

7 LA DIFFUSIONE DEGLI INQUINANTI IL BIOSSIDO DI AZOTO (NO₂)

7.1 Introduzione

Con il termine ossidi di azoto si indica una famiglia di composti i più caratteristici dei quali sono il monossido (NO) ed il biossido di azoto (NO₂). Il monossido di azoto (NO) è un gas incolore e inodore che si forma in tutti i processi di combustione, indipendentemente dalla composizione chimica del combustibile, poiché l'azoto e l'ossigeno che lo costituiscono sono naturalmente presenti nell'atmosfera e si combinano in tutti i processi in cui si raggiungono temperature sufficientemente elevate (>1210°). Tali valori sono normalmente raggiunti nei motori a combustione interna. Nei processi di combustione si forma anche una piccola quantità di biossido (circa il 5%). Quest'ultimo è considerato un inquinante secondario perché deriva principalmente dall'ossidazione dell'ossido di azoto (NO), favorita dalla presenza di ossidanti quali l'ozono. Gli ossidi di azoto permangono in atmosfera per pochi giorni (4-5) e sono rimossi in seguito a reazioni chimiche che portano alla formazione di acidi e di sostanze organiche.

Gli effetti negativi sull'ambiente dovuti ad alte concentrazioni di NO₂ sono legati alla formazione di smog fotochimico in presenza di irraggiamento solare, alla acidificazione delle piogge ed alla riduzione dell'ozono stratosferico.

7.2 La normativa

L'entrata in vigore del Decreto Ministeriale n. 60, il 28 aprile 2002 ha modificato i valori dei limiti di concentrazione nell'aria ambiente per numerosi inquinanti fra cui il biossido di azoto. In particolare dal 28 aprile 2002 sono in vigore i nuovi limiti aumentati del margine di tolleranza, riportati in Tabella 7-1.

Tabella 7-1: limiti di concentrazione di biossido di azoto stabiliti dalla normativa vigente.

Esposizione acuta

Inquinante	Tipologia	Valore	Riferimento legislativo	Scadenza
NO ₂	Soglia di allarme*	400 µg/m³	DM 60/02	
NO ₂	Limite orario da non superare più di 18 volte per anno civile	1 gennaio 2002: 280 µg/m³ 1 gennaio 2003: 270 µg/m³ 1 gennaio 2004: 260 µg/m³ 1 gennaio 2005: 250 µg/m³ 1 gennaio 2006: 240 µg/m³ 1 gennaio 2007: 230 µg/m³ 1 gennaio 2008: 220 µg/m³ 1 gennaio 2009: 210 µg/m³ 1 gennaio 2010: 200 µg/m³	DM 60/02	

Esposizione cronica

NO ₂	98° percentile delle concentrazioni medie di 1h rilevate durante l'anno civile	200 µg/m³	DPCM 28/03/83 e succ.mod.	Fino 31/12/2009
NO ₂	Valore limite annuale per la protezione della salute umana Anno civile	1 gennaio 2002: 56 µg/m³ 1 gennaio 2003: 54 µg/m³ 1 gennaio 2004: 52 µg/m³ 1 gennaio 2005: 50 µg/m³ 1 gennaio 2006: 48 µg/m³ 1 gennaio 2007: 46 µg/m³ 1 gennaio 2008: 44 µg/m³ 1 gennaio 2009: 42 µg/m³ 1 gennaio 2010: 40 µg/m³	DM 60/02	

Protezione degli ecosistemi

NO ₂	Limite protezione ecosistemi Anno civile	30 µg/m³ dal 19 luglio 2001	DM 60/02	
-----------------	--	--	----------	--

Per l'esposizione acuta, il valore limite orario è $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pari alla soglia di attenzione stabilita dal DM 25.11.1994 ora abrogato. Tale limite entrerà in vigore dal 1 gennaio 2010, nel frattempo il riferimento è dato dal valore limite aumentato del margine di tolleranza, che diminuisce progressivamente di anno in anno fino a raggiungere lo zero.

Parallelamente fino alla data di entrata in vigore dei valori limite "puri" (quelli non aumentati del margine di tolleranza) restano in vigore anche i valori limite stabiliti dal DPCM 28/03/83, e successive modifiche, ciò significa che il 98° percentile delle concentrazioni medie di 1 ora di NO_2 misurate nell'anno civile non deve superare i $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Per quanto riguarda la protezione degli ecosistemi il valore limite è $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da valutare sull'anno civile.

7.3 Effetti sulla salute

Il biossido di azoto (NO_2) è un gas dal colore rosso-bruno e dall'odore pungente, molto più tossico dell' NO , a causa della sua azione ossidante sul ferro contenuto nell'emoglobina, che rende quest'ultima incapace di trasportare l'ossigeno. Inoltre, sempre a causa delle sue proprietà ossidanti, può provocare infiammazione delle vie aeree, in particolare in soggetti asmatici o con malattie croniche dell'apparato respiratorio.

7.4 Le campagne di monitoraggio

Gli ossidi di azoto sono rilevati dalle stazioni fisse di monitoraggio della rete urbana e provinciale di qualità dell'aria.

In ambiente urbano una delle fonti principali di ossidi di azoto è rappresentata dai motori a combustione delle automobili. L'andamento giornaliero delle concentrazioni di biossido di azoto mostra due picchi caratteristici in corrispondenza delle ore di maggior traffico. In inverno in condizioni di inversione termica si hanno degli episodici aumenti nelle concentrazioni di questo inquinante negli strati più freddi e vicini al suolo dell'atmosfera: questo non è collegato ad una variazione nelle fonti emissive quanto piuttosto ad una diversa diffusione dell'inquinamento.

Nella Tabella 7-2 sono riportate, per ogni stazione di rilevamento, la media annuale ed il 98° percentile delle concentrazioni di NO_2 .

Tabella 7-2: media e 98° percentile delle medie giornaliere delle concentrazioni medie di 1 ora di NO_2 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ rilevate presso le stazioni di misura della rete di qualità dell'aria di Verona e della provincia nell'anno 2002.

Postazione	Media(mg/m^3)	98° percentile (mg/m^3)
Torricelle – Verona	17	61
Piazza Bernardi – Verona	46	105
Corso Milano – Verona	49	94
Via San Giacomo – Verona	44	93
Via Roveggia – Verona	53	120
Cason – Verona	33	84
Villafranca	65	113
Bovolone	33	95
San Martino B.A.	55	118
San Bonifacio	48	108
Legnago	17	48

In nessuna postazione si supera il valore limite annuale, maggiorato del margine di tolleranza, pari a $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$, stabilito dal DM 60/02. Se si prende in considerazione il valore limite pari a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, che entrerà in vigore il 1 gennaio 2010, solo presso le stazioni di monitoraggio di Bovolone, Legnago e Torricelle si misurano valori inferiori. Il limite orario di $280 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (che corrisponde al limite di $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, che entrerà in vigore dal 1 gennaio 2010, più il margine di tolleranza), non viene superato in nessuna stazione.

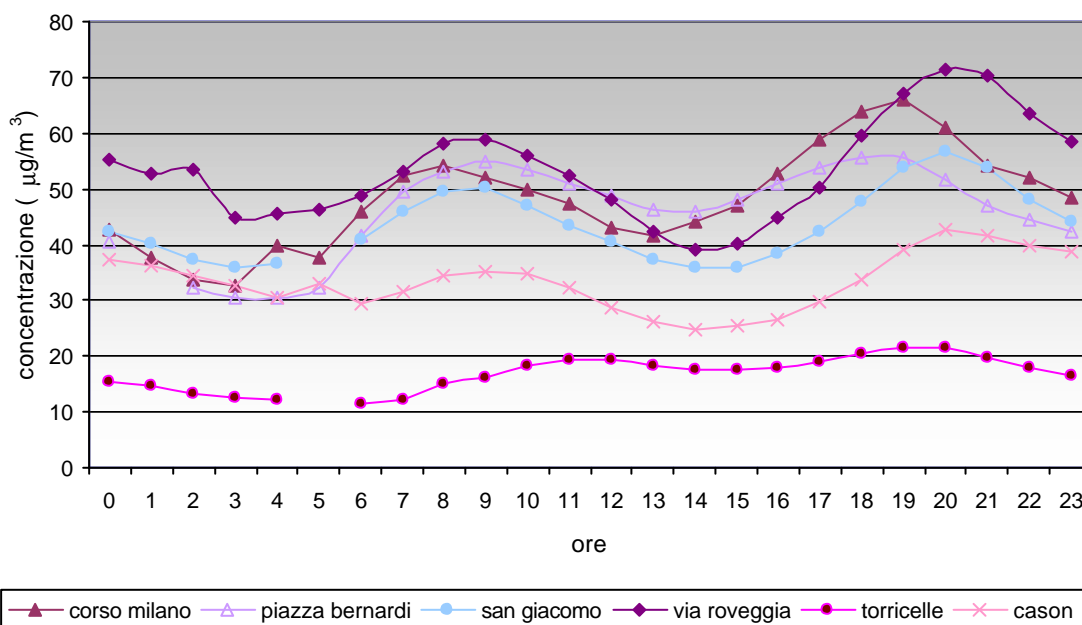
Il limite per la protezione degli ecosistemi viene superato in tutte le stazioni con l'eccezione di Torricelle e Legnago. Nonostante la riduzione nelle emissioni dei precursori di questo inquinante che si è avuta nell'ultimo decennio grazie all'introduzione di macchine meno inquinanti, ad un maggior controllo delle emissioni industriali, ad una diffusione del metano come combustibile per riscaldamento, è necessario quindi un ulteriore sforzo per riportare le concentrazioni di NO_2 all'interno dei limiti previsti.

Nel seguito la provincia verrà divisa in tre ambiti territoriali, Verona e l'area Ovest, l'area Sud, l'area Est, ed in ognuno di essi verranno analizzati gli andamenti della concentrazione di biossido di azoto: tale analisi verrà integrata dai risultati delle campagne di misura effettuate con l'unità mobile.

7.4.1 La situazione a Verona, Castel d'Azzano e Villafranca

Gli ossidi di azoto vengono misurati in tutte le stazioni di monitoraggio della rete di qualità dell'aria di Verona. Nella Figura 7-1 vengono riassunte le misure effettuate nel corso dell'anno 2002 tramite la rappresentazione grafica del giorno tipo, ovvero delle concentrazioni orarie mediate su tutto l'anno. L'andamento è caratterizzato da due picchi in corrispondenza delle ore di maggior flusso di traffico, alla mattina ed alla sera. Nel caso della stazione di Cason, posta in zona suburbana lontana dalle principali fonti emissive, tali picchi sono meno definiti. Presso la stazione di Torricelle, che può essere considerata una stazione di fondo data l'ubicazione, le concentrazioni mostrano, invece, un andamento differenziato notte-giorno.

Figura 7-1: giorno tipo delle concentrazioni di NO_2 (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) misurate presso le stazioni di rilevamento della rete di qualità dell'aria di Verona nell'anno 2002.



Nella Figura 7-2 è rappresentata la settimana tipo delle concentrazioni di NO_2 , ovvero le concentrazioni medie relative al singolo giorno della settimana mediate su tutto l'anno. Tutte le stazioni urbane mostrano una diminuzione delle concentrazioni alla domenica, giorno in cui sia il contributo del traffico che delle attività industriali diminuisce.

In Figura 7-3 è posto a confronto l'andamento del giorno tipo delle concentrazioni di NO_2 misurate dalle stazioni fisse di via Roveggia, a Verona, e di via I Maggio, a Villafranca. Quest'ultima è posta in zona industriale all'ingresso del paese: le concentrazioni che si misurano a Villafranca sono più elevate di quelle di Verona e non variano con l'ora del giorno, ma mostrano piuttosto un andamento diversificato notte e giorno. Dall'analisi della settimana tipo (Figura 7-4) si nota una leggera decrescita delle concentrazioni alla domenica in entrambe le stazioni anche se in maniera più evidente nella stazione di via Roveggia.

Figura 7-2: settimana tipo delle concentrazioni di NO₂ (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) misurate presso le stazioni di rilevamento della rete di qualità dell'aria di Verona nell'anno 2002.

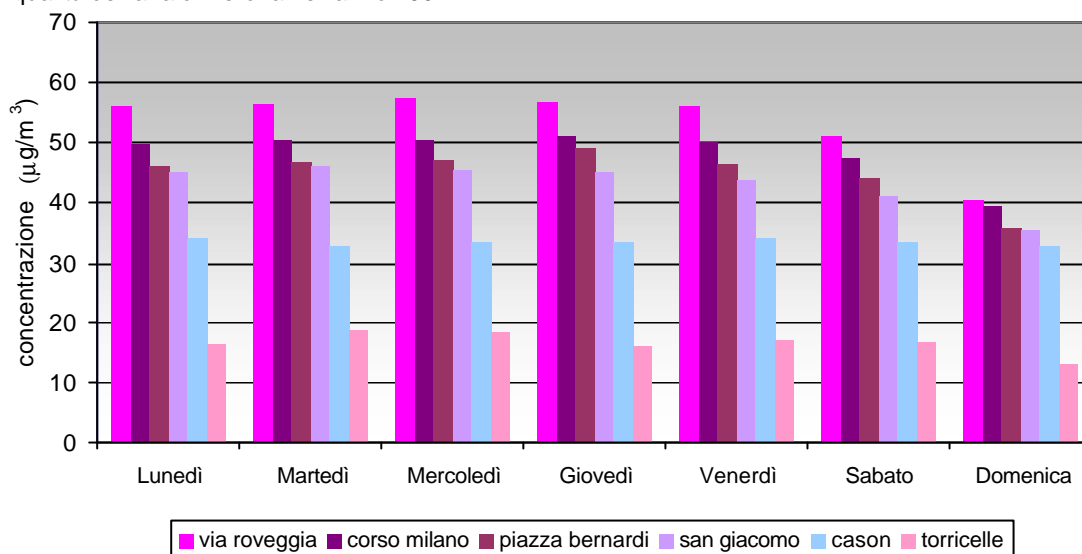


Figura 7-3: giorno tipo delle concentrazioni di NO₂ (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) misurate presso le stazioni di rilevamento di via Roveggia (Verona), Villafranca nell'anno 2002.

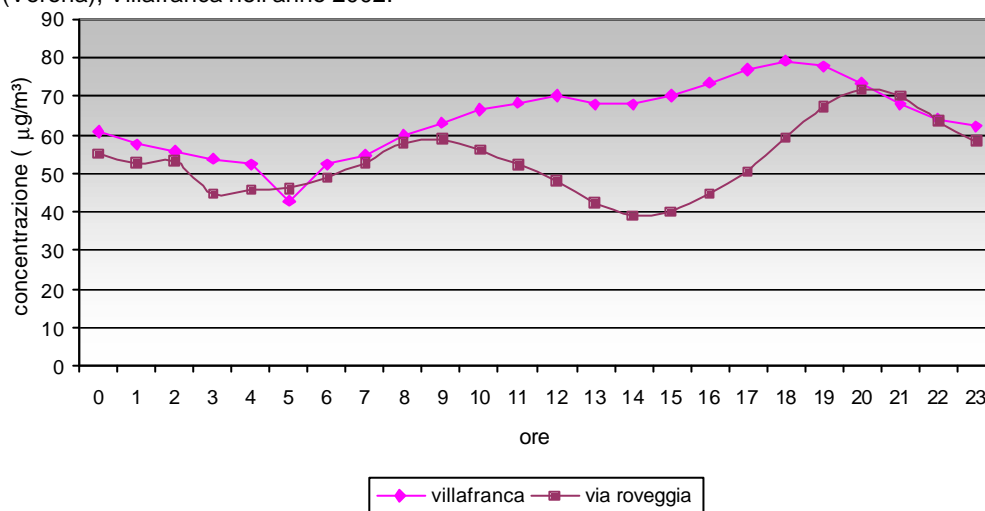
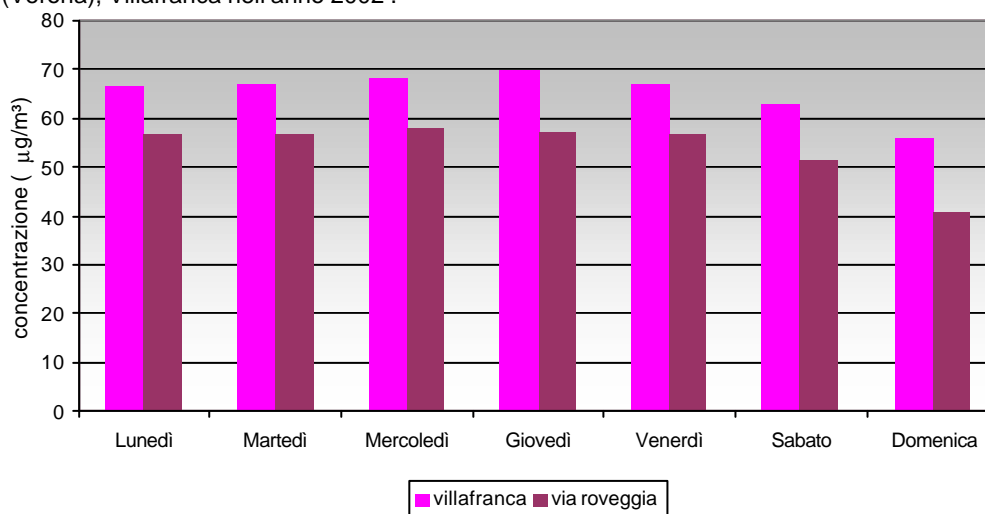


Figura 7-4: settimana tipo delle concentrazioni di NO₂ (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) misurate presso le stazioni di rilevamento di via Roveggia (Verona), Villafranca nell'anno 2002.



È stata, inoltre, effettuata una campagna di misura con l'unità mobile nel periodo 18 dicembre 2002 - 12 gennaio 2003 a Castel d'Azzano in via Scuderlando, ai margini della zona industriale di Verona: l'andamento giornaliero delle concentrazioni è stato confrontato con quelli delle due suddette centraline fisse relative allo stesso periodo. Come evidenziato in Figura 7-5, Figura 7-6 e Figura 7-7 il comportamento non si discosta significativamente da quello rilevato in via Roveggia pur presentando sempre valori leggermente inferiori.

Figura 7-5: giorno tipo delle concentrazioni di NO_2 (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) misurate presso le stazioni di rilevamento di via Roveggia (Verona), Villafranca e dalla stazione mobile posta a Castel d'Azzano relative al periodo 18 dicembre 2002 - 12 gennaio 2003.

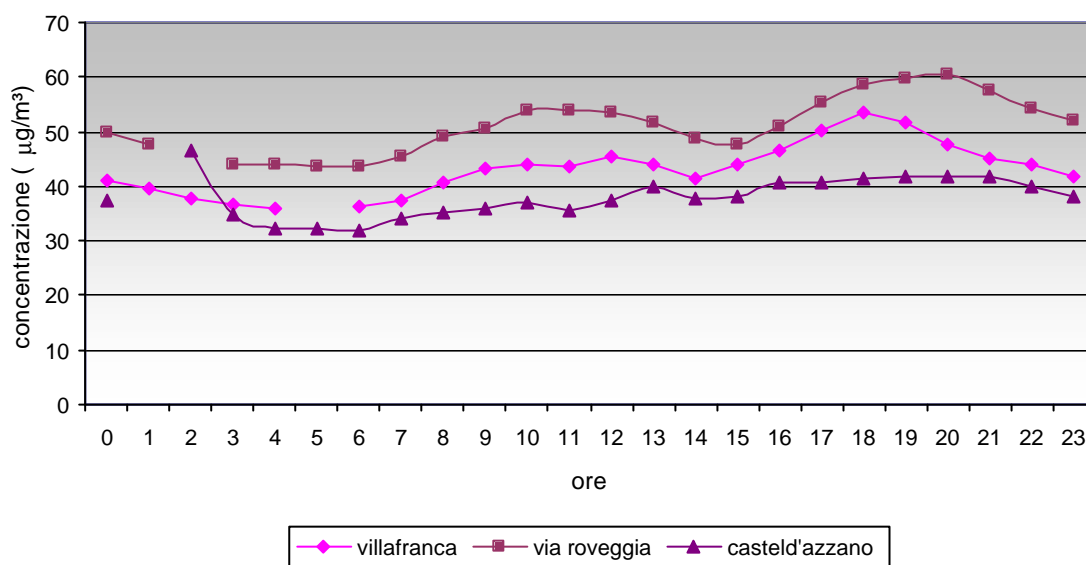


Figura 7-6: settimana tipo delle concentrazioni di NO_2 (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) misurate presso le stazioni di rilevamento di via Roveggia (Verona), Villafranca e dalla stazione mobile posta a Castel d'Azzano relative al periodo 18 dicembre 2002 - 12 gennaio 2003.

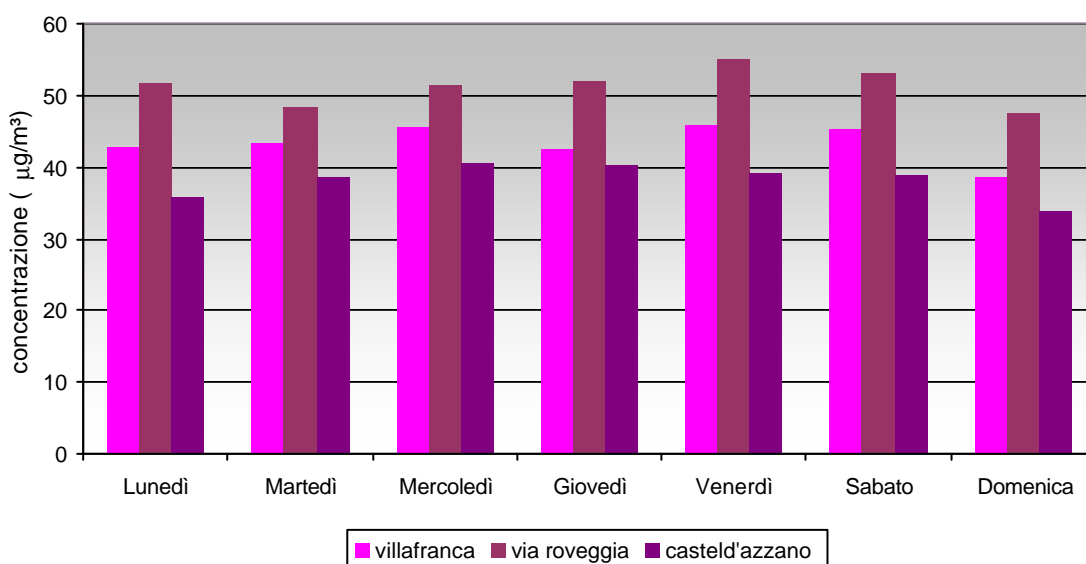
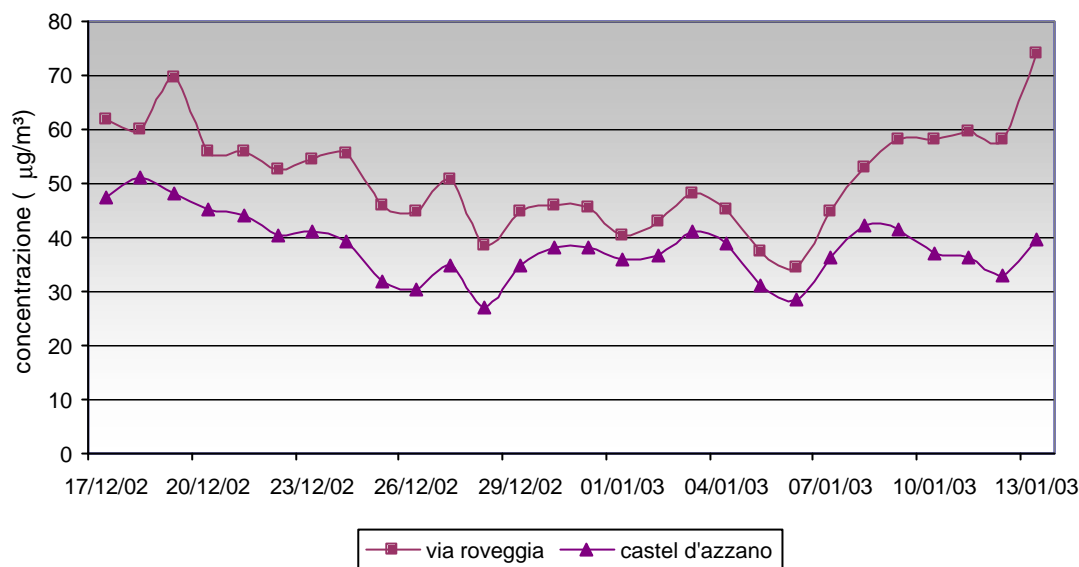


Figura 7-7: andamento giornaliero delle concentrazioni di NO₂ (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) misurate presso la stazione di via Roveggia a Verona e l'unità mobile a Castel d'Azzano in via Scuderlando relative al periodo 18 dicembre 2002 al 12 gennaio 2003.



7.4.2 La situazione ad Est – San Martino Buon Albergo, San Bonifacio, Caldiero

Nella zona Est della provincia di Verona sono presenti due stazioni fisse di monitoraggio: una a San Martino Buon Albergo, in località Case Nuove nei pressi dell'autostrada A4, ed una nel comune di San Bonifacio in zona residenziale. L'andamento del giorno tipo (Figura 7-8) delle concentrazioni di NO₂ misurate presso queste stazioni presenta il tipico profilo caratterizzato dai due picchi. La Figura 7-9 illustra come anche l'andamento della settimana tipo presenti un andamento simile in entrambe le postazioni: san Martino presenta comunque concentrazioni leggermente superiori.

Inoltre è stata posta l'unità mobile in uno dei punti caldi della provincia per quanto riguarda l'inquinamento dovuto al traffico automobilistico: nel comune di Caldiero, in via Strà, nei pressi della statale 11 sulla quale si registra un flusso medio pari a 20000 veicoli giorno. Il monitoraggio ha avuto luogo nel periodo 26 marzo-24 aprile 2002, in un periodo non particolarmente critico per quanto riguarda l'accumulo di inquinanti in atmosfera: l'andamento giornaliero è riportato in Figura 7-10 dove è stato posto a confronto con le rilevazioni delle stazioni fisse nello stesso periodo. Anche in questo caso è evidente come la distribuzione del traffico veicolare si rifletta sull'andamento della concentrazione.

Nello stesso periodo, per quanto riguarda la settimana tipo (

Figura 7-11) il giorno più critico è risultato essere il mercoledì. Si evidenziano inoltre diminuzioni durante il fine settimana, anche queste imputabili all'andamento del flusso veicolare.

La Figura 7-12 evidenzia come le concentrazioni giornaliere rilevate a Caldiero presentino picchi più elevati di quelli rilevati a San Martino Buon Albergo e a San Bonifacio.

Figura 7-8: giorno tipo delle concentrazioni di NO_2 (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) misurate presso le stazioni di rilevamento di San Martino Buon Albergo (loc. Case Nuove) e San Bonifacio (via Fiume) nell'anno 2002.

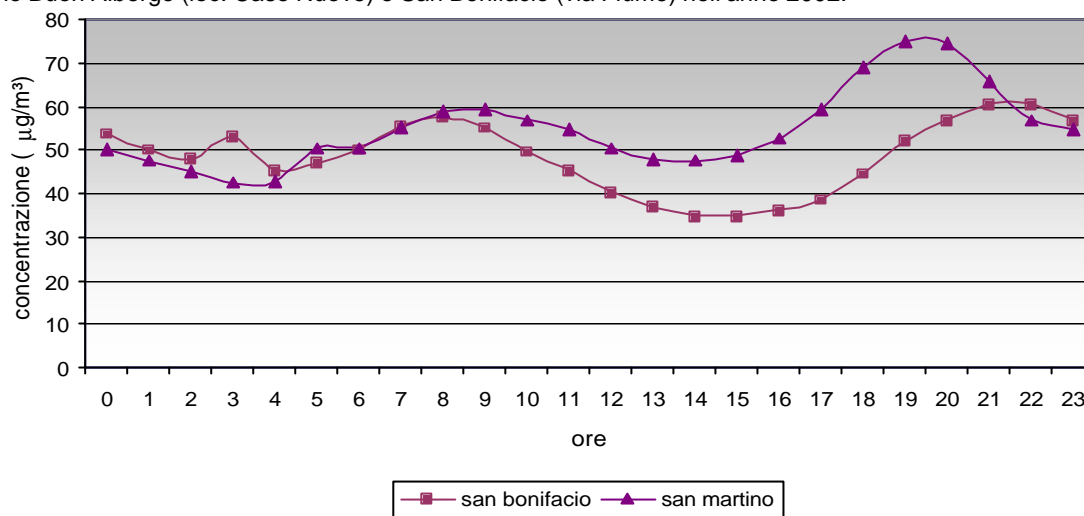


Figura 7-9: settimana tipo delle concentrazioni di NO_2 (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) misurate presso le stazioni di rilevamento di San Martino Buon Albergo (loc. Case Nuove) e San Bonifacio (via Fiume) nell'anno 2002.

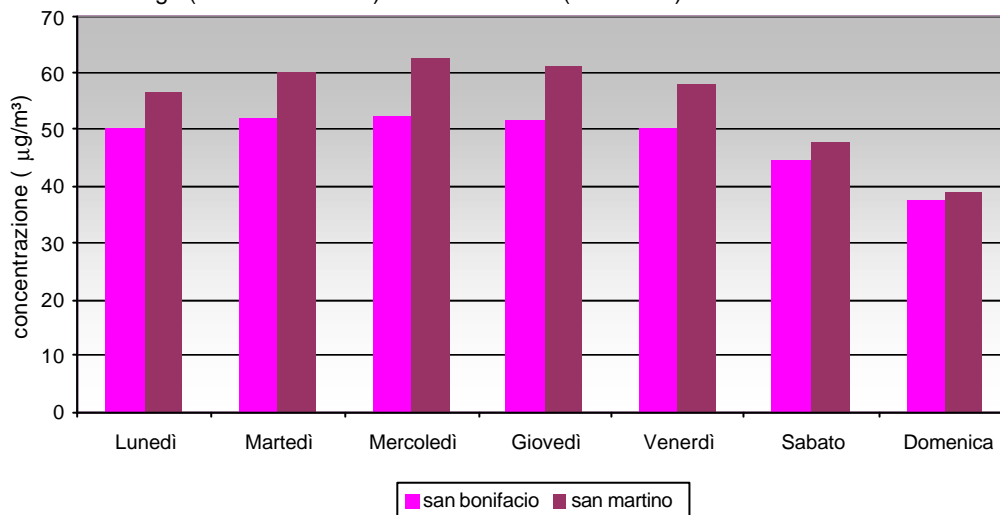


Figura 7-10: giorno tipo delle concentrazioni di NO_2 (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) misurate presso le stazioni di rilevamento di San Martino Buon Albergo (loc. Case Nuove), San Bonifacio (via Fiume) e dalla stazione mobile posta a Caldiero relative al periodo 26 marzo 2002 - 24 aprile 2002.

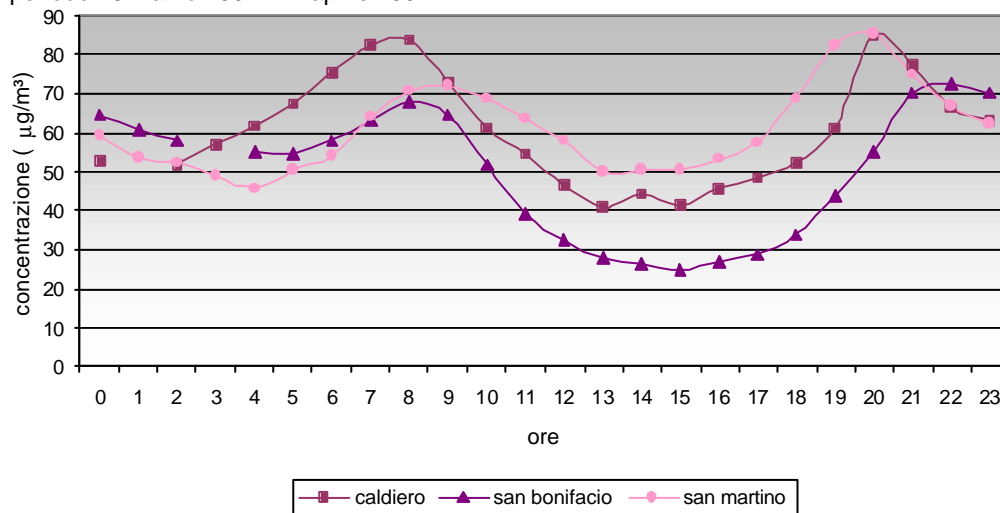


Figura 7-11: settimana tipo delle concentrazioni di NO_2 (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) misurate presso le stazioni di rilevamento di San Martino Buon Albergo (loc. Case Nuove), San Bonifacio (via Fiume) e dalla stazione mobile posta a Caldiero relative al periodo 26 marzo 2002 - 24 aprile 2002.

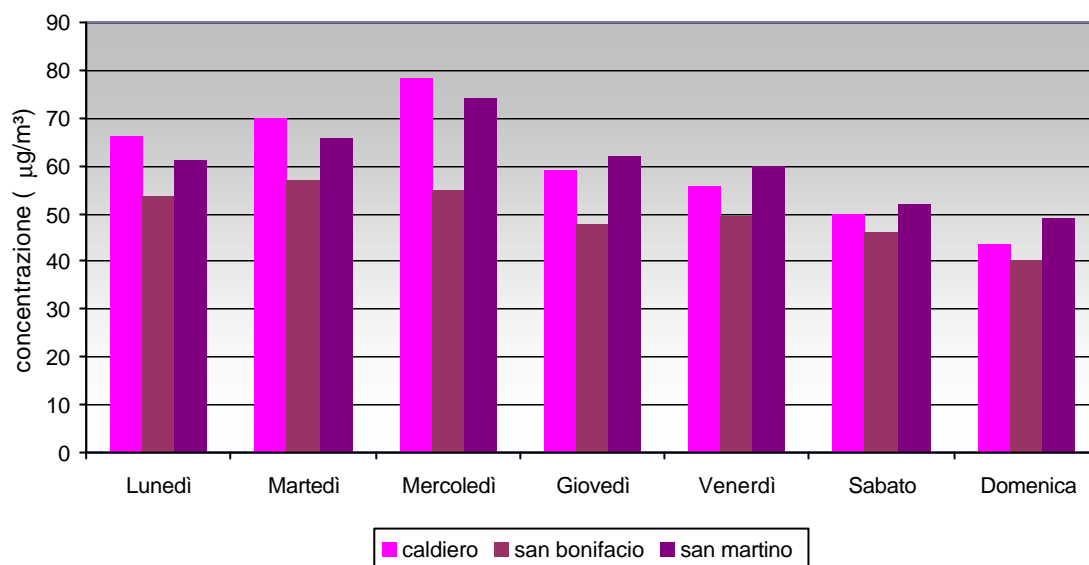
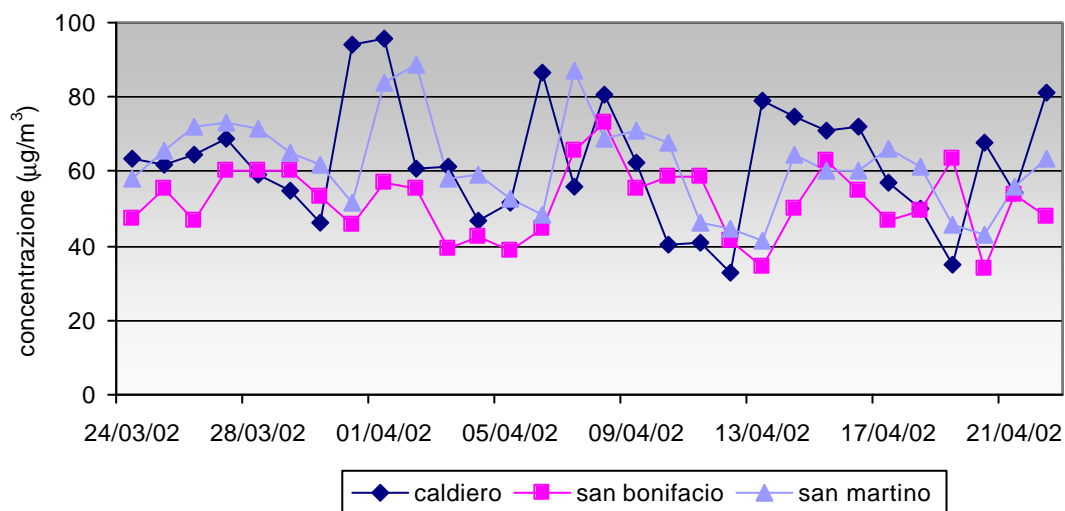


Figura 7-12: andamento giornaliero delle concentrazioni di NO_2 (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) misurate presso la stazione di San Bonifacio e San Martino e l'unità mobile a Caldiero relative al periodo 26 marzo al 24 aprile 2002.



7.4.3 La situazione a Sud – Bovolone, Isola della Scala, Gazzo, Legnago

Nella zona a Sud della provincia sono posizionate due stazioni fisse, una a Bovolone ed una a Legnago. Nel corso dell'anno 2002 sono state inoltre effettuate due campagne di misura con l'unità mobile a Gazzo Veronese, in zona rurale-artigianale, e a Isola della Scala, nei pressi della strada statale 12 che sopporta un volume di traffico giornaliero di circa novemila veicoli. I rilevamenti di questi centri abitativi sono stati poi confrontati con i dati relativi alla stazione di Cason che è un indice dell'inquinamento urbano di fondo.

Le concentrazioni rilevate a Bovolone presentano valori paragonabili a quelli presenti a Cason mentre la stazione di Legnago registra sempre valori inferiori (Figura 7-13 e Figura 7-14).

Figura 7-13: giorno tipo delle concentrazioni di NO_2 (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) misurate presso le stazioni di rilevamento di Bovolone, San Bonifacio, e Cason nell'anno 2002.

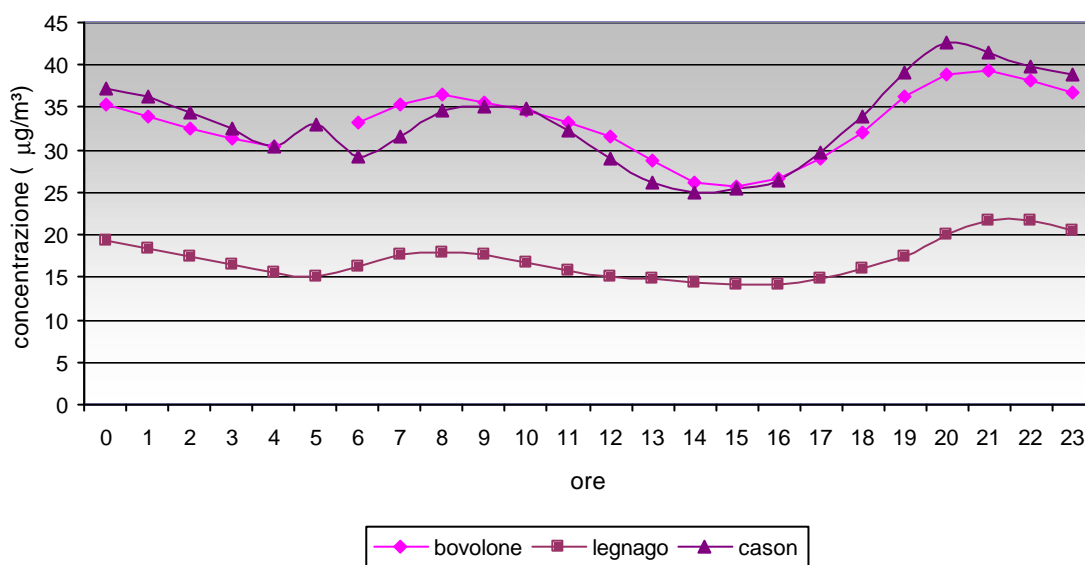
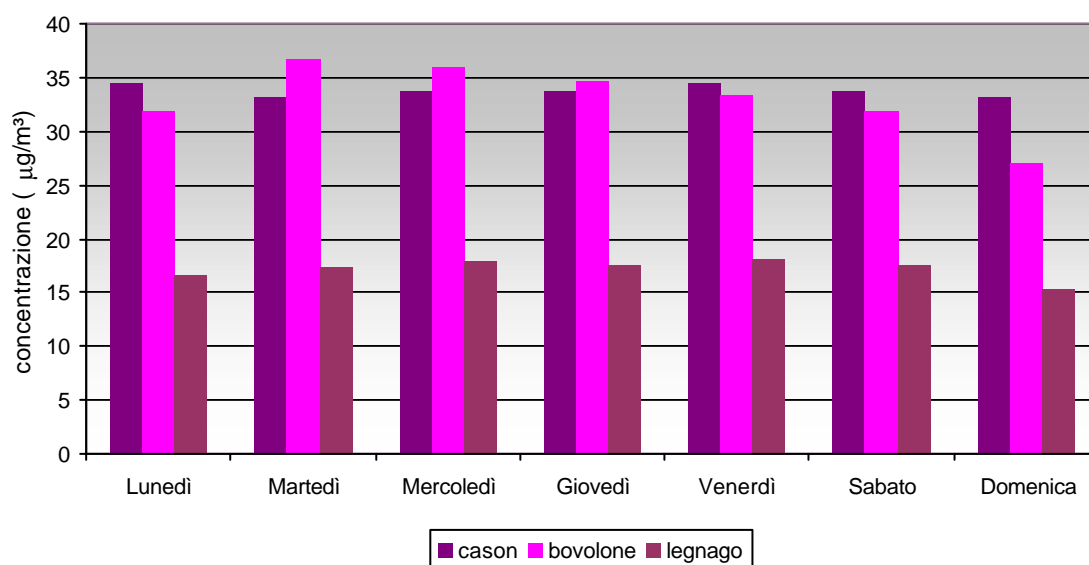


Figura 7-14: settimana tipo delle concentrazioni di NO_2 (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) misurate presso le stazioni di rilevamento di Bovolone, Legnago e Cason nell'anno 2002.



Le campagne di misura condotte con l'unità mobile hanno avuto una durata di circa venti giorni: dal 9 agosto al 3 settembre a Gazzo Veronese e dal 3 al 25 settembre a Isola della Scala. I risultati possono quindi essere considerati rappresentativi del livello di inquinamento nei mesi estivi nei siti considerati.

A Gazzo (Figura 7-15 e Figura 7-16) le concentrazioni rilevate sono inferiori ai 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e sono quindi confrontabili con quelle misurate a Legnago. I siti di Legnago e di Gazzo possono essere considerati rappresentativi dell'inquinamento di fondo presente nella zona a Sud della provincia.

Figura 7-15: giorno tipo delle concentrazioni di NO_2 (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) misurate presso le stazioni di rilevamento di Bovolone, San Bonifacio, Cason e dalla stazione mobile posta a Gazzo relative al periodo 9 agosto 2002 – 3 settembre 2002.

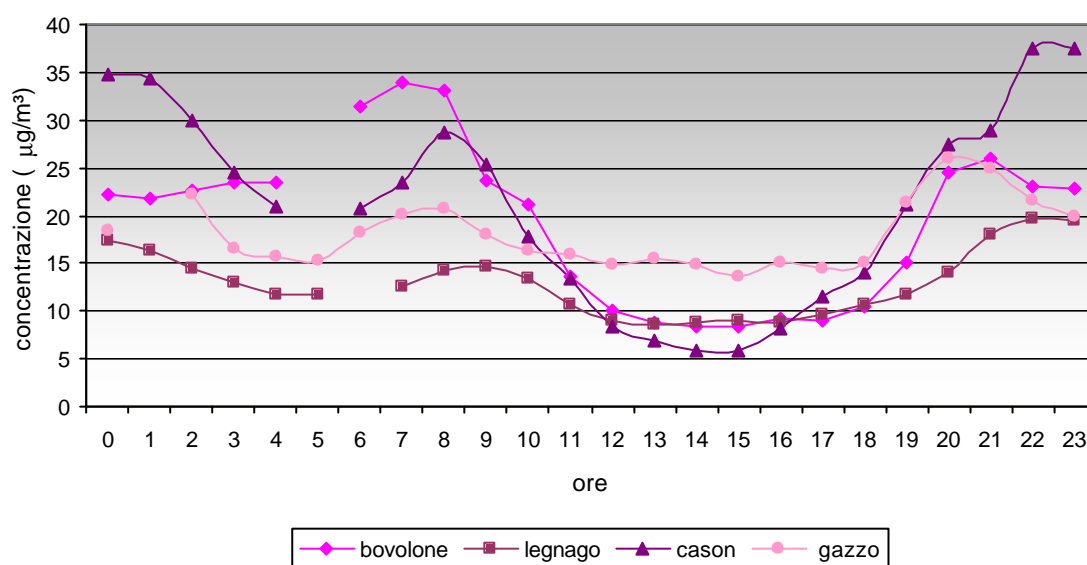
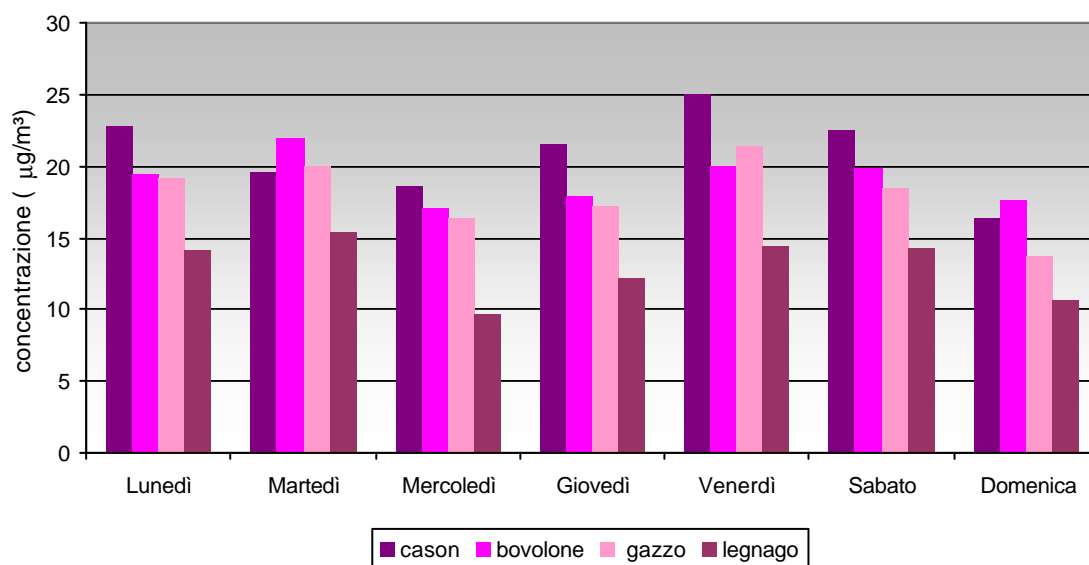
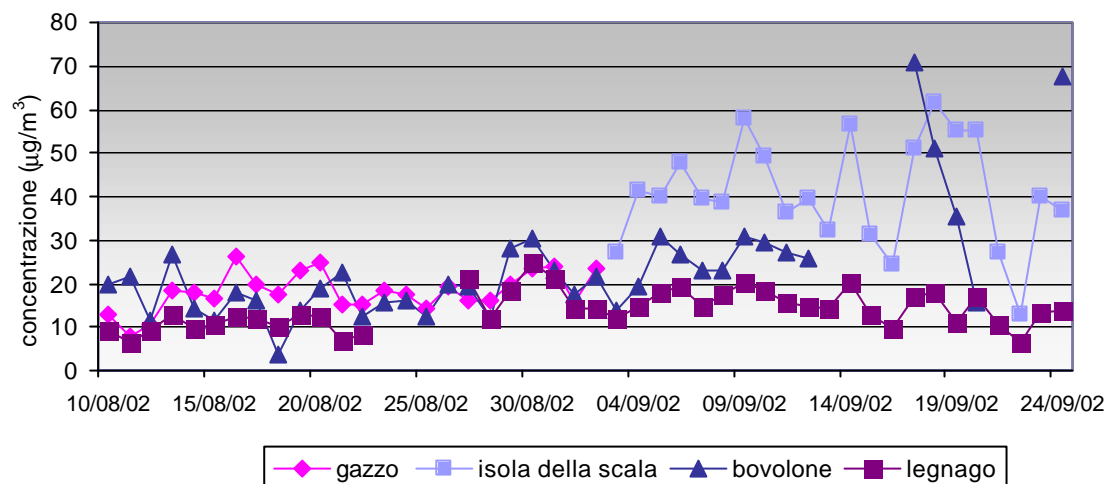


Figura 7-16: settimana tipo delle concentrazioni di NO_2 (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) misurate presso le stazioni di rilevamento di Bovolone, San Bonifacio, Cason e dalla stazione mobile posta a Gazzo relative al periodo 9 agosto 2002 – 3 settembre 2002.



Le misure effettuate a Isola della Scala risentono della vicinanza di un'arteria stradale (SS12) molto trafficata: rispetto a Gazzo infatti la media giornaliera presenta valori nettamente maggiori, se pur in periodi diversi, rappresentativi comunque della stessa stagione (Figura 7-17).

Figura 7-17: andamento giornaliero delle concentrazioni di NO_2 (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) misurate presso le stazioni di rilevamento di Bovolone, San Bonifacio e dalla stazione mobile posta a Gazzo ed Isola della Scala relative al periodo 3 settembre 2002 – 25 settembre 2002 .



Il giorno tipo (Figura 7-18) presenta per la postazione di Isola della Scala un andamento maggiormente riconducibile al flusso veicolare. Anche la settimana tipo (Figura 7-19) presentando valori più elevati nei giorni centrali della settimana ed inferiori alla domenica, conferma l'influenza del traffico come fonte d'inquinamento. I valori rilevati a Isola sono comunque più bassi di quelli rilevati, ad esempio, a Caldiero e San Martino Buon Albergo a conferma dell'influenza del traffico quale fonte di inquinamento (Figura 7-10 e

Figura 7-11): il flusso di veicoli sulla SS 11 è infatti quasi doppio rispetto alla SS 12 ed inoltre nelle vicinanze vi è l'autostrada A4.

Figura 7-18: andamento giornaliero delle concentrazioni di NO_2 (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) misurate presso le stazioni di rilevamento di Bovolone, San Bonifacio e dalla stazione mobile Isola della Scala relative al periodo 3 settembre 2002 – 25 settembre 2002 .

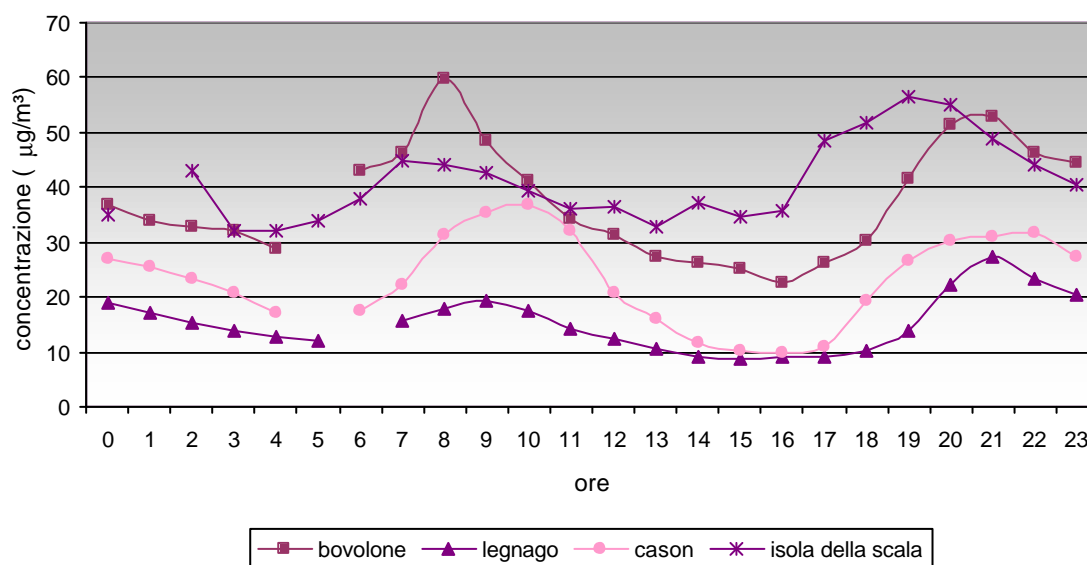


Figura 7-19: settimana tipo delle concentrazioni di NO₂ (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) misurate presso le stazioni di rilevamento di Bovolone, San Bonifacio e dalla stazione mobile posta a Gazzo ed Isola della Scala relative al periodo 3 settembre 2002 – 25 settembre 2002 .

