Dal confronto delle misure effettuate in parallelo mediante campionatori passivi e strumentazione conforme alla normativa, emerge una differenza media sulle concentrazioni annuali di NO<sub>2</sub> inferiore al 13%.



### 3.4 Qualità dell'aria - sensori innovativi

In questa sezione vengono riportati i valori di NO<sub>2</sub> relativi all'anno solare 2020 misurati dai sensori innovativi di qualità dell'aria AirQuino, installati lungo la tratta BLEC-ENV. I dati vengono validati tramite confronto con le misure delle stazioni di monitoraggio gestite da APPATN e APPABZ.

I sensori innovativi considerati sono 12 (denominati con numeri progressivi), mentre le tre stazioni convenzionali di qualità dell'aria considerate sono la ML103 (al km 103), la ML107 (al km 107) e la BrennerLEC (al km 164).

Strumento/ Stazione	km	Corsia	Località	Quota (m)
Airquino 1	103+700	Sud	Egna	4,00
Airquino 2	103+700	Nord	Egna	4,00
Airquino 3	164+400	Sud	Rovereto	4,00
Airquino 4	123+900	Sud	San Michele	4,00
Airquino 5	107+800	Nord	Egna	4,00
Airquino 6	105+150	Sud	Egna	4,00
Airquino 7	105+150	Nord	Egna	10,00
Airquino 8	132+800	Sud	Trento Nord	4,00
Airquino 9	105+150	Sud	Egna	10,00
Airquino 10	105+150	Nord	Egna	4,00
Airquino 11	167+900	Sud	Rovereto Sud	4,00
Airquino 12	113+350	Nord	Salorno	4,00
ML 103	103+700	Sud	Egna	3,10
ML 107	107+800	Sud	Egna	3,40
BrennerLEC	164+400	Sud	Rovereto	3,95

Tabella 16: Denominazione e posizionamento dei sensori innovativi e delle stazioni convenzionali di qualità dell'aria.

Viene presentato un confronto tra le misure di NO<sub>2</sub> relative al periodo di lockdown per la pandemia di COVID-19 e le misure relative allo stesso periodo dell'anno precedente; ciò permette di valutare se anche i sensori low-cost siano stati in grado di catturare l'effetto della diminuzione di traffico sulla qualità dell'aria lungo l'autostrada del Brennero. Infine, vengono illustrate alcune ricalibrazioni rese necessarie durante il 2021 per mantenere accettabile il grado di affidabilità delle misure degli AirQuino.



La validazione presentata di seguito è basata su sensori innovativi installati in posizioni ove siano disponibili anche dati misurati dalle stazioni di monitoraggio. In particolare, risultano omologhe le posizioni di AirQuino 1 e ML103 (APPABZ), entrambi installati al km 103 in carreggiata Sud, e di AirQuino 3 e BrennerLEC (APPATN), entrambi installati al km 164 in carreggiata Sud.

La 71 mostra il confronto tra gli andamenti dei cicli diurni, settimanali e mensili registrati da AirQuino 1 e ML103, rivelando la capacità del sensore innovativo di catturare le tendenze dei picchi di concentrazione. Ad esempio, gli orari dei due picchi giornalieri di biossido di azoto correlati ai flussi di traffico vengono individuati con buona accuratezza dal sensore innovativo. Tuttavia, i cicli diurni e settimanali mediati sull'anno 2020 indicano una sovrastima di circa  $5\text{-}10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  delle concentrazioni misurate da AirQuino 1 rispetto alla stazione di riferimento. Un ulteriore riscontro di tale discrepanza si nota anche nelle concentrazioni medie annuali del 2020 che risultato essere pari a  $41 \mu\text{g}/\text{m}^3$  per ML103 e  $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$  per AirQuino 1. Le medie mensili segnalano come questa sovrastima sia dovuta al periodo maggio-dicembre, mentre per i primi quattro mesi dell'anno i valori di concentrazione risultano confrontabili. Questa osservazione ha evidenziato l'esigenza di una ricalibrazione di AirQuino 1 e degli altri sensori durante l'anno 2021. La letteratura scientifica e le schede tecniche dei vari sensori low-cost (sia gassosi che di polveri) sottolineano la necessità di frequenti ricalibrazioni.

La 72 mostra lo stesso tipo di confronto, ma tra AirQuino 3 e la corrispondente stazione di riferimento al km 164. In questo caso il confronto è particolarmente soddisfacente per tutti i cicli temporali e il sensore innovativo non mostra derive nelle tendenze misurate. Nei cicli diurni e settimanali si registra una lievissima sottostima da parte di AirQuino 3, quantificabile mediamente in  $2\text{-}3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ma l'analisi delle medie mensili indica come essa sia dovuta principalmente ai soli mesi di agosto e settembre. Le concentrazioni medie annuali registrate sono pari a  $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$  per la stazione di riferimento e  $42 \mu\text{g}/\text{m}^3$  per il sensore innovativo, entrambe superiori al limite di legge vigente nonostante i periodi di lockdown dovuti alla pandemia da COVID-19.

Validazioni addizionali delle misure di AirQuino 1 e AirQuino 3 rispetto alle stazioni di riferimento sono riportate rispettivamente in Figura 73 e Figura 74, tramite QQ-plot condizionali divisi per stagione; rispetto alla classica rappresentazione grafica dei quantili, essi sono in grado di catturare anche eventuali "time lag" tra le misure da validare e quelle di riferimento; in particolare, la linea rossa rappresenta la mediana delle misure, l'area gialla è compresa tra il 25esimo e il 75esimo percentile, l'area arancione tra il decimo e il 90esimo percentile, mentre la linea blu indica accordo perfetto. Inoltre, i grafici mostrano anche le distribuzioni delle misure dei sensori innovativi (istogramma



grigio) e delle stazioni riferimento (istogramma blu). Entrambe le figure mostrano come l'accordo maggiore sia abbia per la stagione invernale, mentre le maggiori criticità si registrano in autunno, soprattutto per AirQuino 1. Quest'ultimo risultato è probabilmente dovuto alla metodologia di calibrazione introdotta nel precedente deliverable, ossia all'introduzione di due diverse categorie di coefficienti di calibrazione, a seconda della temperatura interna registrata dai sensori innovativi (la soglia è posta 20° C). Infatti, durante la stagione autunnale la temperatura interna dei sensori low-cost oscilla spesso intorno alla temperatura soglia di 20° C, rendendo la calibrazione dei sensori innovativi meno efficace. In particolare, osservando le distribuzioni e il QQ-plot si nota che, nella stagione autunnale 2020, AirQuino 1 abbia sovrastimato i dati di NO<sub>2</sub> maggiori di 30 µg/m<sup>3</sup>, rappresentanti la maggioranza delle misure registrate. Nonostante questo, le Figure 73 e 74 confermano generalmente un grado di affidabilità accettabile dei sensori innovativi.

Viene ora presentata una breve analisi delle concentrazioni di NO<sub>2</sub> registrate dai sensori low-cost durante la prima fase del lockdown dovuto alla pandemia da COVID-19. Durante questo periodo il carico di veicoli lungo l'A22 è diminuito del 70% circa, causando una significativa decrescita delle emissioni di ossidi di azoto. Le Figure 75 e 76 mostrano il confronto tra i valori ottenuti nel bimestre marzo-aprile 2020 e quelli dello stesso bimestre 2019 (a titolo esemplificativo per due sensori innovativi, AirQuino 6 e AirQuino 1, rispettivamente). La diminuzione della concentrazione di NO<sub>2</sub> è evidente. La media mensile di Marzo è diminuita del 60% per AirQuino 1 e del 24% per AirQuino 6, mentre la decrescita della media di Aprile è del 30% per AirQuino 1 e del 47% per AirQuino 6. Complessivamente, il calo delle medie orarie e giornaliere della concentrazione è valutato intorno ai 20 µg/m<sup>3</sup>. Si sottolinea che quest'analisi è di natura qualitativa. La dispersione, specialmente in una valle come quella dell'Adige, è governata dai processi atmosferici locali associati agli effetti orografici, oltre che dai ratei emissivi. Attribuire una variazione dei livelli di concentrazione ai processi atmosferici o alla modifica dello scenario emissivo è un problema piuttosto complicato; infatti, la reale variazione di concentrazione connessa al traffico potrebbe essere mascherata dai processi meteorologici, come mostrato negli specifici report di progetto.

Come anticipato, l'analisi dei dati del 2020 ha evidenziato la necessità di ricalibrare i 12 sensori innovativi, e per alcuni di essi, anche di manutenzione hardware. Ciò era ampiamente atteso: le schede tecniche dei singoli sensori e la letteratura scientifica prescrivono calibrazioni frequenti (solitamente annuali) per sensori elettrochimici come quelli utilizzati per le misure di ossidi di azoto. Durante il 2021 è stata quindi svolta una serie di calibrazioni di almeno tre settimane su tutti i sensori, effettuate al km 103.3



dell'autostrada grazie al confronto con la stazione di monitoraggio ML103. In particolare, i periodi di calibrazione sono i seguenti:

- AQ1: 25/05/2021 - 12/06/2021
- AQ2: 26/03/2021 - 16/04/2021
- AQ3: 26/03/2021 - 16/04/2021
- AQ4: 13/01/2021 - 05/02/2021
- AQ5: 26/03/2021 - 16/04/2021
- AQ6: 26/03/2021 - 16/04/2021
- AQ7: 26/03/2021 - 16/04/2021
- AQ8: 20/04/2021 - 19/05/2021
- AQ9: 26/03/2021 - 16/04/2021
- AQ10: 26/03/2021 - 16/04/2021
- AQ11: 26/03/2021 - 16/04/2021
- AQ12: 26/03/2021 - 16/04/2021

La formula interpolante è la stessa presentata nel deliverable precedente:

$$Y = a \cdot X^2 + b \cdot X + c \cdot O_3^{0.1} + d \cdot T_{int}^4 + e$$

dove  $Y$  rappresenta il valore calibrato,  $X$  la misura grezza del sensore di  $NO_2$ ,  $O_3$  la misura grezza di ozono,  $T_{int}$  la temperatura interna, e  $a...e$  i coefficienti di calibrazione da ricavare sperimentalmente. Avendo a disposizione un solo periodo di calibrazione, la logica del doppio coefficiente di calibrazione temperatura-dipendente non può essere applicata e il valore univoco dei coefficienti viene riportato in Tabella 17. A titolo esemplificativo, viene mostrato in 77 il risultato delle calibrazioni effettuate nel periodo 26/03/2021 - 16/04/2021.

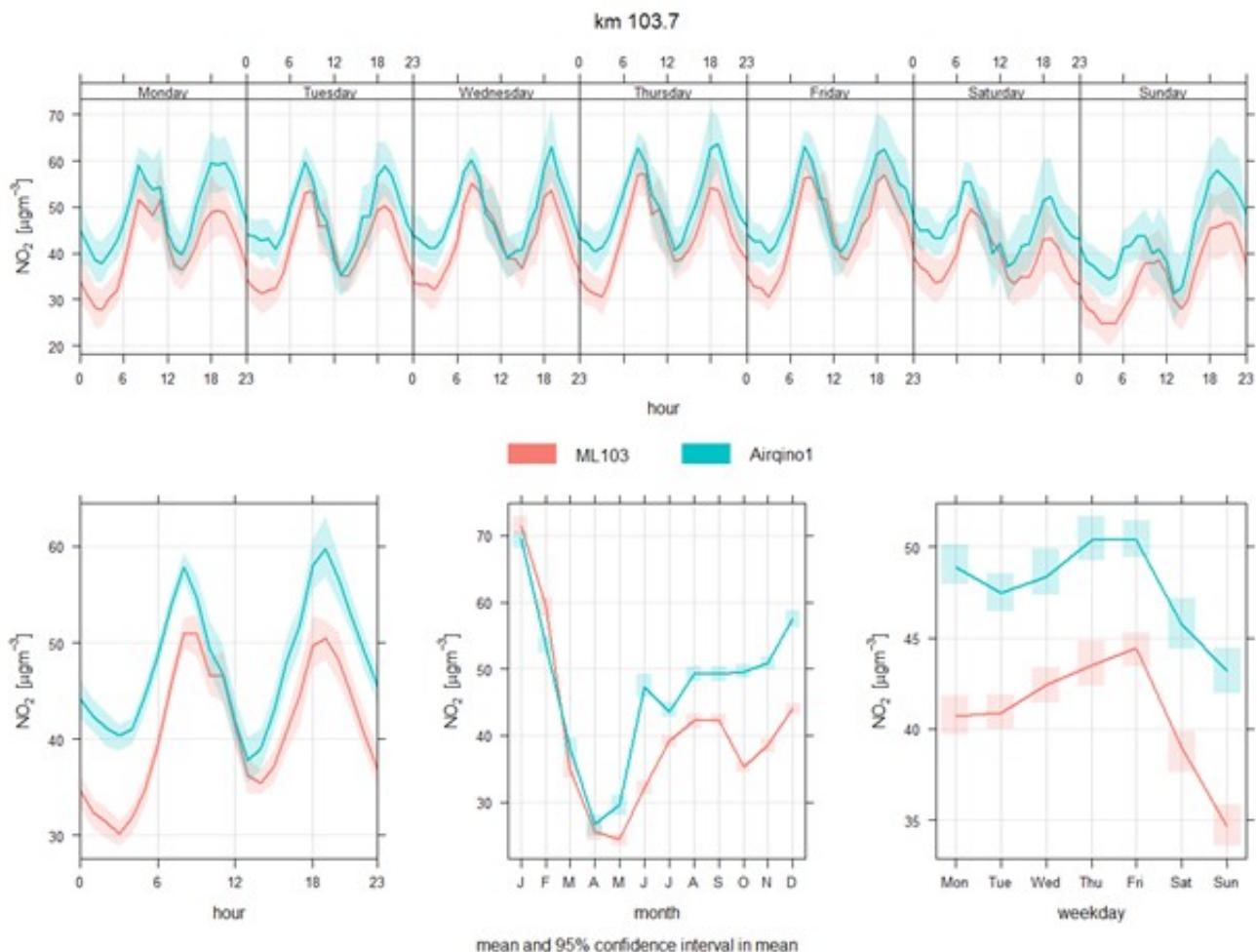
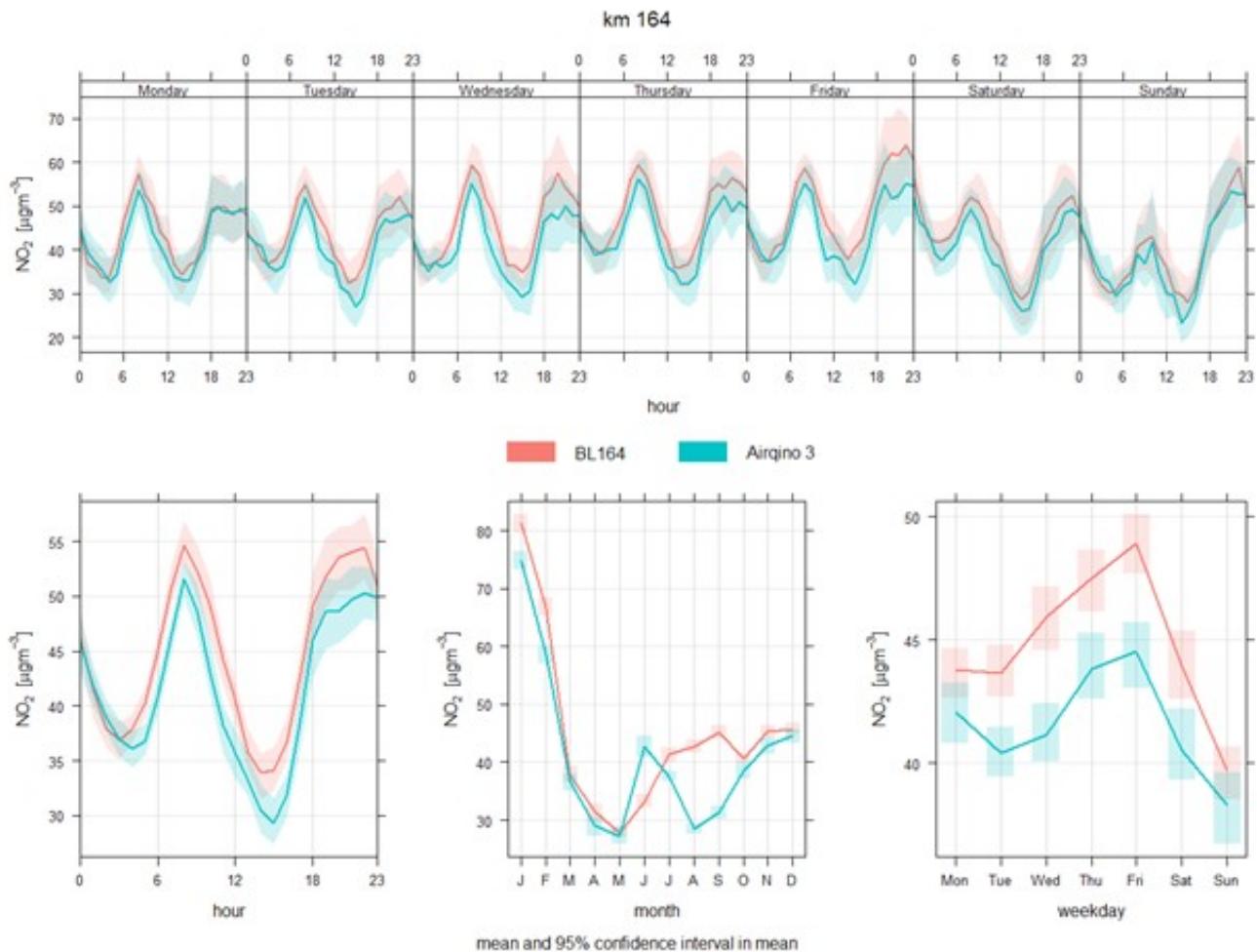
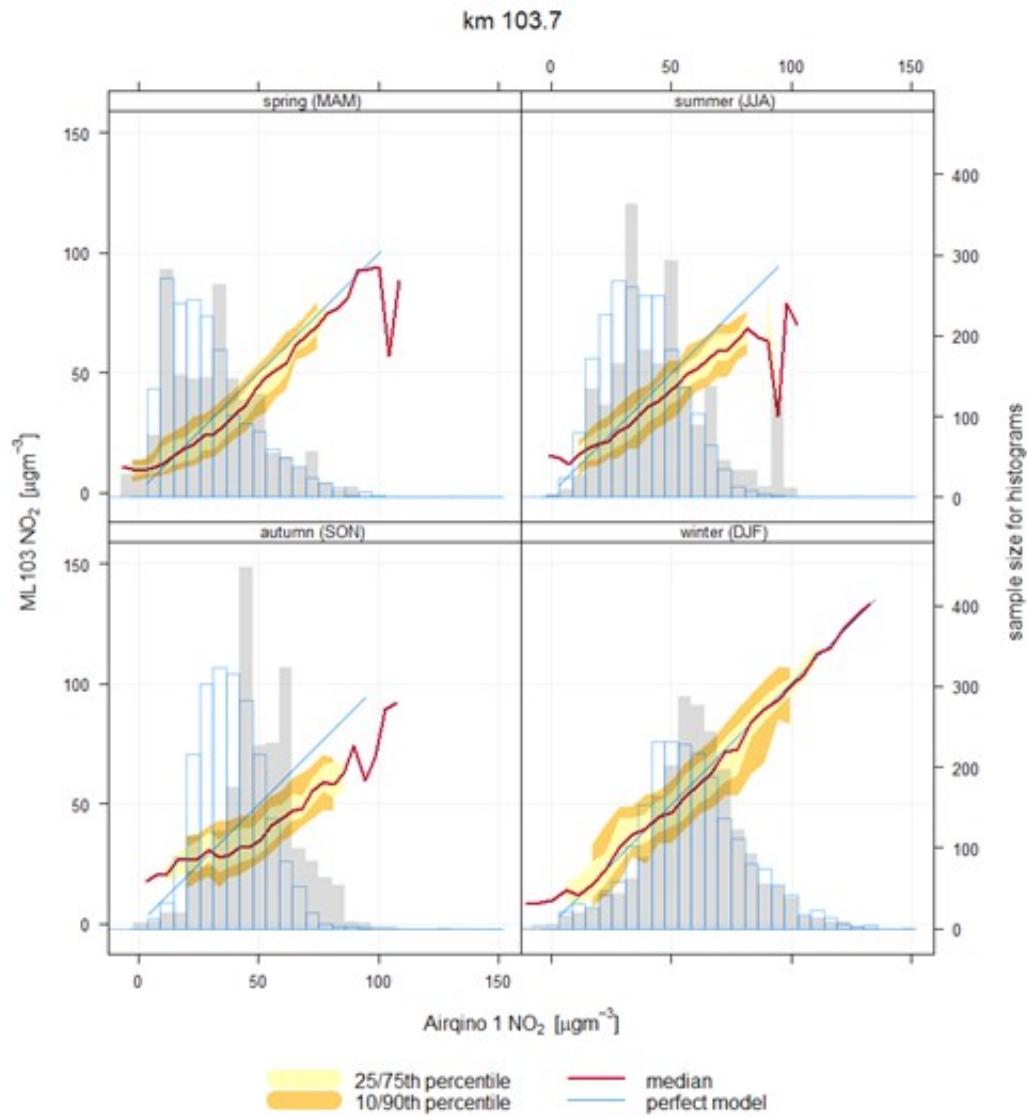


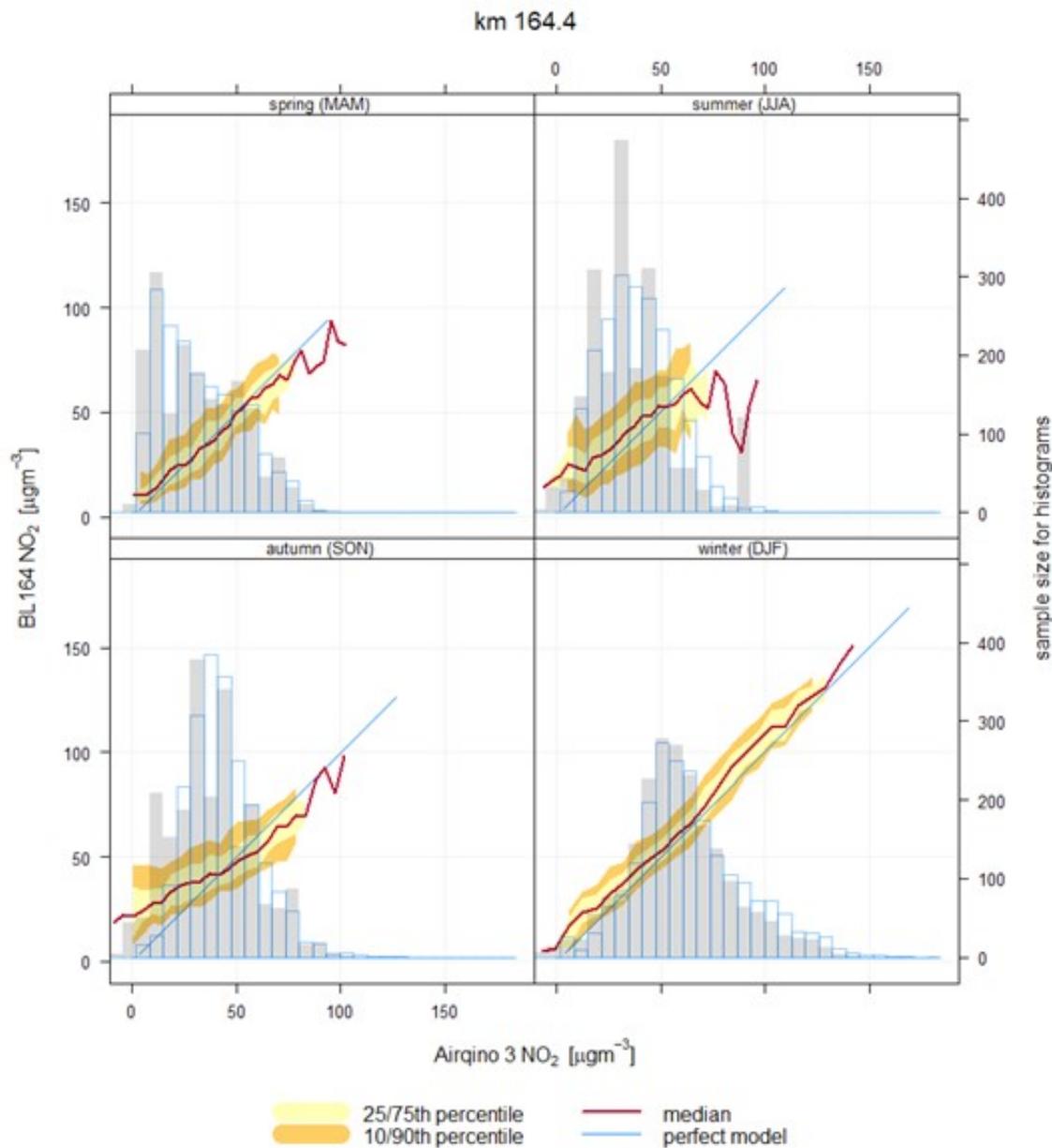
Figura 71: cicli temporali della concentrazione di biossido di azoto misurati da AirQuino 1 e ML103 durante l'anno civile 2020.



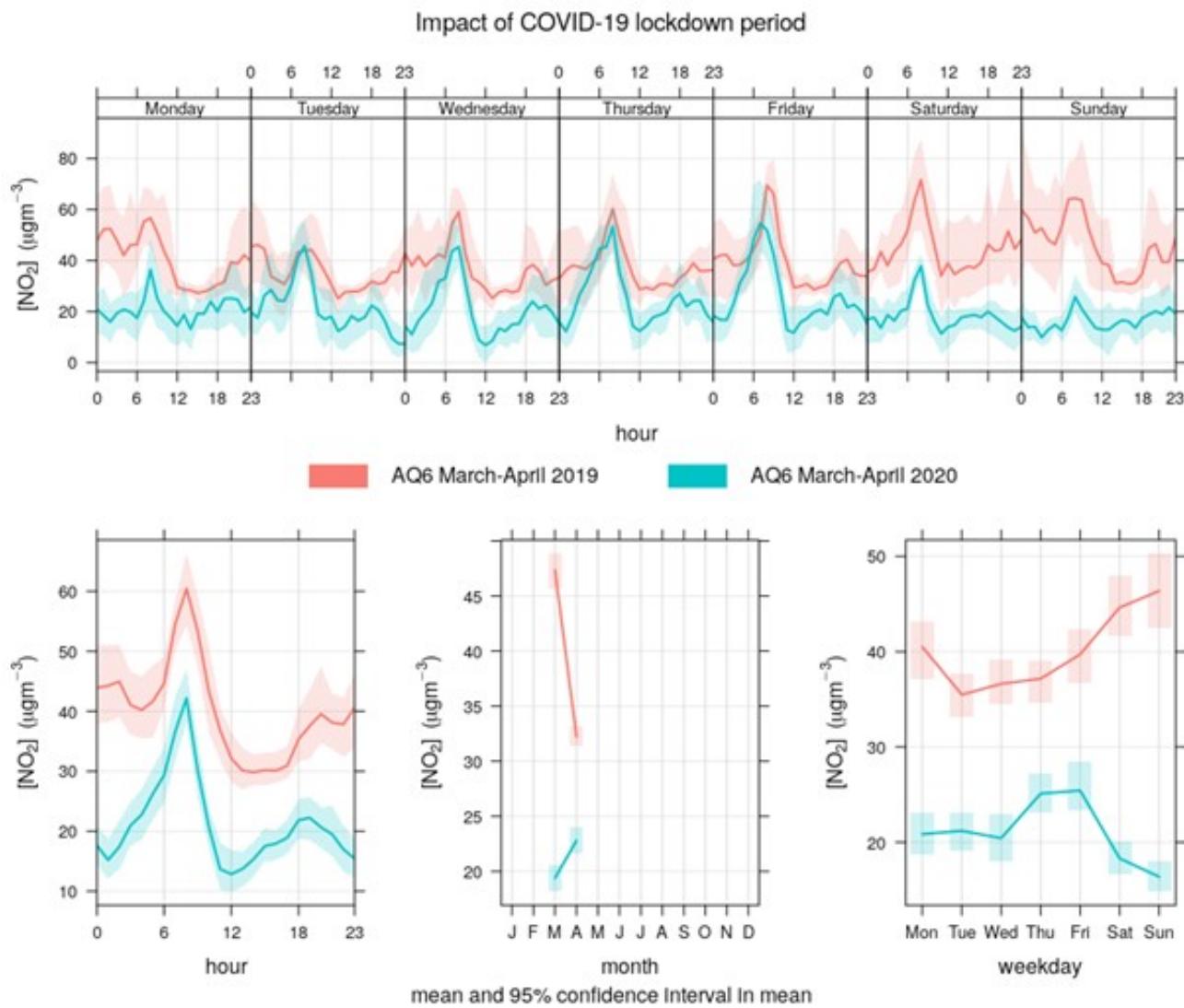
*Figura 72: cicli temporali della concentrazione di biossido di azoto misurati da AirQuino 3 e BrennerLEC durante l'anno civile 2020.*



*Figura 73: QQ-plot condizionali della concentrazione di biossido di azoto di AirQuino 1 in versus ML103, divisi per stagioni per l'anno 2020.*



*Figura 74: QQ-plot condizionali della concentrazione di biossido di azoto di AirQuino 3 versus BrennerLEC, divisi per stagioni per l'anno 2020.*



*Figura 75: cicli temporali della concentrazione di biossido di azoto misurati da AirQuino 6 nei bimestri marzo-aprile 2020 e 2019.*

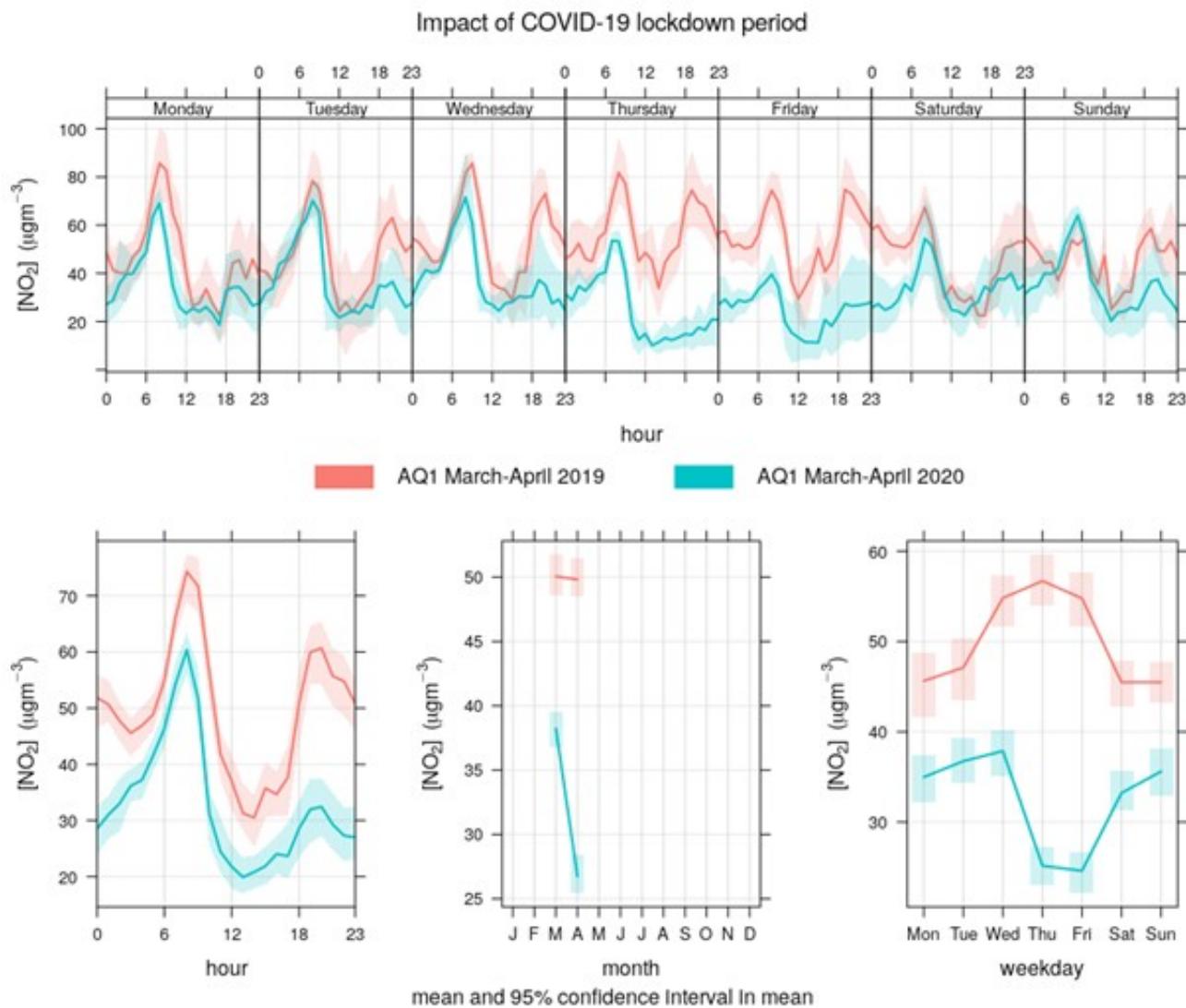


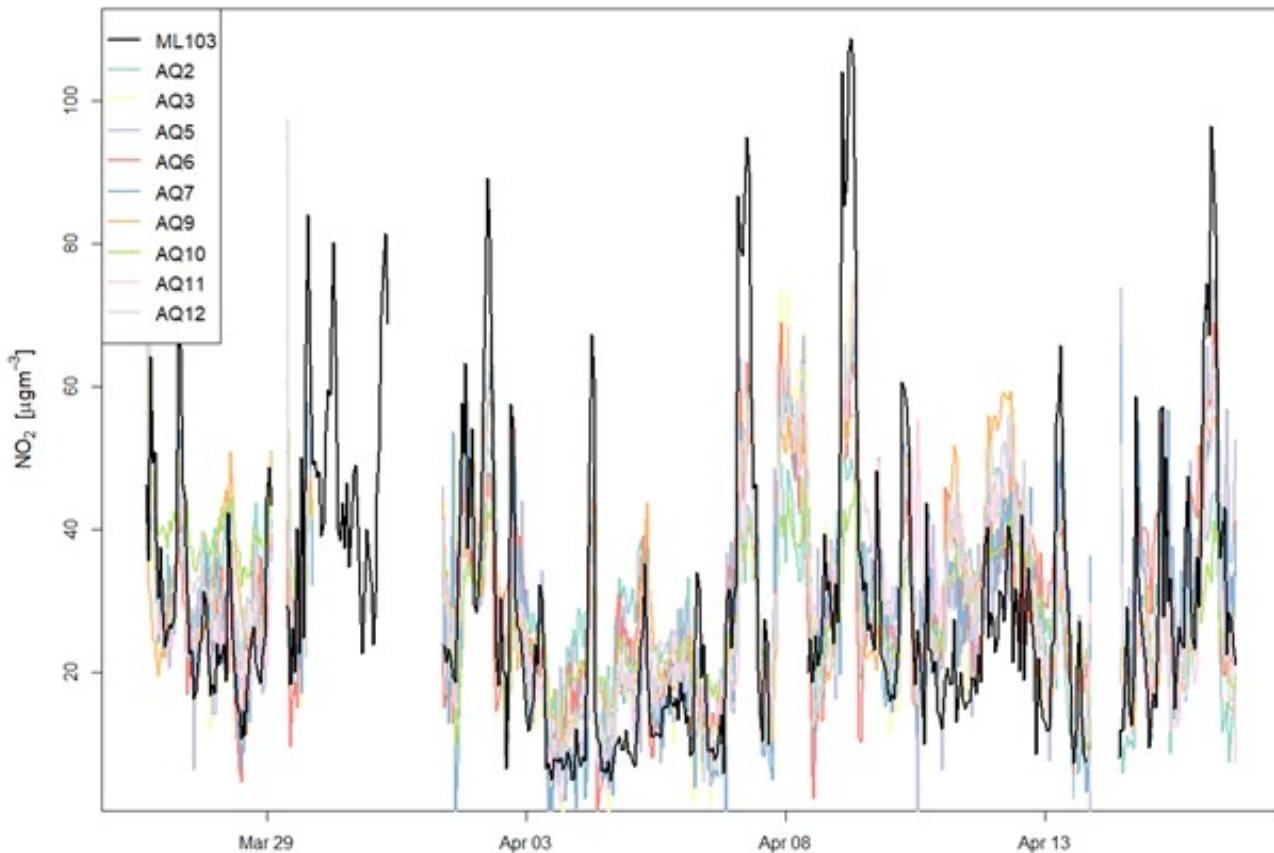
Figura 76: cicli temporali della concentrazione di biossido di azoto misurati da AirQuino 1 nei bimestri marzo-aprile 2020 e 2019



Strumento	e	a	b	c	d
Airquino 1	-2947.954	-0.288	62.103	-163.124	5.313E-06
Airquino 2	-553.482	-0.034	12.120	-176.645	-3.780E-06
Airquino 3	-6301.667	-0.672	129.653	83.103	1.847E-06
Airquino 4	9421.302	2.093	-361.244	3186.167	7.549E-05
Airquino 5	-8702.171	-1.004	194.455	-427.989	8.310E-06
Airquino 6	-3037.027	-0.103	27.139	910.013	4.277E-05
Airquino 7	-11977.511	-1.316	250.682	63.895	1.409E-06
Airquino 8	878.759	0.119	-19.741	-19.828	1.912E-06
Airquino 9	-271.853	-0.004	1.098	151.869	8.960E-08
Airquino 10	-552.365	-0.026	8.043	39.968	-4.250E-06
Airquino 11	-1585.499	-0.099	25.901	48.369	-4.627E-07
Airquino 12	-2690.332	-0.197	46.575	55.540	3.619E-06
Airquino 13	-1562.064	-0.156	30.045	120.018	-3.702E-04

Tabella 17: Parametri di calibrazione 2021 per il sensore di NO<sub>2</sub> installato sugli AirQuino.

Calibrazione 26/03/2021 - 16/04/2021



*Figura 77: risultati della calibrazione di vari AirQuino effettuata nel periodo 26/03/2021 - 16/04/2021 a confronto con le misure della stazione di riferimento.*



## Conclusioni

Grazie ai dati raccolti fin dai primi mesi del 2017 è stato possibile effettuare una caratterizzazione dei diversi siti di monitoraggio e dell'andamento delle varie componenti di qualità dell'aria, meteo e traffico, dal punto di vista giornaliero, settimanale, mensile, annuale o stagionale. Questo deliverable riporta, nello specifico, le analisi riferite alle misure effettuate negli anni 2020 e 2021.

In quest'ultima fase di progetto, viste le particolari condizioni di traffico registrate durante il periodo di emergenza pandemica legata al COVID-19, è stato effettuato uno studio di approfondimento che, grazie ai dati raccolti dalla rete di monitoraggio, ha permesso di indagare i singolari effetti della riduzione del traffico sulla qualità dell'aria.

L'emergenza sanitaria dei primi mesi dell'anno 2020 ha infatti spinto il Governo italiano ad emanare una serie di provvedimenti volti a limitare il diffondersi del contagio; tali provvedimenti hanno implicato anche una forte limitazione delle attività produttive e degli spostamenti, condizionando, come in tutta Italia, anche i volumi di traffico sull'Autostrada del Brennero.

L'analisi dei flussi di traffico ha messo in evidenza i singolari effetti dell'emergenza sanitaria. I dati analizzati derivano dalle misure effettuate tramite le spire induttive gestite da A22 lungo il tratto di progetto; esse hanno registrato, nei primi mesi del 2020, un traffico totale e leggero addirittura maggiore degli anni precedenti che ha poi subito un crollo durante il periodo di lockdown tra marzo e maggio 2020 con un calo che, per i veicoli leggeri, è stato anche superiore al 90% rispetto al biennio precedente. I primi mesi del 2021 sono stati caratterizzati da un traffico ancora molto inferiore a quello degli anni precedenti, mentre durante l'estate sono stati misurati transiti superiori alla media del biennio 2018-2019.

La rete di monitoraggio della qualità dell'aria diffusa sul territorio del Trentino Alto Adige e sempre in funzione con misurazioni in continuo, ha permesso di acquisire i dati relativi alla particolare situazione, compararli con quanto analogamente misurato negli anni precedenti per effettuare un approfondimento relativo agli effetti del periodo di lockdown sull'NO<sub>2</sub>, sul black carbon e sugli altri principali inquinanti a bordo autostrada e non solo.

Le stazioni di monitoraggio a bordo autostrada hanno registrato riduzioni delle concentrazioni di NO<sub>2</sub>, inquinante strettamente legato al traffico veicolare, di quasi il 50% rispetto al triennio precedente. Allontanandosi dalla sede autostradale, le riduzioni di NO<sub>2</sub> risultano inferiori (dal 37 al 40%), ma sempre significative e rappresentative di una situazione nella quale la fonte emissiva dovuta al traffico è stata ampiamente ridotta. In ambito rurale, a qualche centinaio di metri dall'A22, sono state misurate concentrazioni



di NO<sub>2</sub> molto basse e identificative di una situazione di estrema riduzione di fonti emissive di questo inquinante anche sulle altre arterie stradali. Il periodo del lockdown e il calo del traffico veicolare ha così permesso di osservare e approfondire l'aspetto legato alla concentrazione di fondo di NO<sub>2</sub>, di rilevante interesse per la stima delle emissioni e per l'implementazione di tale parametro all'interno della catena modellistica previsionale sviluppata per il presente progetto. Dall'analisi dei dati della stazione di Piana Rotaliana, situata in contesto agricolo/rurale, distante da strade statali e provinciali e situata a più di 800 m dall'autostrada, si evince che, nei mesi di lockdown, le concentrazioni di NO<sub>2</sub> hanno raggiunto un valore medio di circa 12 µg/m<sup>3</sup>, addirittura inferiore a quanto misurato nella stazione di fondo di Cortina CR1, finora presa come riferimento per la concentrazione di fondo.

In modo simile a quanto misurato per l'NO<sub>2</sub>, nel periodo di emergenza sanitaria si registrano delle marcate riduzioni anche nelle concentrazioni di black carbon, un altro inquinante strettamente legato al traffico, che viene misurato a bordo autostrada. In particolare, presso la stazione al km 164 a Rovereto, la concentrazione totale di black carbon ha subito un calo di poco superiore al 50%, ma la componente di questo inquinante che deriva in particolar modo dai combustibili fossili, e quindi dai motori, ha registrato una riduzione superiore al 57%. Differente è invece l'andamento della componente di black carbon derivante dalla combustione della biomassa, e quindi legata al riscaldamento domestico, che è rimasta nel complesso stabile (ha subito un leggero aumento del +5%), per il continuo utilizzo dei riscaldamenti a causa della permanenza di cittadini e lavoratori (smart working) nelle proprie abitazioni. La buona attendibilità delle misure ottiche di black carbon è stata validata attraverso un'analisi effettuata nei primi mesi del 2021 sui filtri di polveri sottili PM10 ed in particolare sulle componenti di levoglucosano e benzo(a)pirene. Tali componenti ne identificano la frazione derivante dalla combustione della biomassa che ben si correla con l'analogia componente di black carbon.

Grazie alla normalizzazione delle concentrazioni di NO<sub>2</sub> rispetto alle variabili meteorologiche è stato possibile evidenziare le variazioni di concentrazione dovute esclusivamente alla differente emissione di inquinante, che potrebbero invece essere mascherate dalla variabilità meteorologica. I risultati mettono in luce una sostanziale diminuzione delle concentrazioni di NO<sub>2</sub> e di black carbon durante il periodo di lockdown, dell'ordine del 50% a bordo autostrada. Diminuzioni significative sono state registrate anche per le stazioni più distanti dall'autostrada, testimoniando come l'effetto non sia stato solo prettamente locale.

Andamenti e riduzioni di NO<sub>2</sub> e black carbon vengono ben asseccordati anche dalle particelle di dimensioni di poco inferiori allo 0,1 µm, misurate dallo stage 5 del



contaparticelle, che possono quindi essere considerate un ulteriore indicatore del traffico veicolare.

I risultati dell'analisi dei dati di qualità dell'aria sono stati confermati dal confronto tra la stima delle emissioni di NOx nel 2020 con quella del triennio precedente. Questa analisi ha evidenziato, infatti, una diminuzione delle emissioni di NOx di circa il 65% rispetto agli anni precedenti, dovuta soprattutto al calo delle emissioni dei veicoli leggeri. Risultati del tutto analoghi sono stati riscontrati anche per quanto riguarda le emissioni di CO<sub>2</sub>.

Gli effetti delle misure sono stati evidenziati anche mediante misure di concentrazione di NO<sub>2</sub> con campionatori passivi posizionati a diversa distanza dall'asse autostradale e mediante il monitoraggio effettuato tramite la rete formata da 12 sensori di qualità dell'aria a basso costo (AirQuino) installati lungo l'A22 e fondamentali come continuo input per il sistema di supporto alle decisioni. Grazie anche ad un'ulteriore calibrazione dei sensori effettuata nel 2021, è stato possibile garantire una buona affidabilità delle misure continuando a fornire i dati come input per il sistema di supporto alle decisioni.



## Bibliografia

- [1]: Consorzio BrennerLEC, Proposta di progetto BrennerLEC - parte C, 2015.
- [2]: Consorzio BrennerLEC, D.C1.1: "Descrizione dettagliata dei sistemi di monitoraggio", 2017.
- [3]: Consorzio BrennerLEC, D.C2.1: "Valutazione della situazione ambientale ex-ante", 2017.
- [4]: Consorzio BrennerLEC, D.C1.2: "Report iniziale sulle campagne di misura nei tratti BLEC-ENV, BLEC-AQ e BLEC-LEZ", 2019.
- [5]: Consorzio BrennerLEC, "Valutazione dell'impatto delle misure per contrastare la pandemia di COVID-19 sulla qualità dell'aria", 2020.
- [6]: Consorzio BrennerLEC, D.C1.3: "Report intermedio sulle campagne di misura nei tratti BLEC-ENV, BLEC-AQ e BLEC-LEZ", 2021.