



Agenzia Regionale per la Prevenzione
e Protezione Ambientale del Veneto

Progetto TIARCO

**relazione tecnica sulle attività progettuali
AT02, AT03, AT04, AT05**

**valutazione dello stato di qualità dell'aria e
simulazione modellistica dell'inquinamento atmosferico
prodotto dal traffico stradale**

Realizzato a cura di:

ARPAV

Dipartimento Provinciale di Treviso

Ing. L. Tomiato (direttore)

Servizio Stato dell'Ambiente

dott.ssa M. Rosa (dirigente responsabile)

dott. M. Bressan

dott.ssa C. Iuzzolino

p.i. G. Pick

dott. F. Steffan

Unità Operativa Fisica Ambientale

dott. F. Andolfato (dirigente responsabile)

dott. M. Cecchinato

dott. S. Tubiana

Redatto da:

M. Rosa, M. Bressan



ARPAV
Agenzia Regionale per la Prevenzione
e Protezione Ambientale del Veneto

Direzione Generale

Via Matteotti, 27

35131 Padova

tel.: +39 049 82 39301

fax: +39 049 66 0966

e-mail: urp@arpa.veneto.it

www.arpa.veneto.it

Dipartimento Provinciale di Treviso

Via Santa Barbara, 5/a

31100 Treviso

tel.: +39 0422 558 515

fax: +39 0422 558 516

e-mail: daptv@arpa.veneto.it

Gennaio 2013

2013, ARPA VENETO

La presente relazione tecnica non può essere riprodotta parzialmente salvo l'approvazione scritta del Dipartimento ARPAV Provinciale di Treviso. La riproduzione del presente documento è consentita esclusivamente citando la fonte.

Indice

1. Premessa ed obiettivi	4
2. Presentazione e discussione dei risultati	5
2.1 Monitoraggio dello stato di qualità dell'aria (Via San Magno)	5
2.2 Le simulazioni modellistiche	22
2.2.1 Rilievo dei flussi di traffico (Via Camaldolesi)	22
2.2.2 Stima delle emissioni (Via Camaldolesi)	25
2.2.3 Il modello di dispersione degli inquinanti atmosferici	29
2.2.4 Valutazione stime modellistiche (Via Camaldolesi - Via San Magno)	33
2.2.5 Altre stime modellistiche (Via Verdi, Via Maggiore, Via Postumia)	42
3. Conclusioni	50
4. Riferimenti bibliografici	53
Appendice I. Normativa di riferimento sulla qualità dell'aria	I
Appendice II. Tavole di cartografia tematica	III

1. Premessa ed obiettivi

Il 15/02/2011 è stata sottoscritta una convenzione tra l'Amministrazione comunale di Oderzo e l'ARPAV per realizzare un progetto di durata biennale dal titolo "Traffico e Industria, Atmosfera e Rumore nel Comune di Oderzo" (presa d'atto con Determinazione n. 21 del 10/02/2011 del Dipartimento Provinciale ARPAV di Treviso).

L'obiettivo generale del progetto "Traffico e Industria, Atmosfera e Rumore nel Comune di Oderzo", che nel seguito della relazione sarà abbreviato in "TI-AR-CO", è fornire elementi decisionali all'Amministrazione comunale di Oderzo per definire le possibili azioni di risposta in grado di migliorare lo stato di qualità dell'ambiente atmosferico ed acustico in relazione alle fonti di pressione traffico veicolare ed insediamenti industriali.

Gli obiettivi specifici del progetto sono riconducibili all'individuazione ed alla quantificazione del contributo relativo del traffico veicolare e degli insediamenti industriali nel determinare lo stato di qualità dell'ambiente atmosferico ed acustico nel territorio del Comune di Oderzo. Le fonti di pressione considerate nell'ambito del progetto sono alcuni archi stradali a maggiore scorrimento ed alcuni insediamenti industriali 'critici' individuati dall'Amministrazione comunale di Oderzo.

Il presente documento riferisce sui risultati delle attività individuate con le sigle AT02, AT03, AT04, AT05 nella scheda tecnica allegata alla convenzione di progetto e che riguardano i seguenti aspetti di valutazione ambientale:

- rilievo in campo con radar a microonde, elaborazione e valutazione critica dei dati sui flussi di traffico veicolare (AT02, AT03);
- monitoraggio in campo con stazione mobile, elaborazione e valutazione critica dei dati di qualità dell'aria (AT04);
- stima modellistica delle emissioni e delle concentrazioni di inquinanti atmosferici prodotti dal traffico veicolare (AT05).

La relazione tecnica è strutturata nei seguenti capitoli e paragrafi:

- nel capitolo 2 sono presentati e discussi i risultati del monitoraggio dello stato di qualità dell'aria con stazione mobile (paragrafo 2.1), le simulazioni della catena modellistica che, a partire dal conteggio dei mezzi in transito (paragrafi 2.2.1 e 2.2.5), ha fornito la stima delle emissioni (paragrafo 2.2.2) e delle concentrazioni di inquinanti atmosferici prodotti dal traffico veicolare (paragrafi 2.2.3, 2.2.4 e 2.2.5);
- nel capitolo 3 sono riassunte le principali conclusioni dello studio che ha permesso la stima del contributo relativo del traffico veicolare nel determinare lo stato di qualità dell'aria lungo gli archi stradali e nelle zone ad essi adiacenti.
- in Appendice I è presentata una sintesi sulla normativa di riferimento in materia di qualità dell'aria;
- in Appendice II sono allegate le tavole di cartografia tematica sul posizionamento della stazione mobile di qualità dell'aria e dei radar a microonde per il conteggio del traffico e le mappe di concentrazione degli inquinanti atmosferici stimate da modello.

2. Presentazione e discussione dei risultati

In questo capitolo sono presentati e discussi i risultati dell'attività di monitoraggio in campo che, nel periodo compreso tra maggio 2011 e gennaio 2012, ha permesso l'acquisizione dei dati sui flussi di veicoli lungo 4 archi stradali e dello stato di qualità dell'aria presso un punto ubicato a bordo strada (*hot spot da traffico*).

Le quattro strade ed i relativi periodi in cui sono stati effettuati i rilievi dei flussi di traffico con strumentazione del tipo radar a microonde sono:

- Via Verdi (zona Centro, tra SP n. 15 e SR n. 53), dal 23/05/2011 al 31/05/2011;
- Via Maggiore (zona Piavon, SP n. 54), dal 01/07/2011 al 11/07/2011;
- Via Postumia (zona Centro, I Tronco SR n. 53), 21/09/2011 al 13/10/2011;
- Via Camaldolesi (zona Colfrancui, SP n. 49), dal 09/01/2012 al 23/01/2012.

Inoltre, dal 03/01/2012 al 23/01/2012, è stato effettuato il monitoraggio dello stato di qualità dell'aria con stazione mobile ubicata in Via San Magno (zona Colfrancui) con l'obiettivo di valutare, contemporaneamente al rilievo dei flussi di traffico lungo l'adiacente Via Camaldolesi, l'impatto ambientale prodotto dalle emissioni atmosferiche stradali.

In Tavola 1 (Appendice II) è presentata una cartografia tematica della zona di Colfrancui nel Comune di Oderzo dove sono stati contemporaneamente installati la stazione mobile per il monitoraggio dello stato di qualità dell'aria (in Via San Magno) ed i radar a microonde per il rilievo dei flussi di traffico (in Via Camaldolesi).

2.1 Monitoraggio dello stato di qualità dell'aria (Via San Magno)

L'obiettivo principale del monitoraggio con stazione mobile posizionata dal 03/01/2012 al 23/01/2012 in Via San Magno, è acquisire un sufficiente numero di osservazioni dello stato di qualità dell'aria per tarare la catena modellistica e confrontare i risultati di stima prodotti. Lo scopo finale è quantificare, rispetto ad alcuni inquinanti tipici (quali, ad esempio, ossidi di azoto, monossido di carbonio e polveri - in parte), il contributo delle emissioni atmosferiche prodotte dal traffico veicolare lungo Via Camaldolesi nel determinare lo stato di qualità dell'aria nell'adiacente zona di Via San Magno (cfr. Tavola 1 in Appendice II).

In sintesi, si tratta di verificare sperimentalmente, tramite l'utilizzo combinato di misure in campo e stime modellistiche, il peso relativo del traffico veicolare 'locale' rispetto a tutte le altre fonti di pressione che concorrono a determinare, tramite i processi chimico-fisici e meteorologici dell'atmosfera, i livelli ambientali medi dei più comuni inquinati.

Per quanto sopra riferito è evidente che il monitoraggio con stazione mobile in Via San Magno, effettuato per complessivi 20 giorni (dal 03/01/2012 al 23/01/2012), non è propriamente utilizzabile per una completa ed esaustiva valutazione dello stato di qualità dell'aria nel Comune di Oderzo, secondo quanto stabilito dagli standard normativi di settore (DLgs. 155/210). Queste limitazioni sono riconducibili sia al breve intervallo temporale (cioè al numero minimo di campioni effettivamente disponibili), che alla ridotta rappresentatività spaziale (il monitoraggio è effettuato in una posizione *hot spot* da traffico veicolare), nonché alla tipologia degli inquinanti monitorati (la valutazione di inquinati come, ad esempio, il benzene, i metalli e gli idrocarburi

poli ciclici aromatici, è definita dal punto di vista normativo solo per il medio-lungo termine, cioè come media annuale).

Per una più completa e rappresentativa valutazione della conformità normativa dello stato di qualità dell'aria nel Comune di Oderzo si rimanda a quanto già pubblicato in precedenti rapporti tecnici ARPAV che riferiscono sui risultati di campagne periodiche di monitoraggio effettuate nel periodo dal 2002 al 2006 su specifica richiesta dell'Amministrazione comunale (ARPAV, 2006).

In Tabella 1 sono riportate le principali statistiche descrittive degli inquinanti atmosferici monitorati in Via San Magno nel periodo dal 03/01/2012 al 23/01/2012. Le concentrazioni degli inquinanti riportati in Tabella 1 definiscono un 'profilo medio' di qualità dell'aria che, considerata la rilevante eccezione delle polveri fini (PM₁₀), su cui si riferirà in seguito con maggiore dettaglio, non presenta particolari criticità rispetto agli standard normativi di settore (cfr. Appendice I).

statistiche descrittive	NO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO _x ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO (mg/m^3)	O ₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	C ₆ H ₆ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
n. campioni	465 ^(*)	465 ^(*)	465 ^(*)	464 ^(*)	473 ^(*)	468 ^(*)	20 ^(**)	3 ^(***)
media	102.9	57.8	215.3	4.2	0.4	13.2	91.9	2.2
min	0.9	8.6	11.5	0.0	0.0	2.5	30.0	1.9
max	445.1	154.5	813.9	19.8	1.9	60.4	135.0	2.6
mediana	78.0	54.5	177.2	3.2	0.4	11.3	91.5	-
25° percentile	38.4	41.0	101.8	0.1	0.1	8.6	72.5	-
75° percentile	145.7	69.4	288.4	7.1	0.7	14.2	108.8	-
98° percentile	347.4	124.7	644.3	14.2	1.4	40.6	129.3	-
max media 24h	191.8	74.1	367.4	8.1	1.0	26.0	-	-
max media mobile 8h	305.4	104.7	536.5	12.5	1.5	35.3	-	-
n. sup. 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	-	-	-	-	19	-

note:

(*) medie orarie (1h)

(**) medie giornaliere (24 h)

(***) medie settimanali con campionatori passivi

Tabella 1 Statistiche descrittive dei parametri di qualità dell'aria monitorati dal 03/01/2012 al 23/01/2012 con stazione mobile posizionata in Via San Magno (zona Colfrancui nel Comune di Oderzo - cfr. Tavola 1 in Appendice II).

Ad eccezione delle polveri fini (PM₁₀), tutti gli altri inquinanti sono risultati significativamente inferiori alle soglie previste dai parametri normativi a breve termine. Per le polveri fini (PM₁₀), il sistematico superamento dei limiti a breve termine (19 superamenti su 20 campioni del limite giornaliero di 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) è rappresentativo di una criticità ambientale che, nel periodo 'invernale', è una caratteristica pressoché comune a tutte le principali aree antropizzate della Pianura Padana (criticità che risulta ulteriormente acuita nelle posizioni di *hot spot* da traffico). C'è, inoltre, da rilevare che l'inquinamento da polveri fini ed ultrafini, come più volte ribadito in numerosi documenti tecnico-scientifici, poiché determinato da un inquinante con una forte componente secondaria è solo limitatamente riconducibile al contributo delle fonti di pressione locale.

In Figura 1 è rappresentato l'andamento delle medie giornaliere, monitorate dal 03/01/2012 al 23/01/2012 con stazione mobile posizionata in Via San Magno e per confronto nello stesso periodo presso la vicina stazione fissa di Mansuè (nel Comune di Mansuè, a circa 6 km in direzione Nord). Dal grafico risulta evidente un andamento medio giornaliero che tra le due stazioni di misura risulta quasi perfettamente 'allineato e coerente' nei valori massimi e minimi (anche se caratterizzato da differenti valori assoluti). Nel grafico è stata indicata anche la differenza giornaliera media (con la linea verde) tra la stazione di Oderzo e di Mansuè che

permette di apprezzare lo 'scarto' tra i due siti di misura, mediamente quantificabile in circa 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (scarto massimo assoluto inferiore a 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), con valori di concentrazione delle polveri sistematicamente più alti presso in Via San Magno. L'unica significativa eccezione riguarda il giorno 06/01/2012 (Epifania), in cui i livelli medi presso la stazione di Mansuè (di fondo rurale) sono risultati sensibilmente superiori ai corrispondenti valori registrati dalla stazione mobile in Via San Magno ad Oderzo (di traffico); questa 'anomalia' è molto probabilmente da ricondurre agli effetti ambientali dei tradizionali fuochi ('falò della vecia' o 'panevin') che sono particolarmente diffusi in tutto il territorio trevigiano (e che risultano generalmente più evidenti nelle aree rurali rispetto a quelle urbanizzate).

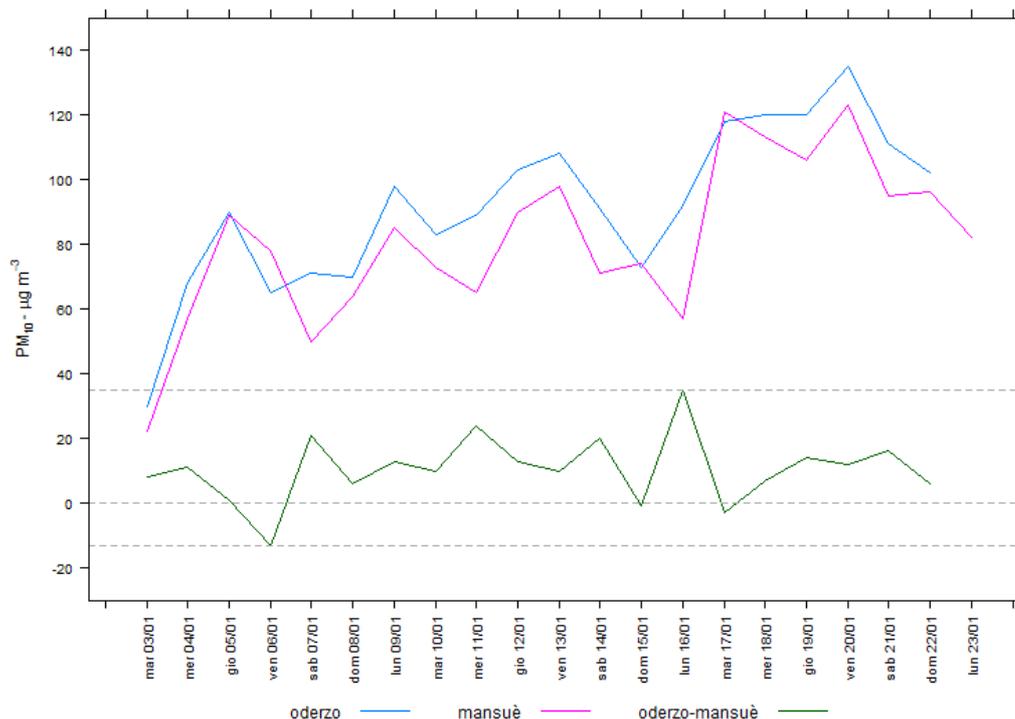


Figura 1 Concentrazioni medie giornaliere di PM10 monitorate dal 03/01/2012 al 23/01/2012 presso la stazione mobile posizionata in Via San Magno nel Comune di Oderzo (in azzurro) e per confronto presso la stazione fissa di Mansuè ubicata a circa 6 km in direzione Nord (in violetto); nel grafico è riportata anche la differenza tra la concentrazione media giornaliera di Oderzo e di Mansuè (in verde).

Lo scarto di concentrazione tra la stazione mobile di Oderzo (in Via San Magno) e la vicina stazione fissa di Mansuè riferisce indirettamente, considerate tutte le approssimazioni dovute all'interpretazione di un sistema complesso caratterizzato da molteplici fattori confondenti, sull'effetto delle fonti di pressione 'locali' nel determinare lo stato di qualità dell'aria. Il significato e l'interpretazione ambientale dello scarto di concentrazione tra la stazione di Oderzo e di Mansuè è da ricondurre, anche se in modo non univocamente determinabile, ai possibili effetti del traffico veicolare 'locale'. E' altrettanto evidente che questo semplicissimo tentativo di *source apportionment*¹ rende conto di una frazione limitata delle concentrazioni ambientali degli

¹ varie metodiche di stima obiettiva e/o modellistica che stimano gli effetti ambientali delle sorgenti di emissione sullo stato di qualità dell'aria.

inquinanti potenzialmente riconducibili all'impatto delle fonti di pressione 'locali'.

In Figura 2 è rappresentata una sintesi grafica dell'andamento delle medie orarie degli inquinanti ossidi di azoto (NO, NO₂, NO_x), monossido di carbonio (CO), biossido di zolfo (SO₂) ed ozono (O₃) monitorati con stazione mobile posizionata in Via San Magno dal 03/01/2012 al 23/01/2012 (la rappresentazione grafica dei livelli medi orari normalizzati rispetto alla media di periodo permette di apprezzare meglio l'andamento temporale relativo dei vari inquinanti).

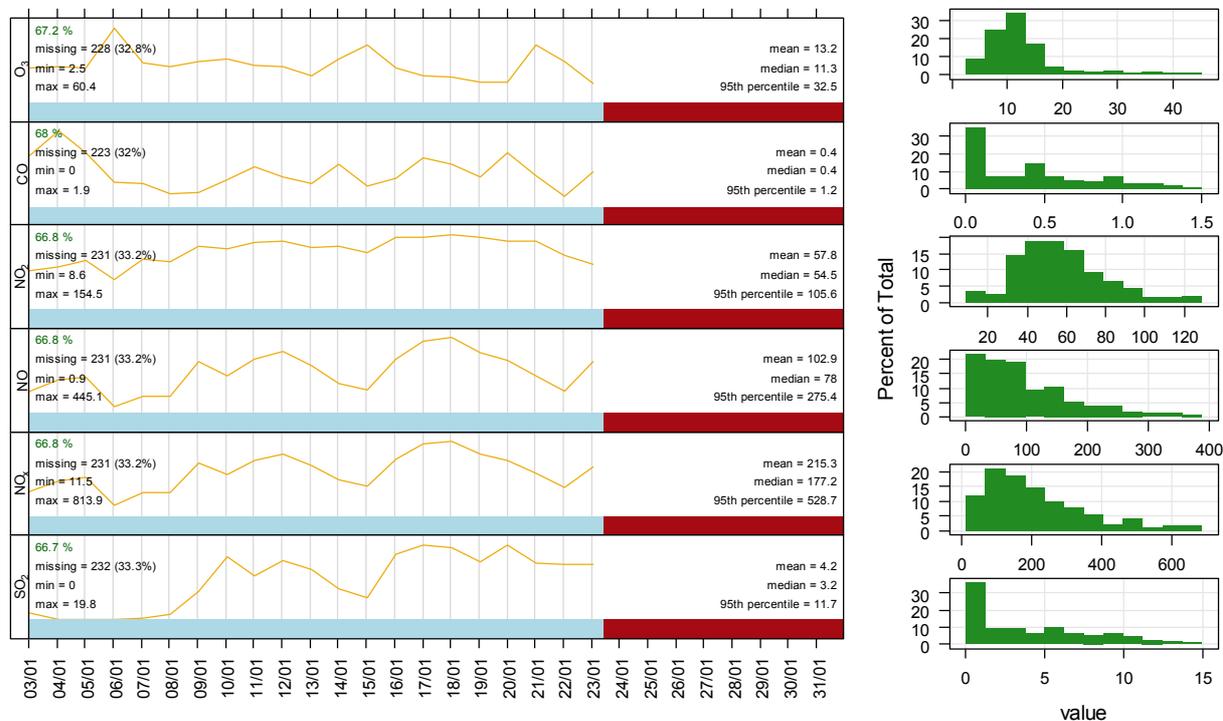


Figura 2 Livelli normalizzati degli inquinanti atmosferici monitorati con frequenza oraria dal 03/01/2012 al 23/01/2012 in Via San Magno (zona Colfrancui) nel Comune di Oderzo); sono riportate le percentuali di raccolta dati rispetto al 'massimo teorico' del mese di gennaio (da notare che l'elevato numero di dati mancanti è da ricondurre all'effettiva durata del monitoraggio e non ad eventuali malfunzionamenti strumentali), il valore minimo ed il massimo, la media e la mediana; gli istogrammi a destra rappresentano la distribuzione di frequenza dei valori di concentrazione monitorati per ciascun inquinante.

E' evidente per gli inquinanti più strettamente legati ai flussi di traffico, in particolare per gli ossidi di azoto, un sensibile incremento dei livelli ambientali medi a partire da lunedì 09/01/2012, in coincidenza con il termine delle festività (capodanno ed epifania) e la ripresa della 'normale' attività lavorativa. Queste considerazioni risulteranno più evidenti e saranno discusse con maggiore dettaglio nel paragrafo 2.2.1 sulla valutazione dei flussi di traffico veicolare lungo Via Camaldolesi. Per ora è sufficiente individuare in prima approssimazione alcuni elementi di specificità del monitoraggio in Via San Magno che sono molto probabilmente riconducibili, solo per alcuni specifici inquinanti (ad esempio, per la 'componente primaria'² degli ossidi di azoto) e

2 per ossidi di azoto (NO_x) si intende la somma di monossido di azoto (NO), tipico inquinante primario, e di biossido di azoto (NO₂), con componente 'primaria' e 'secondaria'; per la definizione di 'inquinante primario' e 'inquinante secondario' si rimanda rispettivamente alle note 3 e 6;

solo per ben determinati intervalli temporali, ai flussi di traffico veicolare che transitano lungo Via Camaldolesi (nel tratto della SP n. 49 compreso tra le rotatorie di Via Masotti a Nord-Est e di Viale San Pio X a Sud-Ovest).

Focalizzando l'attenzione sull'andamento delle concentrazioni orarie degli inquinanti che sono più strettamente correlabili al traffico veicolare (e, quindi, escludendo l'ozono) si nota che, fatta eccezione per il monossido di carbonio (CO), sia gli ossidi di azoto (NO, NO₂, NO_x), che il biossido di zolfo (SO₂), evidenziano un sensibile incremento a partire dal 09/01/2012 (cfr. curva di 'lisciamiento' dei dati sovrainposta ai livelli orari riportati in Figura 3). Inoltre, tutti gli inquinanti, incluso il monossido di carbonio (CO), evidenziano una spiccata ciclicità e dipendenza temporale dei livelli di concentrazione che è probabilmente da ricondurre alle variazioni giornaliere (00-23) e settimanali (lun-dom) delle emissioni che hanno un possibile, ancorchè limitato e non esclusivo, effetto sulla qualità dell'aria 'locale'. Invece, risulta di più difficile interpretazione il trend del monossido di carbonio (CO) che, essendo un inquinante tipicamente primario³ dovrebbe, almeno in linea teorica, evidenziare un *pattern* sostanzialmente simile a quello degli ossidi di azoto (in particolare NO), ed invece, dal 09/01/2012, mostra un sensibile decremento delle concentrazioni medie (Figura 3).

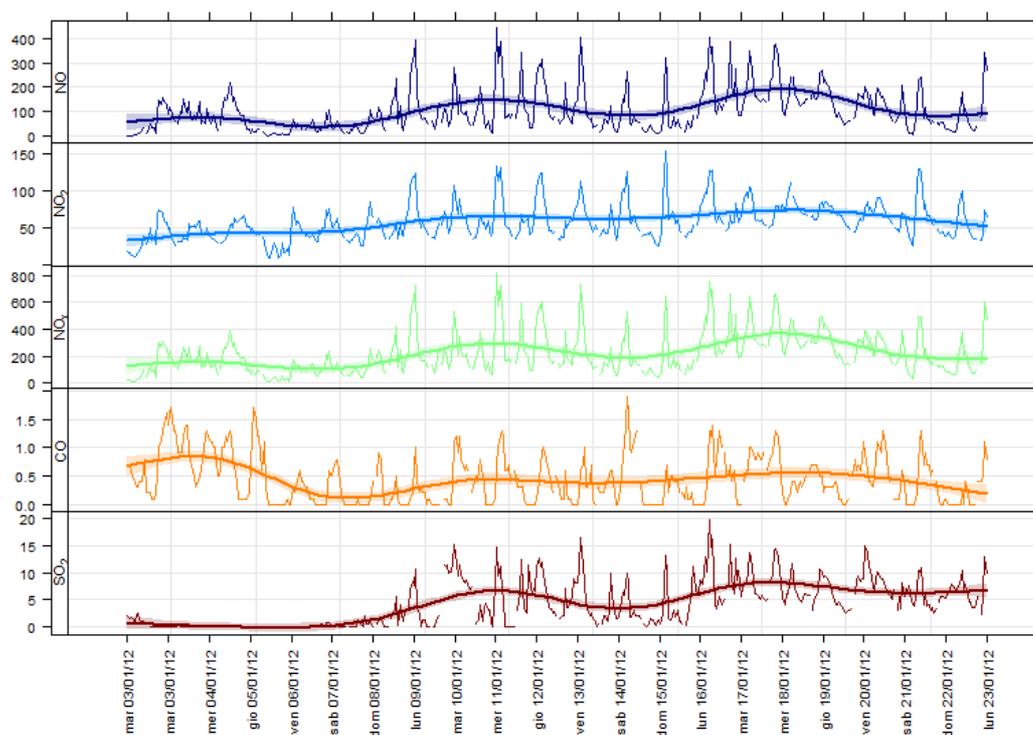


Figura 3 Andamento temporale delle medie orarie di ossidi di azoto (NO, NO₂, NO_x), monossido di carbonio (CO) e biossido di zolfo (SO₂) monitorati con stazione mobile posizionata dal 03/01/2012 al 23/01/2012 in Via San Magno nel Comune di Oderzo; le concentrazioni degli inquinanti sono sempre espresse in µg/m³ fatta eccezione per il monossido di carbonio (CO) che viene espresso in mg/m³.

³ con il termine 'inquinante primario' si intende un inquinante emesso direttamente in atmosfera senza subire alcuna modificazione chimico-fisica (nel breve periodo).

Con l'obiettivo di valutare in maggiore dettaglio l'andamento dei livelli ambientali degli inquinanti monitorati dal 09/01/2012 al 23/01/2012 in Via San Magno⁴ in relazione ai *pattern* temporali orari, giornalieri e/o settimanali, nei grafici in Figura 4, Figura 5 e Figura 6 sono rappresentati per gli ossidi di azoto (NO, NO₂, NO_x), il monossido di carbonio (CO) ed il biossido di zolfo (SO₂), i valori medi stratificati per giorno tipo della settimana (media 1h: 0-23, da lunedì a domenica), del giorno medio della settimana (media 24h: da lunedì a domenica) e del giorno tipo (media 1h: 0-23). In tutti i grafici seguenti, e analogamente in tutti i successivi grafici della presente relazione, la fascia colorata che contorna la corrispondente linea rappresenta i limiti di confidenza (al 95%) del valore medio.

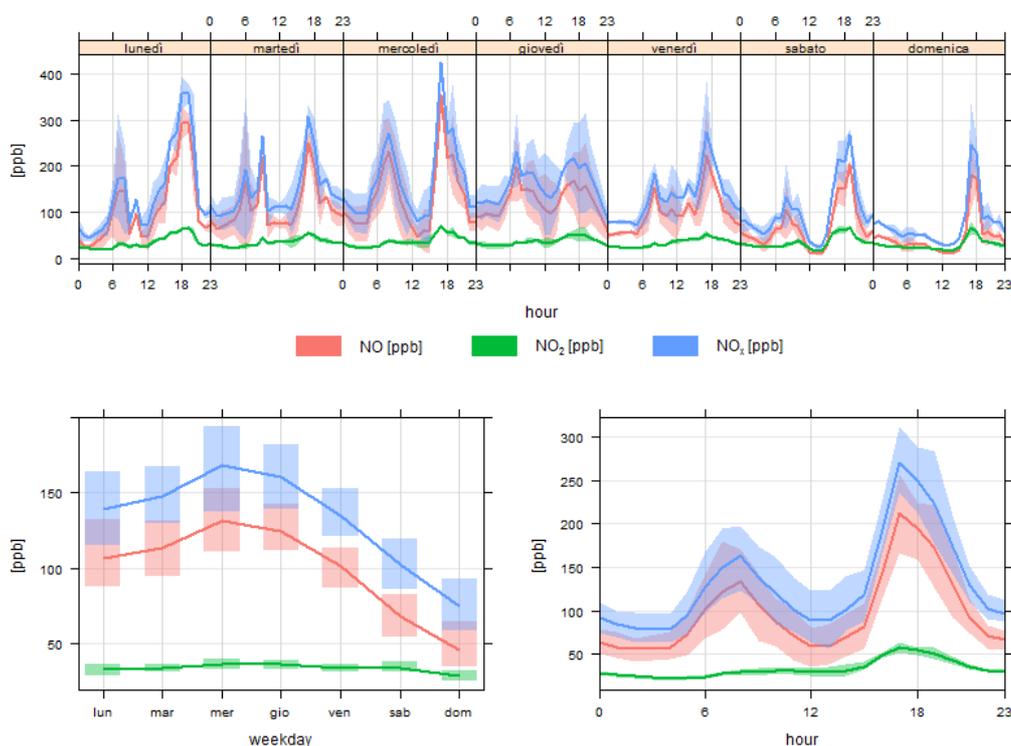


Figura 4 Ossidi di azoto (NO, NO₂, NO_x) livelli di concentrazione medi stratificati per giorno tipo della settimana (in alto), giorno medio della settimana (in basso a sinistra) e giorno tipo (in basso a destra) in Via San Magno nel Comune di Oderzo.

Nel grafico in Figura 4 risultano evidenti per gli ossidi di azoto (NO, NO₂, NO_x), nei giorni feriali (dal lunedì al venerdì), due tipici picchi di concentrazione: uno di minore entità, al mattino, nell'intervallo compreso tra le ore 8.00 e le ore 9.00 circa, e l'altro, di maggiore entità, nel pomeriggio, dalle 17.00 alle 18.00 circa. Nel periodo compreso tra le ore 12.00 e le 13.00 circa, si nota una stabilizzazione o lieve incremento dei valori di concentrazione⁵. Al sabato, il picco mattutino tende a diminuire significativamente (con uno spostamento temporale in avanti di circa

⁴ il periodo dal 09/01/2012 al 23/01/2012 corrisponde al monitoraggio dei flussi di traffico con radar a microonde effettuato lungo Via Camaldolesi, in zona Colfrancui, nel tratto della SP n. 49 compreso tra le rotonde di Via Masotti a Nord-Est e di Viale San Pio X a Sud-Ovest (cfr. paragrafo 2.2.1).

⁵ come sarà descritto con maggiore dettaglio nel paragrafo 2.2.1, questo andamento è da mettere in stretta relazione con il periodo di 'morbida' dei flussi di traffico lungo Via Camaldolesi.

1h, verso le 10.00 circa), fino a quasi scomparire la domenica. Nella fine settimana (sabato e domenica), il picco pomeridiano persiste con un leggero spostamento in avanti nel tempo (di circa 1h). Per quanto riguarda i valori assoluti di concentrazione degli ossidi di azoto (NO , NO_2 , NO_x), nella fine settimana (sabato e domenica) i livelli medi si riducono a circa un terzo di quelli registrati nei giorni feriali (dal lunedì al venerdì). I valori di concentrazione nelle ore notturne, dalle 22.00 alle 6.00, registrano una significativa diminuzione rispetto alle massime del pomeriggio. Il biossido di azoto (NO_2), un inquinante con una significativa componente 'secondaria'⁶, tende a formarsi in quantità significative solo nel tardo pomeriggio, raggiungendo il massimo (50 ppb, circa $95 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verso le ore 18.00 circa (Figura 4, giorno tipo della settimana - grafico in alto - e giorno tipo - grafico in basso a destra). Le concentrazioni giornaliere di NO_2 (Figura 4, giorno medio della settimana) si attestano sempre su valori piuttosto contenuti (25 ppb, circa $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e, quindi, si può affermare con un sufficiente grado di robustezza che gli ossidi di azoto totali (NO_x espressi come somma di NO e NO_2) monitorati in Via San Magno, sono quasi completamente costituiti da NO , cioè un inquinante 'primario' con una tipica e ben riconoscibile correlazione con le sorgenti di emissione (nello specifico, il traffico lungo Via Camaldolesi).

Nei due grafici seguenti, per il monossido di carbonio (CO , Figura 5) e per il biossido di zolfo (SO_2 , Figura 6), sono presentati i valori medi stratificati per giorno tipo della settimana (media 1h: 0-23, da lunedì a domenica), del giorno medio della settimana (media 24h: da lunedì a domenica) e del giorno tipo (media 1h: 0-23).

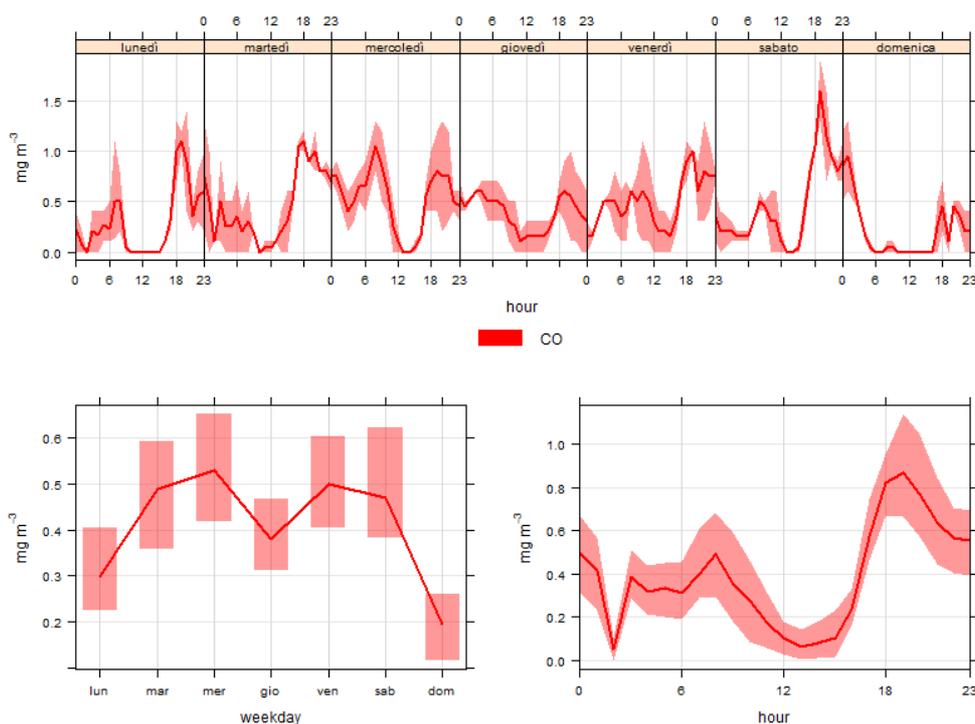


Figura 5 Monossido di carbonio (CO) livelli di concentrazione medi stratificati per giorno tipo della settimana (in alto), giorno medio della settimana (in basso a sinistra) e giorno tipo (in basso a destra) in Via San Magno nel Comune di Oderzo.

⁶ per inquinanti secondari si intendono tutti quelli che si formano a seguito di reazioni chimico-fisiche tra le varie sostanze presenti in atmosfera; gli ossidi di azoto e l'ozono da smog fotochimico sono un tipico esempio di inquinanti secondari.

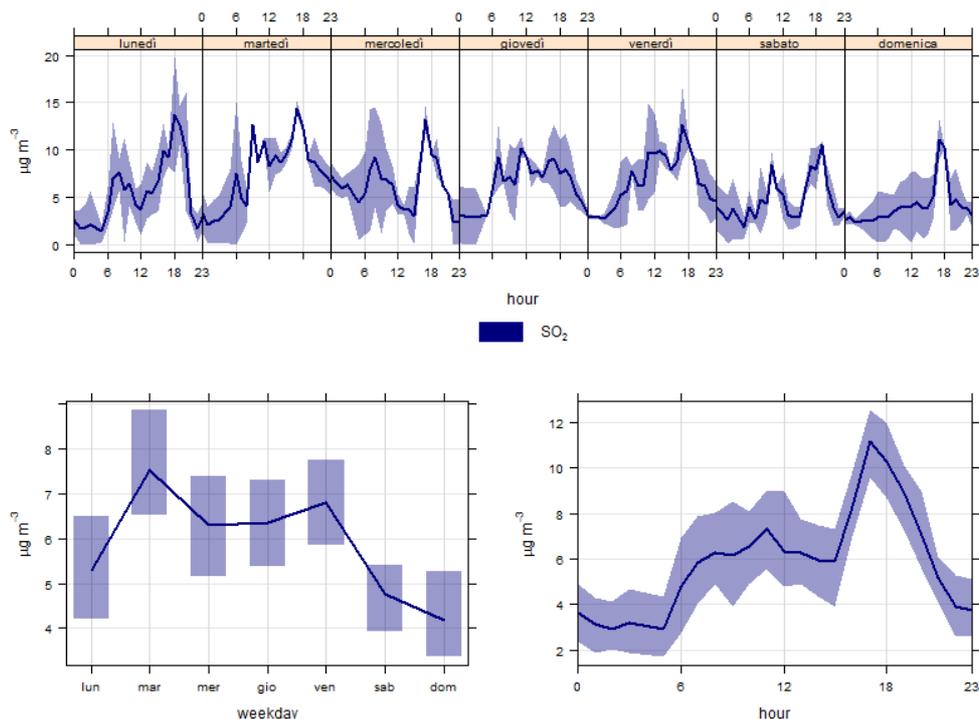


Figura 6 Biossido di zolfo (SO₂) livelli di concentrazione medi stratificati per giorno tipo della settimana (in alto), giorno medio della settimana (in basso a sinistra) e giorno tipo (in basso a destra) in Via San Magno nel Comune di Oderzo.

Per il monossido di carbonio (CO, Figura 5) valgono, almeno in parte, le considerazioni già viste sui due picchi di concentrazione (al mattino ed al pomeriggio) nei giorni feriali, dal lunedì al venerdì: in questo caso però, il *pattern* tipico di un inquinante da traffico risulta meno evidente poiché i picchi sono meno distintamente riconoscibili rispetto al caso degli ossidi di azoto. E' evidente, invece, un picco relativo nel periodo notturno, dalle ore 23.00 alle ore 00.00, che risulta più marcato nei giorni della fine settimana: venerdì, sabato, e domenica (Figura 5, giorno tipo della settimana).

Per il biossido di zolfo (SO₂, Figura 6), valgono considerazioni analoghe a quanto già visto per gli ossidi di azoto e per il monossido di carbonio (rispetto a quest'ultimo inquinante va fatta un'eccezione per il picco nel periodo notturno che nel caso del biossido di zolfo non è così distintamente riconoscibile). Anche in questo caso c'è da rilevare che per il biossido di zolfo (SO₂), il *pattern* temporale tipico di un inquinante 'da traffico' non appare completamente e facilmente riconoscibile.

Con l'obiettivo di approfondire l'interpretazione dello stato di qualità dell'aria in relazione ai *pattern* temporali ed alle possibili differenti sorgenti di emissione, sono stati elaborati⁷ i grafici in Figura 7, Figura 8 e Figura 10.

In Figura 7 sono riprodotte, in un grafico in coordinate polari ('*polar plot*'), le concentrazioni

⁷ con il pacchetto 'openair', specificamente dedicato all'analisi, alla valutazione ed alla rappresentazione grafica dei dati di qualità dell'aria (Carslaw and Ropkins, 2012, a, b), implementato nel linguaggio e nell'ambiente statistico R (R Development Core Team, 2012; URL <http://www.r-project.org/>).

medie orarie (normalizzate rispetto alla media)⁸ di ossidi di azoto (NO, NO₂, NO_x), biossido di zolfo (SO₂) monossido di carbonio (CO), ed ozono (O₃). Il grafico polare è un sistema di coordinate bidimensionali in cui ogni punto del piano è univocamente individuato dalla distanza rispetto ad un punto fisso e dall'angolo rispetto ad una direzione di riferimento prefissata⁹. La coordinata radiale misura la velocità del vento (m/s), l'angolo polare individua la direzione del vento (gradi Nord) mentre nel piano sono riprodotte le concentrazioni (normalizzate rispetto alla media), la cui intensità relativa va riferita alla chiave della legenda con un gradiente di colore dal blu al rosso (Figura 7, in basso). L'obiettivo dei grafici in Figura 7 è valutare le concentrazioni degli inquinanti in relazione a due variabili 'condizionali': velocità e direzione del vento. Con la sola eccezione dell'ozono (O₃), i valori più alti di concentrazione degli inquinanti si registrano in condizioni di calma di vento (<0.5 m/s) o di intensità del vento debole (<1 m/s); questa considerazione che dal punto di vista ambientale è per certi aspetti ovvia riferisce, altresì, in modo significativo sulla possibilità che le relative sorgenti di emissione siano riferibili ad una scala spaziale 'locale'. In altri termini, contrariamente a quanto evidente per l'ozono (O₃, Figura 7 in basso a destra)¹⁰, per tutti gli altri inquinanti è possibile almeno escludere il significativo effetto dovuto a sorgenti di emissione 'esterne' all'area oggetto di studio, anche se questo non implica necessariamente che le sorgenti coincidano *esclusivamente* con i flussi di traffico veicolare locali (e questo risulta particolarmente vero per gli inquinanti di tipo secondario). In altri termini, i grafici in Figura 7 supportano l'evidenza che il monitoraggio con stazione mobile rende conto delle concentrazioni ambientali di inquinanti atmosferici che vengono emessi da fonti di pressione e relative sorgenti di emissione a prevalente carattere 'locale' (che è appunto il motivo per cui è stato effettuato il monitoraggio della qualità dell'aria in Via San Magno ed, in termini più generali, l'obiettivo per cui è stato elaborato il progetto "TI-AR-CO").

Nei grafici in Figura 8 sono rappresentate le concentrazioni medie orarie (normalizzate rispetto alla media) di ossidi di azoto (NO, NO₂, NO_x), biossido di zolfo (SO₂), monossido di carbonio (CO), ed ozono (O₃). In questo caso si tratta di grafici polari a corona circolare ('*polar annulus*') che hanno l'obiettivo di valutare le concentrazioni degli inquinanti in relazione a due differenti variabili condizionali: direzione del vento ed ora del giorno. La parte più interna della corona circolare (raggio minore) coincide con l'inizio giornata (ore 0), mentre quella più esterna (raggio maggiore) con la fine (ore 23); gli altri segni di gradazione (raggi intermedi) indicano rispettivamente le ore 4, 8, 12, 16 e 20. Analogamente al grafico precedente, l'angolo polare individua la direzione di provenienza del vento (gradi Nord) mentre nel piano sono rappresentate le concentrazioni medie orarie di inquinante (normalizzate rispetto alla media) secondo valori di intensità relativa da riferire alla chiave della legenda con un gradiente di colore dal blu al rosso (Figura 8, in basso).

Considerando attentamente i grafici in Figura 8 è possibile riconoscere alcuni elementi di specificità caratteristici:

8 la normalizzazione rispetto alla media ha l'obiettivo di rendere efficacemente comparabili, rispetto ad un'unica scala di riferimento, le concentrazioni ambientali di inquinanti caratterizzati da valori significativamente differenti espressi come unità di peso su volume (ad esempio, mg/m³ o µg/m³).

9 il punto fisso (analogo all'origine di un sistema di assi cartesiani) è detto polo, il raggio dal polo verso una direzione prefissata è detto asse polare, la distanza dal polo al punto nel piano è detta coordinata radiale (raggio) mentre l'angolo è la coordinata angolare (angolo polare o azimuth).

10 nonostante il periodo 'invernale' non sia il più significativo per questo tipo di considerazioni, il riscontro sperimentale sui dati di monitoraggio che la formazione di ozono (O₃, inquinante secondario) ha origine da un'area 'vasta' e quindi non esclusivamente riconducibile ad una specifica sorgente di emissione trova una significativa conferma nella teoria generale dell'inquinamento atmosferico.

- per gli ossidi di azoto (NO, NO₂, NO_x), i valori più alti di concentrazione sono riferiti all'intervallo orario tra le 16 e le 20, con una direzione di provenienza del vento da Nord-Est e, in misura minore rispetto al precedente, all'intervallo orario tra le 8 e le 16, con vento di provenienza da Sud-Sud-Ovest;
- per il biossido di zolfo (SO₂), i valori più alti di concentrazione si verificano tra le ore 16 e le ore 20 con una direzione di provenienza del vento da SudOvest-Ovest e, tra le ore 20 e le ore 23 con vento di provenienza da Est (in misura minore rispetto al precedente);
- per il monossido di carbonio (CO), i valori più alti di concentrazione si registrano tra le ore 20 e le ore 23, con direzione di provenienza del vento da Ovest (e più in generale da tutti i quadranti posti ad Ovest);
- per l'ozono (O₃), le maggiori concentrazioni, tra le 12 e le 16, corrispondono ad una direzione di provenienza del vento da Ovest (e più in generale da tutti i quadranti posti ad Ovest).

Per gli ossidi di azoto (NO, NO₂, NO_x), è particolarmente significativo che le massime concentrazioni si verificano in corrispondenza di una direzione di provenienza del vento che risulta allineata con l'orientamento dell'asse stradale (Tavola 1, Appendice II) e coincide con gli intervalli orari in cui si verificano due picchi (al mattino ed al pomeriggio) dei flussi di traffico (grafico in Figura 4 e discussione nei paragrafi 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3).

Le concentrazioni di biossido di zolfo (SO₂), sono caratterizzate sia dal *pattern* di distribuzione 'spaziale' e 'temporale' evidenziato per gli ossidi di azoto, con un picco pomeridiano nell'intervallo orario tra le 16 e le 20 con vento di provenienza da Sud-Sud-Ovest, che da un caratteristico e più elevato valore di concentrazione nell'intervallo tra le 20 e le 23 con vento di provenienza da Est (le cui cause determinanti non sono però chiaramente individuabili).

Il monossido di carbonio (CO), è un inquinante primario che, a differenza di quanto ci si può attendere in linea teorica, risulta difficilmente correlabile in modo esclusivo ai flussi di traffico veicolare. C'è, infatti, da considerare che concentrazioni elevate si verificano anche nel periodo notturno tra le ore 20 e le 23, quindi non direttamente riconducibili ai tipici intervalli orari di punta del traffico, e per direzioni di provenienza del vento da Ovest, che sono quasi perpendicolari all'orientamento dell'asse stradale di Via Camaldolesi.

L'ozono (O₃), mostra il *pattern* tipico di un inquinante secondario che raggiunge le massime concentrazioni nelle ore centrali del giorno (dalle 12 alle 16); è però evidente che ulteriori più approfondite valutazioni non sono possibili anche in considerazione del periodo 'invernale' in cui è stato effettuato il monitoraggio (in Via San Magno dal 09/01/2012 al 23/01/2012 sono state registrate temperature medie giornaliere piuttosto rigide: min -2.9 °C, media 1.2 °C, max 7.5 °C).

In Figura 9 sono presentati i grafici polari per gli ossidi di azoto (NO, NO₂, NO_x), il biossido di zolfo (SO₂), il monossido di carbonio (CO), e l'ozono (O₃) delle concentrazioni medie 'pesate' in funzione della direzione di provenienza e della velocità del vento. Sul piano polare ciascun settore circolare¹¹ individua il relativo contributo percentuale rispetto media complessiva di periodo (i valori di intensità sono riferiti alla chiave della legenda con un gradiente di colore dal blu al rosso). Dai grafici si rileva che per tutti gli inquinanti circa il 50% della media di periodo è determinata dagli intervalli di provenienza del vento da Sud-Ovest e Nord-Ovest (Tabella 2).

Dai dati riportati in Tabella 2 risulta che, in particolare per gli ossidi di azoto (NO, NO₂, NO_x), il

¹¹ intersezione tra l'intervallo di direzione del vento di ampiezza 10 gradi e la relativa velocità del vento misurata lungo l'asse polare con intervalli di 0.5 m/s.

biossido di zolfo (SO₂), il monossido di carbonio (CO) ed, in misura minore per l'ozono (O₃), le direzioni di provenienza del vento da Sud-Ovest (30° di intervallo tra 190° e 220° Nord) registrano concentrazioni che contribuiscono complessivamente per circa un terzo alla media di periodo. Estendendo la valutazione all'altra direzione del vento prevalente (da Nord-Ovest, tra 300° e 330° Nord), si rileva una spiccata e ben definita 'polarizzazione' per cui un intervallo discontinuo di 60° di provenienza del vento determina circa la metà percentuale della media di periodo di ciascun inquinante.

direzione di provenienza del vento (gradi Nord)	ampiezza (gradi)	NO	NO₂	NO_x	SO₂	CO	O₃
Sud-Ovest (190÷220 °N)	30	36%	29%	34%	32%	34%	20%
Nord-Ovest (300÷330 °N)	30	16%	20%	17%	15%	24%	21%
Altre direzioni	300	48%	51%	49%	53%	42%	59%
Totale	360	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tabella 2 Ripartizione percentuale delle concentrazioni di inquinanti monitorati in Via San Magno rispetto alla media complessiva di periodo (dal 09/01/2012 al 23/01/2012) in funzione di specifici intervalli di direzione di provenienza del vento.

Infine, in Figura 10 sono rappresentate le rose dell'inquinamento che mettono in relazione la concentrazione media oraria rispetto alla direzione di provenienza del vento misurata dalla stazione mobile ubicata in Via San Magno.

In particolare, per gli ossidi di azoto (NO, NO₂, NO_x), ed in modo meno evidente sia per il biossido di zolfo (SO₂) che per il monossido di carbonio (CO), è ben riconoscibile che i valori più elevati di concentrazione risentono di un possibile 'effetto strada' (con orientazione Nord-Est, Sud-Ovest). Per il biossido di zolfo (SO₂) e per il monossido di carbonio (CO) sembrano, invece, sommarsi i possibili effetti derivanti da altre fonti di pressione, così come per l'ozono (O₃) che mostra, come ampiamente prevedibile, una 'correlazione' più netta con altre direzioni prevalenti del vento e, quindi, diverse ed ulteriori possibili fonti di pressione e meccanismi di formazione.

Tutte queste considerazioni saranno riprese con maggiore dettaglio nei successivi paragrafi 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3, dedicati rispettivamente alla stima dei flussi di veicoli, delle emissioni e della dispersione degli inquinanti atmosferici prodotti dal traffico stradale.

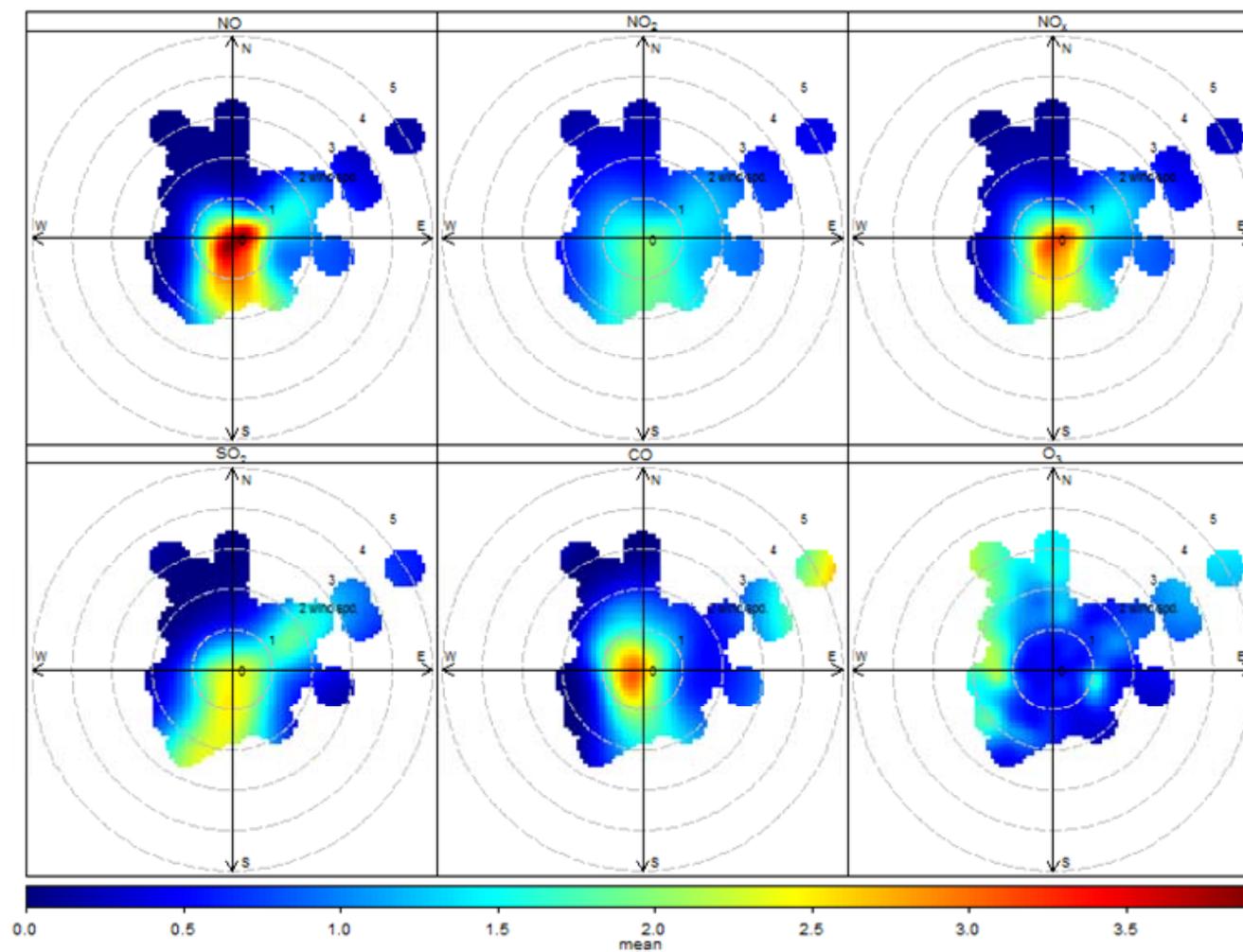


Figura 7 'Polar plot', grafico polare delle concentrazioni medie orarie normalizzate (rispetto alla media) di ossidi di azoto (NO, NO₂, NO_x), monossido di carbonio (CO), biossido di zolfo (SO₂), ozono (O₃) in Via San Magno nel Comune di Oderzo: il raggio misura la velocità del vento lungo l'asse polare (0-5 m/s) mentre l'angolo la direzione di provenienza del vento (in gradi Nord).

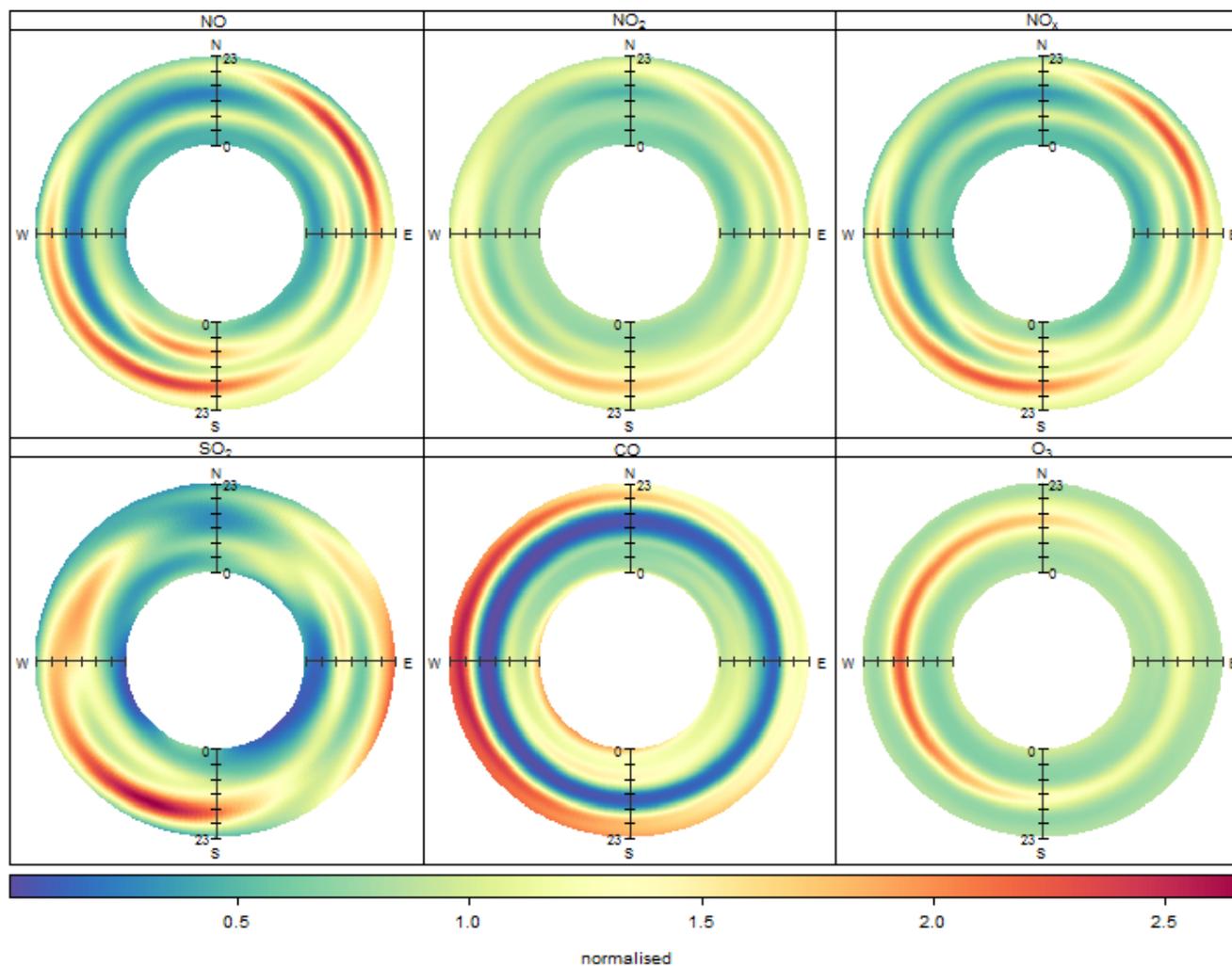


Figura 8 'Polar annulus', grafico polare a corona circolare delle concentrazioni medie orarie normalizzate (rispetto alla media) di ossidi di azoto (NO, NO₂, NO_x), monossido di carbonio (CO), biossido di zolfo (SO₂), ozono (O₃) in Via San Magno nel Comune di Oderzo; l'asse radiale (differenza tra raggio minore e maggiore) indica le ore del giorno (0-23) e l'angolo la direzione di provenienza del vento (in gradi Nord).

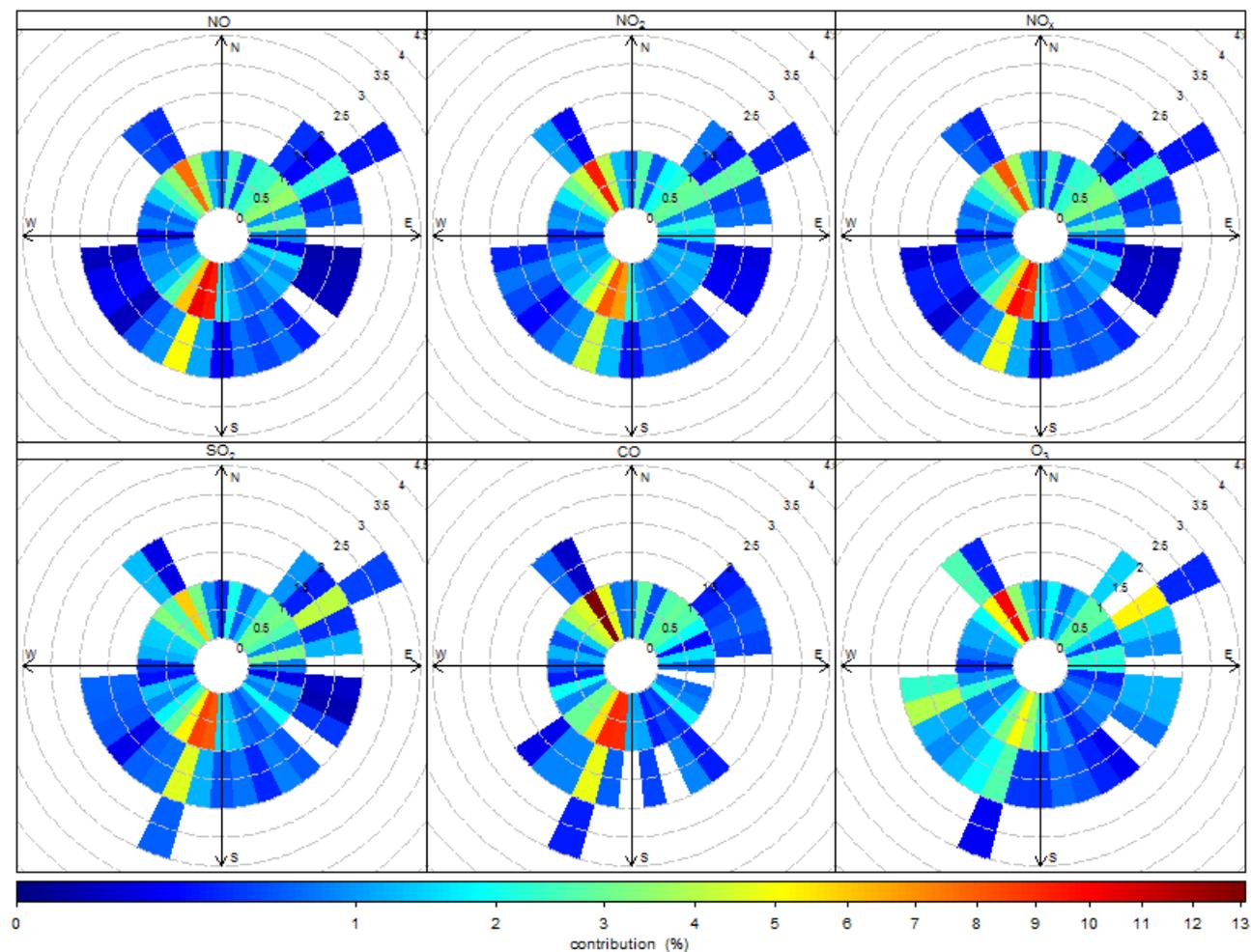


Figura 9 'Polar frequency plot', grafico polare relativo al contributo percentuale sul valore medio di periodo di ossidi di azoto (NO, NO₂, NO_x), monossido di carbonio (CO), biossido di zolfo (SO₂), ozono (O₃) in Via San Magno nel Comune di Oderzo: ciascun settore circolare è individuato dall'intersezione tra l'intervallo di direzione del vento di ampiezza pari a 10 gradi e la relativa velocità del vento misurata lungo l'asse polare con intervalli di 0.5 m/s.

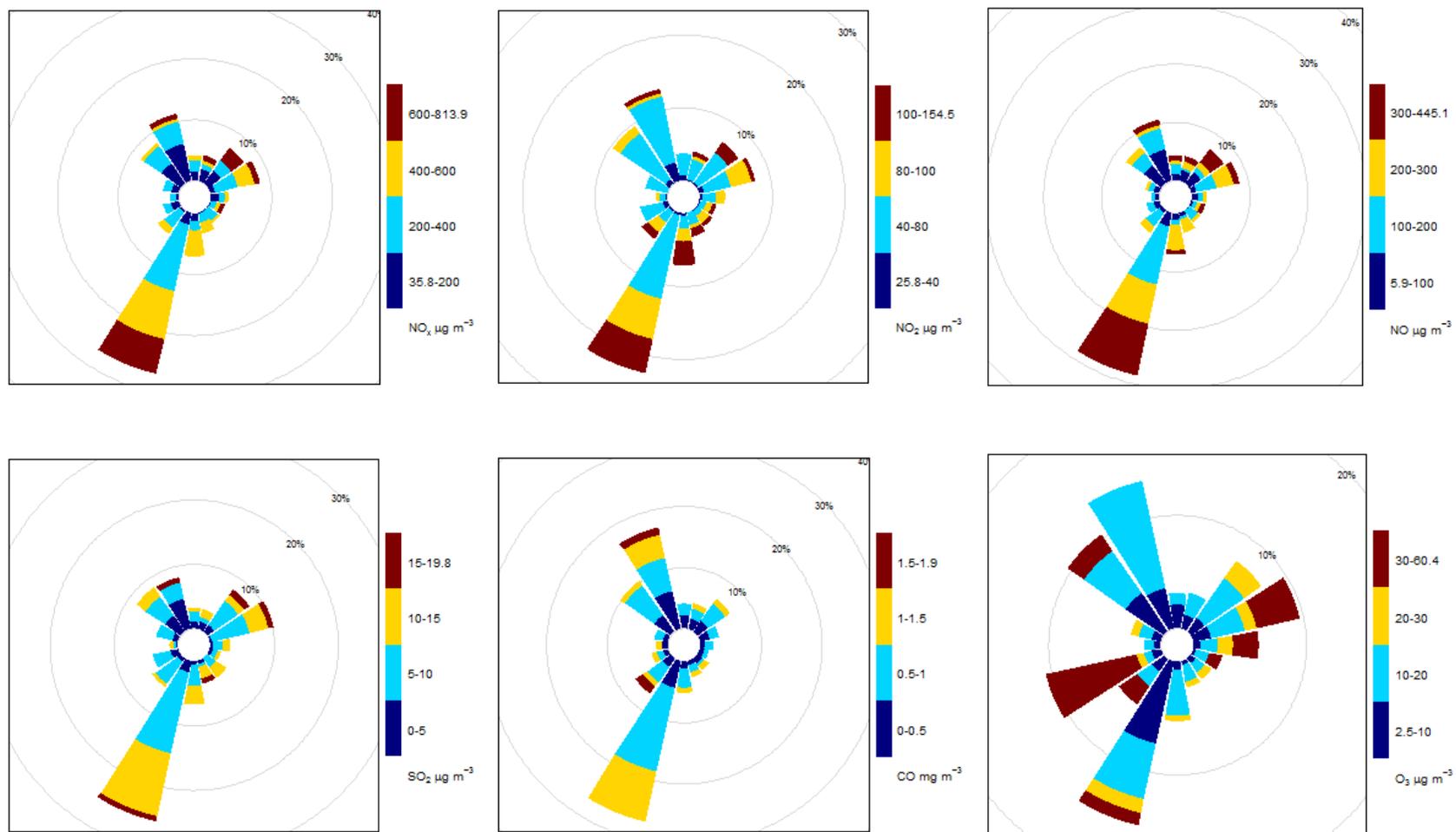


Figura 10 Rosa dell'inquinamento per ossidi di azoto (NO , NO_2 , NO_x), monossido di carbonio (CO), biossido di zolfo (SO_2), ozono (O_3) in Via San Magno nel Comune di Oderzo; tutte le concentrazioni ambientali degli inquinanti sono espresse in unità di peso su volume (mg/m^3 o $\mu\text{g}/\text{m}^3$) in funzione della direzione prevalente del vento (con angoli di 45° centrati a partire dalla direzione Nord).

In Figura 11 è rappresentato un grafico in forma di matrice di dispersione delle concentrazioni di ossidi di azoto (NO, NO₂, NO_x), monossido di carbonio (CO), biossido di zolfo (SO₂) ed ozono (O₃), monitorate in Via San Magno nel periodo dal 09/01/2012 al 23/01/2012.

Nel triangolo inferiore della matrice (sotto la diagonale) sono presentati i diagrammi di dispersione (*scatterplot*) degli inquinanti con un lisciamento (*smoothing*)¹² che ha l'obiettivo di fornire una visualizzazione grafica schematica dell'andamento relativo delle variabili considerate; nel triangolo superiore della matrice (sopra la diagonale), in corrispondenza di ciascuna intersezione, è riportato il coefficiente di correlazione lineare tra le variabili calcolato secondo il metodo di *Pearson*¹³.

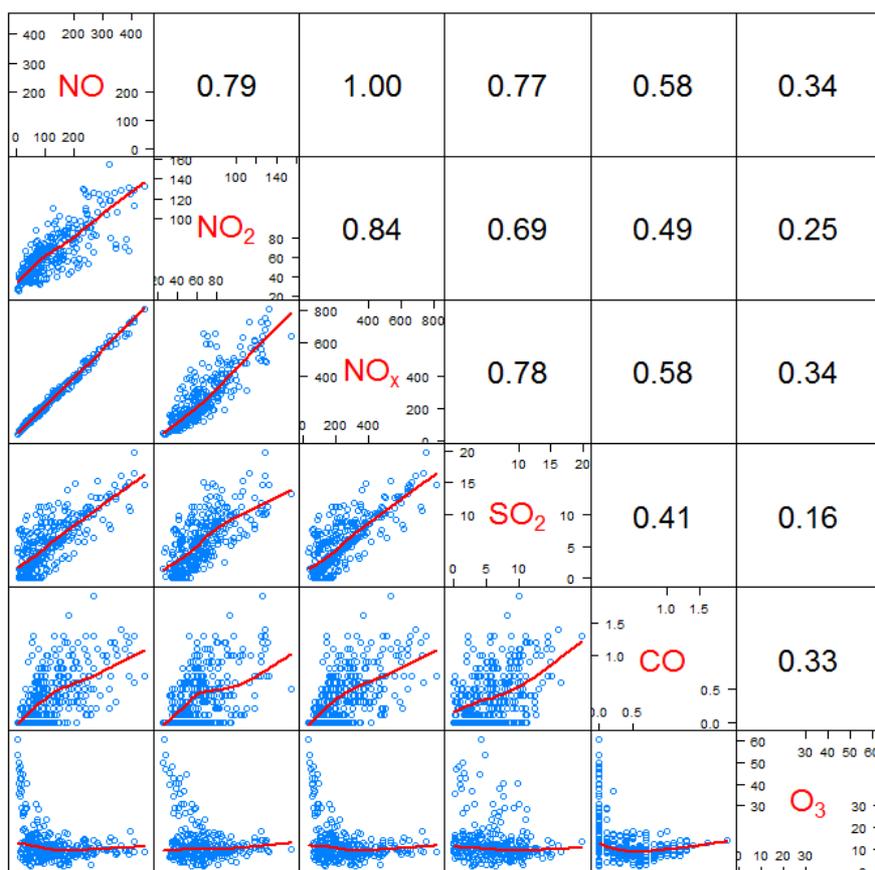


Figura 11 Grafico di dispersione in forma di matrice di correlazione per ossidi di azoto (NO, NO₂, NO_x), monossido di carbonio (CO), biossido di zolfo (SO₂) ed ozono (O₃) in Via San Magno nel Comune di Oderzo.

12 il lisciamento dei dati è stato effettuato secondo il metodo LOESS (locally weighted scatterplot smoothing) proposto da Cleveland *et al.*, 1992; si tratta di un metodo non parametrico che non richiede particolari assunzioni sulla distribuzione dei dati e/o sul tipo di modello regressivo e riesce a combinare la 'semplicità' del metodo lineare dei minimi quadrati con la 'flessibilità' dei metodi non lineari.

13 il grado di dipendenza tra due variabili statistiche è misurato dal coefficiente di correlazione che ha valori assoluti compresi tra zero (variabili indipendenti) e 1 (variabili dipendenti); l'indice di correlazione di Pearson è definito dal rapporto tra la covarianza ed il prodotto delle rispettive deviazioni standard.

Riferendoci ai coefficienti di correlazione lineare nel triangolo superiore della matrice in Figura 11, c'è da rilevare la forte dipendenza reciproca tra gli ossidi di azoto (NO vs. NO₂ vs. NO_x), con valori prossimi o di poco superiori a 0.8, la buona correlazione tra il biossido di zolfo e gli ossidi di azoto (SO₂ vs. NO vs. NO₂ vs. NO_x), che registra valori compresi tra 0.7 e 0.8, la debole correlazione tra il monossido di carbonio e tutti gli altri inquinanti, con valori del coefficiente di correlazione inferiori o prossimi a 0.6, e la pressoché totale indipendenza dell'ozono, con valori sempre inferiori o uguali a 0.4.

Dal punto di vista ambientale il confronto degli indici di correlazione indica che le concentrazioni ambientali di ossidi di azoto (NO, NO₂, NO_x), biossido di zolfo (SO₂) e, in misura sensibilmente inferiore anche di monossido di carbonio (CO), 'sottendono' processi di emissione e/o dispersione 'comuni' anche se non completamente identici. Come prevedibile, invece, l'ozono (O₃), mostra un comportamento relativamente indipendente dagli altri inquinanti.

In sintesi si può affermare che, considerato il differente obiettivo e le diverse modalità di visualizzazione, tutti i grafici da Figura 4 a Figura 11 rappresentano aspetti 'unici' ed allo stesso tempo 'complementari' di un quadro di riferimento ambientale molto articolato che non è affatto semplice interpretare sulla base di un'unica chiave di lettura (e questo nonostante la campagna di monitoraggio con stazione mobile sia inequivocabilmente riferibile ad un posizionamento 'hot spot' da traffico e come tale direttamente correlabile, almeno dal punto di vista teorico, alla principale sorgente di emissione costituita dal traffico veicolare lungo Via Camaldolesi).

2.2 Le simulazioni modellistiche

In questo paragrafo sono presentati i risultati della catena modellistica che a partire dal conteggio e dalla classificazione dei mezzi in transito ha prodotto la stima dei livelli di concentrazione degli inquinanti da traffico stradale. In particolare, nelle sezioni successive sono discussi:

- i risultati del rilievo dei veicoli lungo Via Camaldolesi (paragrafo 2.2.1), la stima di emissione (paragrafo 2.2.2) e di concentrazione (paragrafo 2.2.3) degli inquinanti atmosferici prodotti dal traffico lungo l'asse stradale e nelle zone ad esso adiacenti, il confronto tra stime modellistiche ed i livelli di concentrazione monitorati con stazione mobile e la discussione critica rispetto ai limiti normativi di riferimento (paragrafo 2.2.4);
- i risultati delle stime modellistiche per gli altri tre archi stradali: Via Maggiore, Via Postumia, Via Verdi (paragrafo 2.2.5)¹⁴.

2.2.1 Rilievo dei flussi di traffico (Via Camaldolesi)

Il rilievo dei flussi di traffico veicolare lungo Via Camaldolesi (zona Colfrancui), nel tratto della SP n. 49 compreso tra le rotatorie di Via Masotti a Nord-Est e di Viale San Pio X a Sud-Ovest, è stato effettuato con radar a microonde (effetto Doppler) per circa 15 giorni, nel periodo dal 09/01/2012 (hh. 13.00) al 23/01/2012 (hh. 10.00).

La strumentazione, essenzialmente costituita da un contenitore che racchiude il radar, la batteria e la componentistica elettronica per l'acquisizione, la memorizzazione e la comunicazione dei dati, è stata posizionata su un palo ad un'altezza di almeno 2.5 m dal suolo a bordo di ciascun senso di marcia della strada (Figura 12). I radar forniscono il conteggio classificato e la velocità media dei mezzi in transito lungo le due direzioni di marcia. La classificazione dei mezzi in transito è stata definita secondo due distinte categorie basate sulla lunghezza (leggeri < 6 m vs. pesanti > 6 m).



Figura 12 Installazione dei radar a microonde per il rilievo dei flussi di traffico nei due sensi di marcia di Via Camaldolesi, zona Colfrancui, nel tratto della SP n. 49 compreso tra le rotatorie di Via Masotti a Nord-Est e di Viale San Pio X a Sud-Ovest.

¹⁴ per questi tre archi stradali la valutazione è necessariamente più limitata perché non sono disponibili i dati di monitoraggio dello stato di qualità dell'aria con cui confrontare le stime modellistiche; d'altro canto, per la 'calibrazione' della stima modellistica è sufficiente riferirsi alla valutazione effettuata su Via Camaldolesi - Via San Magno;

I rilievi con radar a microonde posizionati lungo Via Camaldolesi hanno evidenziato un tipico e ben riconoscibile *pattern* giornaliero (notte vs. di) e settimanale (feriale vs. prefestivo vs. festivo) dei flussi di traffico. I flussi medi orari di veicoli leggeri e pesanti rilevati dal 09/01/2012 al 23/01/2012 sono rappresentati graficamente in Figura 13 da cui risulta evidente una spiccata ciclicità giornaliera e settimanale. Per apprezzare con maggiore dettaglio queste variazioni, in Figura 14 sono riprodotti i flussi orari e la velocità di percorrenza normalizzate rispetto alla media e stratificati per giorno tipo della settimana (hh 00-24, da lunedì a domenica), giorno medio della settimana (da lunedì a domenica), e giorno tipo (hh 00-24).

Dalla valutazione dei grafici in Figura 13 ed in Figura 14 emerge quanto segue:

- le fluttuazioni giornaliere dei flussi di mezzi in transito (in entrambi i sensi di marcia) nei giorni feriali dal lunedì al venerdì sono molto marcate: si passa da punte massime di circa 1400 mezzi/h per i veicoli leggeri e 250 mezzi/h per i pesanti nel periodo 'diurno' a corrispondenti valori minimi di poche unità/ora in quello 'notturno'; nel periodo dal 09/01/2012 al 23/01/2012, le medie orarie variano tra il valore massimo ed il minimo di circa 2 e 3 ordini di grandezza rispettivamente per i mezzi pesanti e leggeri (Figura 13);
- le variazioni orarie della velocità media dei mezzi leggeri e pesanti che percorrono il tratto stradale di Via Camaldolesi sono sostanzialmente molto limitate (55 km/h circa) e comprese entro un intervallo (min-max) di 29-69 km/h (Figura 14);
- le fluttuazioni settimanali sono particolarmente evidenti per i mezzi pesanti nel confronto tra giorni feriali e prefestivi o festivi: si passa da una media giornaliera di circa 90 veicoli/h, dal lunedì a venerdì, ad una di circa 15 veicoli/h, per il sabato e la domenica (Figura 13, in basso e Figura 14, in basso a sinistra);
- nei giorni feriali (lunedì-venerdì), in particolare per i mezzi leggeri, si notano due punte di traffico: una al mattino (ore 8.00, circa 800 mezzi/h) e l'altra al pomeriggio (ore 18.00, circa 1200 mezzi/h); nel periodo di 'morbida' compreso le punte del mattino e del pomeriggio si riscontra un ulteriore picco con flussi medi orari comparabili o di poco inferiori a quelli del mattino (ore 13.00-14.00, circa 700 mezzi/h); per i mezzi pesanti questi picchi sono molto meno accentuati e la punta 'morbida' di metà giornata tende a scomparire (Figura 13 e Figura 14, in alto ed in basso a sinistra);
- nei giorni della fine settimana (sabato e domenica) per i mezzi leggeri si notano solo due punte di traffico (Figura 14, in alto): una in corrispondenza delle ore 11.00 circa e l'altra delle ore 17.00 circa; rispetto al *pattern* tipico dei giorni feriali, la punta del mattino si sposta sensibilmente in avanti nel tempo (di circa 3 h), la punta di metà giornata scompare e quella pomeridiana viene leggermente anticipata (di circa 1 h); per i mezzi leggeri si nota, in particolare nelle ore notturne del sabato (22.00 - 23.00), un sensibile aumento dei flussi di traffico rispetto ai corrispondenti orari dei giorni feriali (Figura 14, in alto);
- dal punto di vista quantitativo, per i mezzi leggeri, al sabato i volumi di traffico, ancorché distribuiti in modo differente nell'arco dell'intera giornata, risultano confrontabili con quelli dei giorni feriali (circa 500 mezzi /h), mentre la domenica calano sensibilmente (circa 300 mezzi /h); per i mezzi pesanti, a partire da metà giornata del sabato (ore 13.00 circa) fino alle prime ore del mattino di lunedì (6.00 circa), si nota un quasi totale azzeramento del traffico rispetto ai flussi medi feriali (100 mezzi /h) (Figura 13 e Figura 14 in basso a sinistra).

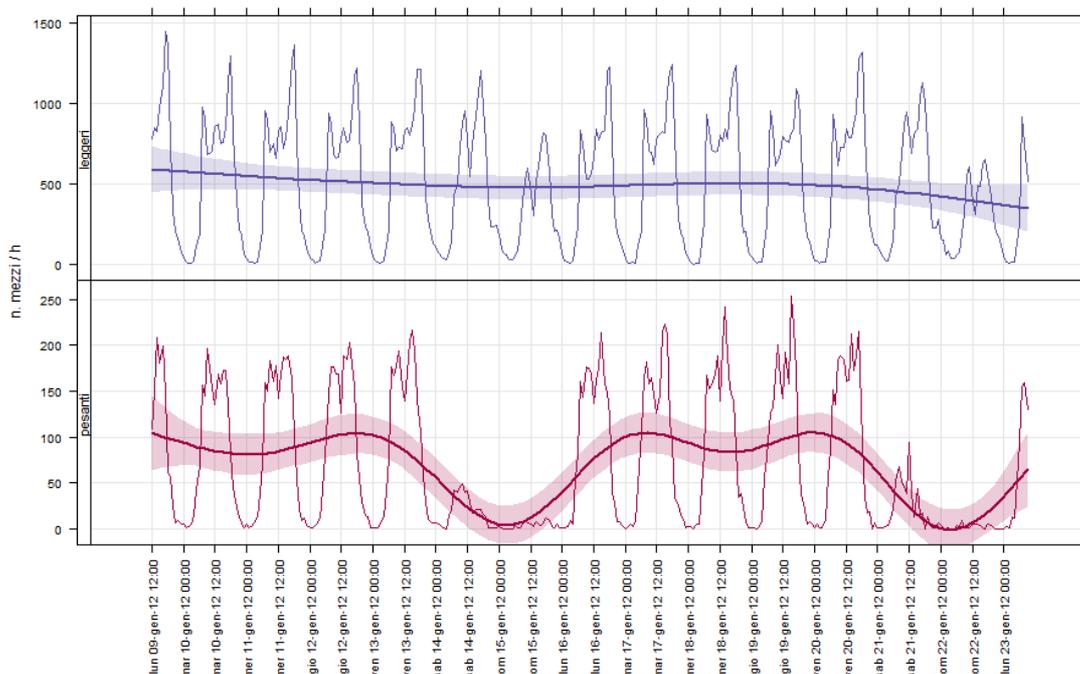


Figura 13 Flussi orari di mezzi leggeri e pesanti rilevati dal 09/01/2012 al 23/01/2012 lungo di Via Camaldolesi, zona Colfrancui, nel tratto della SP n. 49 compreso tra le rotoarie di Via Masotti a Nord-Est e di Viale San Pio X a Sud-Ovest.

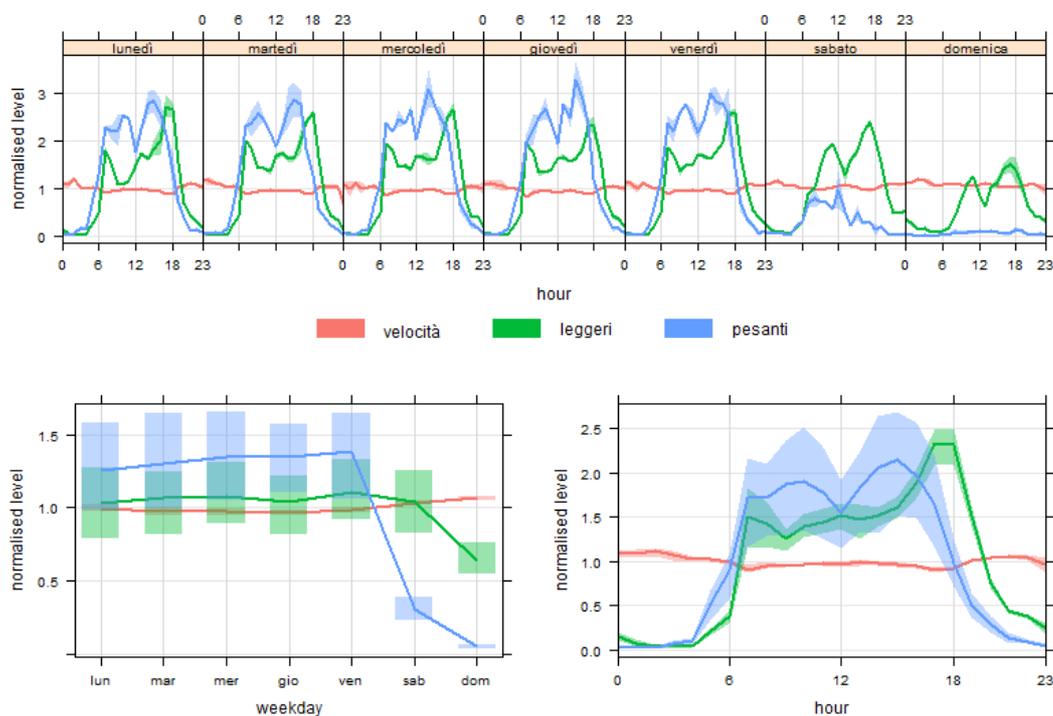


Figura 14 Via Camaldolesi: flussi orari di mezzi leggeri, pesanti, velocità di percorrenza normalizzati rispetto alla media e stratificati per giorno tipo della settimana (in alto), giorno medio della settimana (in basso a sinistra) e giorno tipo (in basso a destra).

2.2.2 Stima delle emissioni (Via Camaldolesi)

Per la stima delle emissioni di inquinanti atmosferici da trasporto stradale è stata utilizzata la metodologia COPERT (COmputer Programme to calculate Emissions from Road Traffic), adottata dall'Agenzia Europea per l'Ambiente come strumento di valutazione nell'ambito del programma EMEP/CORINAIR (EEA, 2009). La metodologia di calcolo COPERT (Ntziachristos and Samaras, 2000; Ntziachristos, 2003) prevede fattori di emissione differenziati per tipologia veicolare, combustibile, anno di immatricolazione, cilindrata, peso, regime di conduzione e composizione del parco veicolare.

L'Osservatorio Regionale Aria (ORAR) dell'ARPAV ha tradotto gli algoritmi di calcolo della metodologia COPERT in un programma compilato in FORTRAN in grado di stimare, per ogni sezione stradale considerata, le emissioni lineari (g/km) e totali (g) dei monossido di carbonio (CO), benzene (C₆H₆), ossidi di azoto (NO_x), e polveri fini (PM₁₀), suddivise per categoria veicolare, intervallo orario e processo emissivo. Il modello di calcolo assume che i fattori di emissione per ciascuna tipologia veicolare (2 ruote, auto, veicoli commerciali leggeri, pesanti e articolati, bus, pullman) dipendano da variabili quali: i consumi medi ed il tipo di combustibile, la composizione del parco circolante, la cilindrata, il peso complessivo e l'anno di immatricolazione dei veicoli, il regime medio di conduzione e la velocità di percorrenza del tratto stradale ed, infine, anche le condizioni climatiche medie (temperatura ambientale).

La stima delle emissioni di inquinanti da trasporto stradale è la sommatoria delle componenti emissive da combustione, evaporazione, abrasione per usura dei freni, dei pneumatici e del manto stradale (Lükewille *et al.*, 2001). La componente 'abrasiva' è stimata da specifici fattori di emissione definiti da IIASA (*International Institute for Applied Systems Analysis*).

Nel caso specifico i dati in ingresso al modello di stima sono il conteggio dei mezzi orari classificati in leggeri (lunghezza < 6 m) e pesanti (lunghezza > 6 m) e le velocità medie percorrenza (km/h) rilevate dai radar a microonde installati lungo Via Camldolesi (in zona Colfrancui, nel tratto della SP n. 49 compreso tra le rotatorie di Via Masotti a Nord-Est e di Viale San Pio X a Sud-Ovest). I flussi di traffico classificati in 'leggeri' e 'pesanti' sono 'statisticamente assegnati' alle categorie COPERT sulla base della percentuale di percorrenza delle rispettive categorie veicolari censite nel parco circolante della Regione Veneto per l'anno 2008 (più recente aggiornamento attualmente disponibile).

I risultati della stima modellistica COPERT delle emissioni di monossido di carbonio (CO), benzene (C₆H₆), ossidi di azoto (NO_x), e polveri fini (PM₁₀), espresse come unità di inquinante emesso per lunghezza di tratto stradale percorso nell'unità di tempo (g km⁻¹ h⁻¹), sono presentate in dettaglio per le categorie veicolari 'leggeri' e 'pesanti' nei grafici da Figura 15 a Figura 18.

Per le emissioni complessive di inquinanti restano valide le considerazioni già viste sui flussi medi di traffico stratificati per giorno tipo della settimana, giorno medio della settimana e giorno tipo (paragrafo 2.2.1). In altri termini, è possibile ripercorre nelle emissioni le considerazioni già esposte sui flussi di traffico rispetto alle variazioni settimanali (feriale vs. prefestivo vs. festivo), alle fluttuazioni orarie durante i giorni feriali (dal lunedì al venerdì: punte del mattino, metà giornata e pomeriggio) e sul sensibile calo nella fine settimana (sabato e domenica).

Se consideriamo, invece, la ripartizione modale del traffico e, quindi, distinguiamo le emissioni prodotte dai 'leggeri' e dai 'pesanti', risultano evidenti alcuni ulteriori caratteristici elementi di valutazione. Schematizzando e sintetizzando i dati riportati nei grafici da Figura 15 a Figura 18 si

può affermare che dal punto di vista quantitativo :

- le emissioni di benzene (C_6H_6) sono esclusivamente riconducibili ai flussi di mezzi leggeri (in media $16 \text{ g km}^{-1} \text{ h}^{-1}$ circa) perché il contributo di quelli pesanti è praticamente nullo o irrilevante (Figura 15);
- analogamente, le emissioni di monossido di carbonio (CO) sono associate ai mezzi leggeri (in media $2300 \text{ g km}^{-1} \text{ h}^{-1}$ circa) perché quelle prodotte dai mezzi pesanti sono sostanzialmente molto limitate (in media $100 \text{ g km}^{-1} \text{ h}^{-1}$ circa) (Figura 16);
- per gli ossidi di azoto (NO_x), le emissioni prevalenti sono dovute ai mezzi pesanti ($320 \text{ g km}^{-1} \text{ h}^{-1}$ circa, media complessiva) anche se il contributo dei leggeri non è affatto trascurabile ($260 \text{ g km}^{-1} \text{ h}^{-1}$ circa, media complessiva); da notare che per i pesanti le emissioni si riducono drasticamente nella fine settimana e passano da una media di circa $430 \text{ g km}^{-1} \text{ h}^{-1}$, dal lunedì al venerdì, ad una di circa $96 \text{ g km}^{-1} \text{ h}^{-1}$, per il sabato, ad una media ancora più bassa per la domenica, circa $15 \text{ g km}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (Figura 17);
- per le polveri fini (PM_{10}), il contributo dei mezzi pesanti (circa $27 \text{ g km}^{-1} \text{ h}^{-1}$, come media complessiva) risulta di fatto comparabile a quello dei leggeri (circa $28 \text{ g km}^{-1} \text{ h}^{-1}$); anche in questo caso per i mezzi pesanti il contributo medio alle emissioni si attesta su valori di circa $36 \text{ g km}^{-1} \text{ h}^{-1}$ nel corso della settimana lavorativa, dal lunedì al venerdì, che risultano significativamente più alti rispetto a quelli più contenuti del sabato ($8 \text{ g km}^{-1} \text{ h}^{-1}$) o quasi trascurabili della domenica ($1 \text{ g km}^{-1} \text{ h}^{-1}$) (Figura 18).

Tutte queste informazioni devono essere lette criticamente rispetto alle valutazioni sulle concentrazioni di inquinanti atmosferici monitorate dalla stazione mobile (paragrafo 2.1) e stimate dal modello di dispersione (paragrafo 2.2.3).

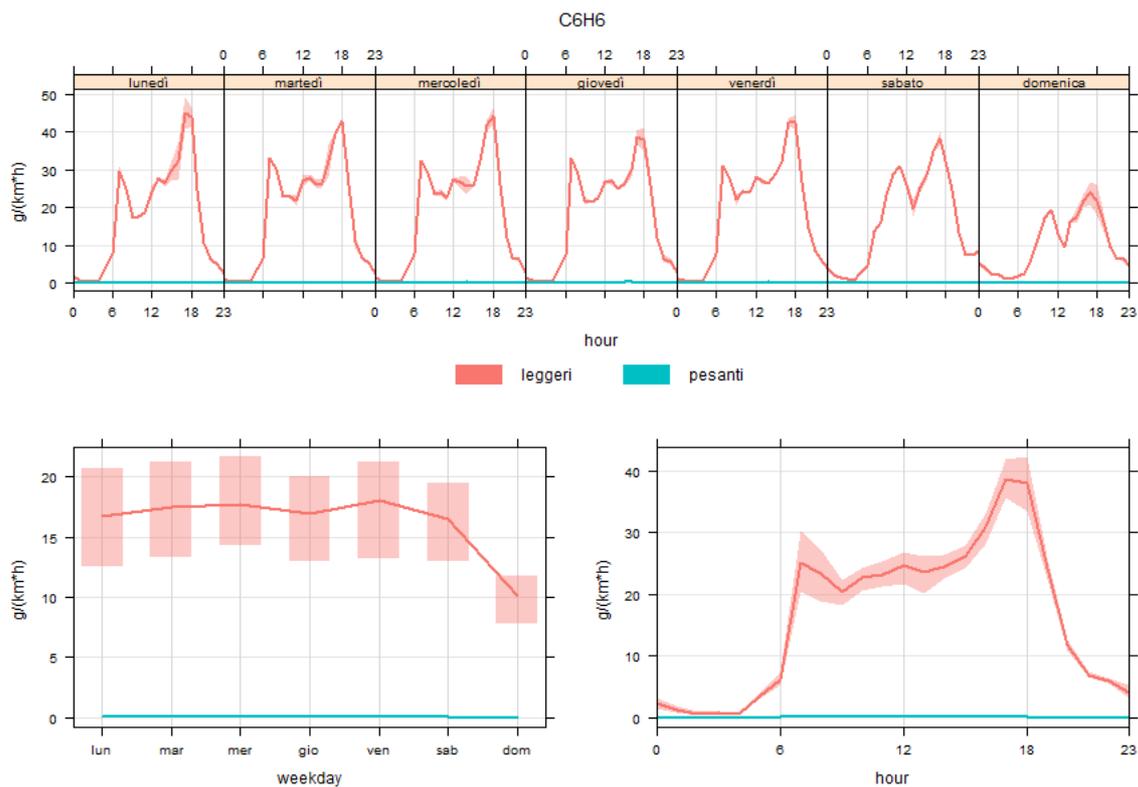


Figura 15 Benzene (C_6H_6): stima emissioni da mezzi leggeri e pesanti in Via Camaldolesi.

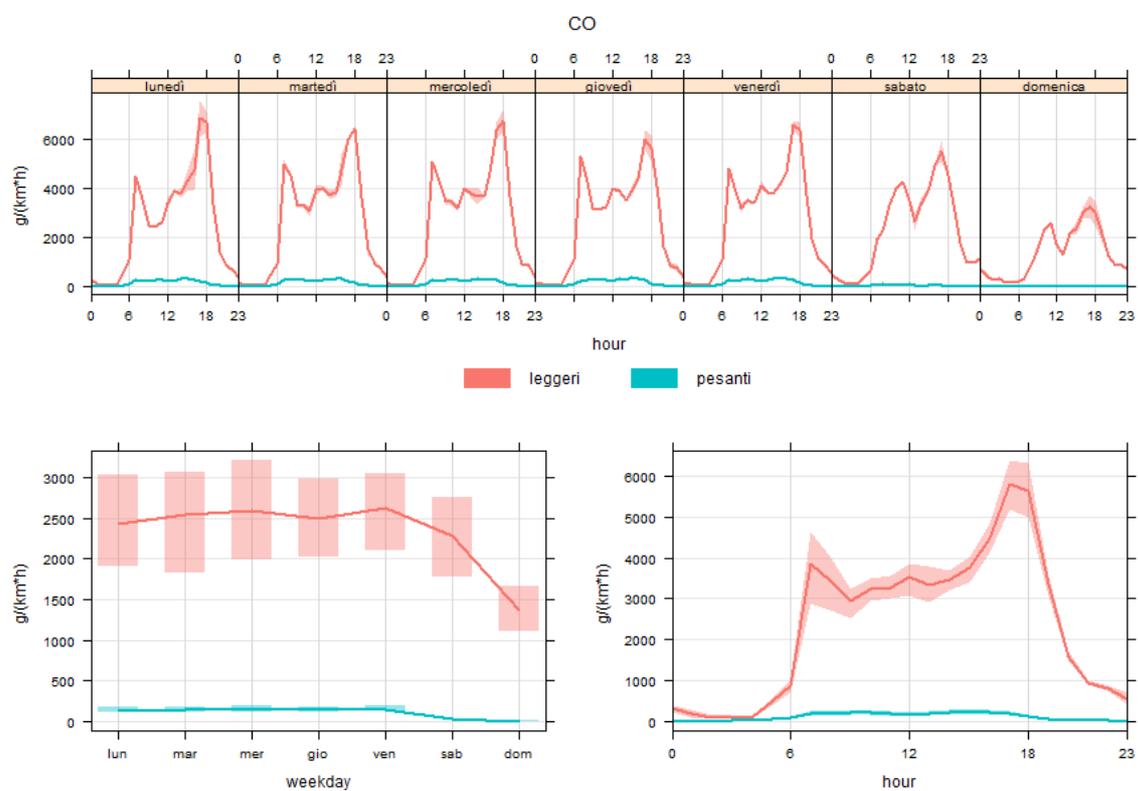


Figura 16 Monossido di carbonio (CO): stima emissioni da mezzi leggeri e pesanti in Via Camaldolesi.

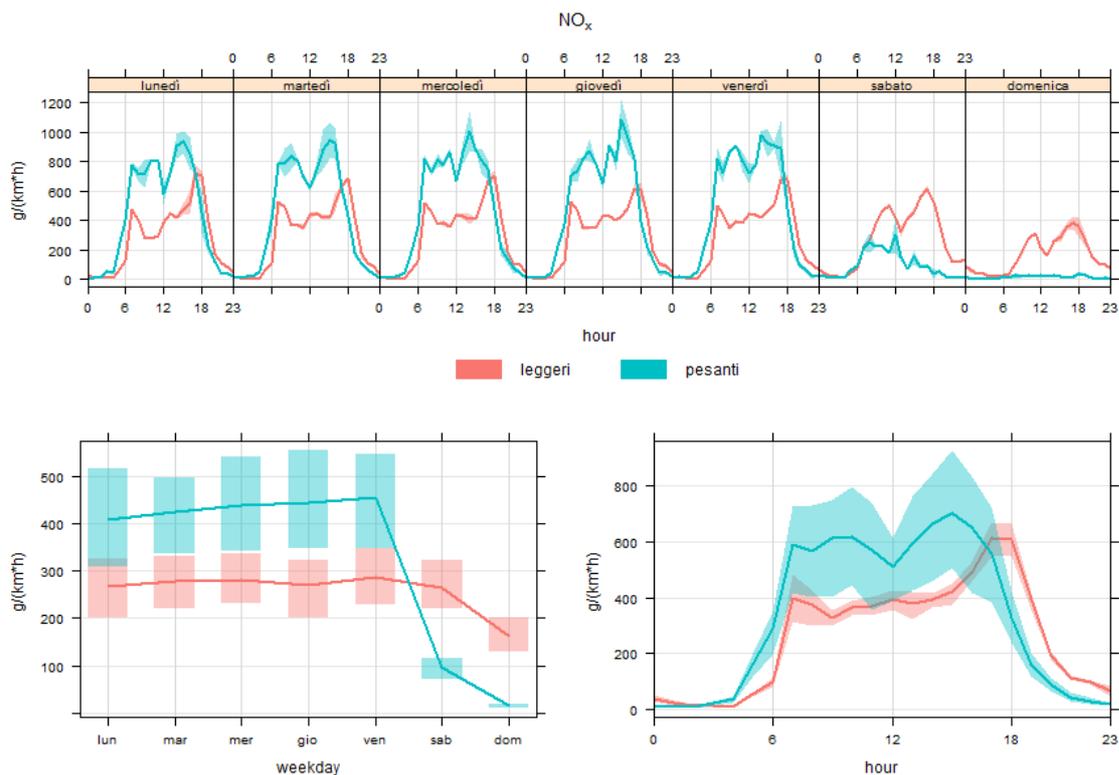


Figura 17 Ossidi di azoto (NO_x): stima emissioni da mezzi leggeri e pesanti in Via Camaldolesi.

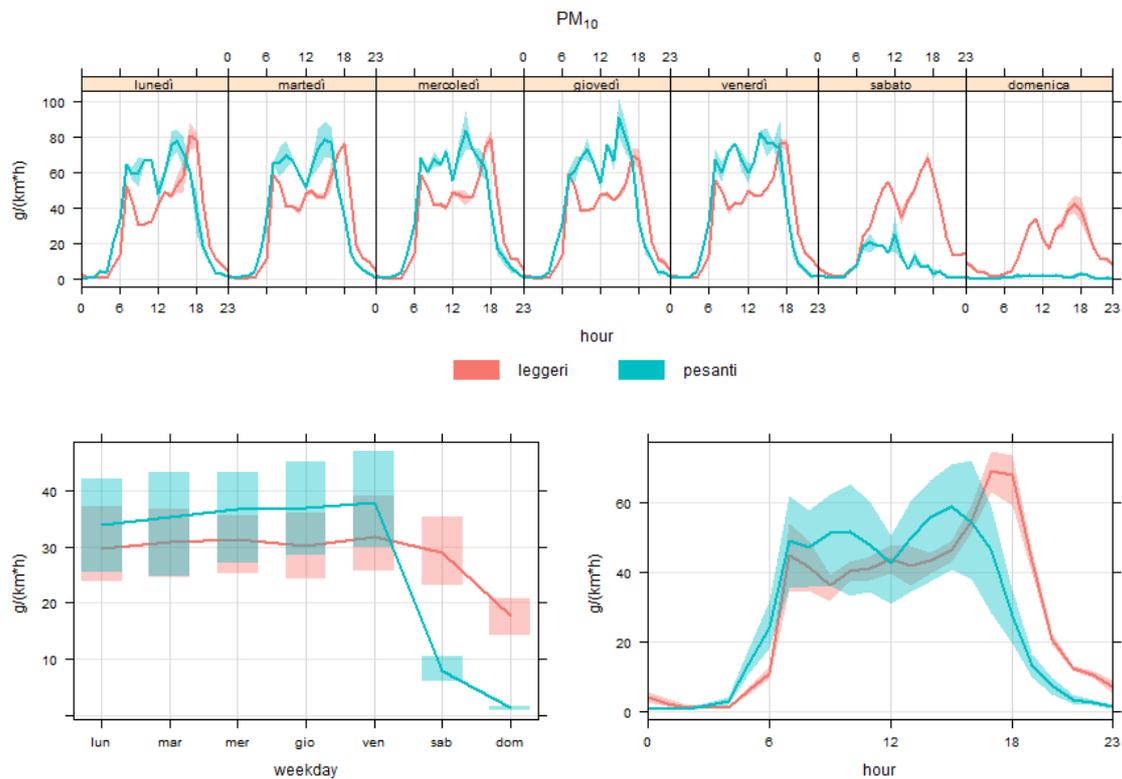


Figura 18 Polveri fini (PM_{10}): stima emissioni da mezzi leggeri e pesanti in Via Camaldolesi.

2.2.3 Il modello di dispersione degli inquinanti atmosferici

In questo paragrafo viene presentata una breve descrizione teorica del modello di dispersione ed una dettagliata spiegazione delle modalità di configurazione delle simulazioni modellistiche per la stima delle concentrazioni ambientali di inquinanti atmosferici.

Breve descrizione del modello

ADMS-Urban (version 2.2) è un modello di dispersione in atmosfera che calcola le concentrazioni di inquinanti emessi da sorgenti puntuali, lineari, areali, volumetriche (CERC, 2005). Si tratta di un modello deterministico¹⁵ tridimensionale quasi-gaussiano¹⁶ definito per applicazioni solo a scala locale (fino a 30 km, in base alle caratteristiche del campo di vento). Il modello, che presuppone un processo di tipo stazionario¹⁷, applica una parametrizzazione dello strato limite atmosferico¹⁸ tramite la lunghezza di Monin-Obukhov¹⁹ e l'altezza di rimescolamento²⁰ e prevede una serie di moduli aggiuntivi per il trattamento di terreno complesso, innalzamento del pennacchio²¹, presenza di edifici, canyon urbano, deposizione secca e umida, chimica semplificata degli ossidi di azoto (NO_x-NO₂). Per una descrizione più approfondita delle caratteristiche specifiche del modello si rimanda al manuale utente (CERC, 2005) ed alla sezione del "Model Documentation System" curata da *European Environment Information and Observation Network* (EIONET, 2009).

Intervallo temporale di simulazione ed assunzioni di calcolo

Le simulazioni modellistiche su Via Camaldolesi riguardano il periodo dal 09/01/2012 al 23/01/2012, per cui sono contemporaneamente disponibili i conteggi dei flussi di traffico e le misure di stato di qualità dell'aria (per una valutazione a breve), ed il triennio 2009-2011 (per una valutazione a medio-lungo termine).

Per gli altri tre archi stradali, Via Verdi, Via Maggiore, Via Postumia, le simulazioni modellistiche sono riferite al medio-lungo termine (triennio 2009-2011).

Relativamente alle assunzioni di calcolo è utile precisare che:

- per convenzione la stima delle concentrazioni è riferita ad un'altezza di 2 m dal suolo;

¹⁵ i modelli deterministici sono costituiti da algoritmi matematici che riproducono in misura più o meno approfondita (a seconda del modello) i processi di diffusione, trasporto e trasformazione chimica degli inquinanti emessi in atmosfera.

¹⁶ la distribuzione delle concentrazioni è tipicamente gaussiana in condizioni stabili e neutre mentre in condizioni instabili (convettive) il profilo verticale è non-gaussiano per considerare la struttura asimmetrica della turbolenza atmosferica.

¹⁷ la variazione di concentrazione in funzione del tempo è in ogni punto del dominio di calcolo per definizione nulla.

¹⁸ lo strato limite atmosferico, *Planetary Boundary Layer (PBL)*, rappresenta lo strato di atmosfera adiacente al suolo caratterizzato dal rimescolamento delle masse d'aria ad opera della spinta convettiva generata dal riscaldamento della superficie terrestre e dalla turbolenza meccanica dovuta all'attrito tra le masse d'aria in movimento e la superficie.

¹⁹ è un parametro che fornisce una misura della stabilità atmosferica; in condizioni instabili (valore negativo) misura l'altezza dal suolo in cui la turbolenza convettiva diventa prevalente sulla turbolenza meccanica indotta dall'attrito dell'aria sulla superficie terrestre; in condizioni stabili (valore positivo) misura l'altezza dal suolo dove la turbolenza verticale è inibita dalla stratificazione atmosferica stabile.

²⁰ si tratta di una definizione non univoca; l'altezza di rimescolamento rappresenta l'altezza dello strato di atmosfera adiacente alla superficie terrestre all'interno del quale un inquinante viene disperso verticalmente per turbolenza meccanica e/o convettiva in un tempo pari circa ad un'ora; è un parametro che permette di quantificare le dimensioni della porzione di atmosfera influenzata dalla presenza di inquinanti emessi in prossimità del suolo.

²¹ dovuto alla turbolenza meccanica propria del getto a cui viene sommata la turbolenza termica causata dalla differenza di temperatura tra fumi in uscita ed atmosfera.

- il trattamento del vento prevede l'attribuzione della direzione di provenienza rispetto ad archi di 10° di ampiezza e la soglia di velocità minima di 0.5 m/s (per le calme di vento, la velocità è uguale alla soglia minima e la direzione di provenienza coincide con quella dell'ultima registrazione 'valida');
- nella stima di concentrazione degli inquinanti non è stata calcolata deposizione secca e/o umida (impoverimento del pennacchio) e, quindi, le relative stime sono fornite in termini cautelativi ('caso peggiore');
- le concentrazioni di NO₂ sono stimate con una 'correlazione logaritmica' secondo il metodo empirico proposto da Derwent and Middleton (1996)²².

Dominio computazionale e passo di griglia output modellistici

Le stime di concentrazione degli inquinanti atmosferici emessi dal traffico veicolare lungo Via Camaldolesi, zona Colfrancui nel tratto della SP n. 49 compreso tra le rotatorie di Via Masotti a Nord-Est e di Viale San Pio X a Sud-Ovest, sono riferite:

- al punto corrispondente al posizionamento della stazione mobile di qualità dell'aria in Via San Magno dal 09/01/2012 al 23/01/2012 (coordinate Gauss-Boaga fuso Ovest, X = 1770683, Y = 5076352)
- al dominio di calcolo definito da un quadrato di lato 450 m (coordinate Gauss-Boaga fuso Ovest: X_{min} = 1770530, X_{max} = 1770980, Y_{min} = 5076210, Y_{max} = 5076660) con risoluzione del passo di griglia di 4.5 m, per un totale di 10.000 punti di campionamento (corrispondente al numero massimo di punti consentiti dal modello).

Per gli altri tre archi stradali considerati nel progetto "TI-AR-CO" (Via Verdi, Via Maggiore, Via Postumia), le stime modellistiche sono riferite ai seguenti domini di calcolo (per complessivi 10.000 punti di campionamento corrispondenti al massimo di ADMS-Urban):

- Via Verdi: un rettangolo di dimensioni circa 680 m x 1000 m (coordinate Gauss-Boaga fuso Ovest: X_{min} = 1771753, X_{max} = 1772438, Y_{min} = 5076320, Y_{max} = 5077330) con una risoluzione del passo di griglia di 6.8 m;
- Via Maggiore: un quadrato di 700 m di lato (coordinate Gauss-Boaga fuso Ovest: X_{min} = 1773880, X_{max} = 1774580, Y_{min} = 5073430, Y_{max} = 5074130) con risoluzione del passo di griglia di 7 m;
- Via Postumia: un quadrato di 430 m lato (coordinate Gauss-Boaga fuso Ovest: X_{min} = 1771493, X_{max} = 1771923, Y_{min} = 5075200, Y_{max} = 5075590) con una risoluzione di griglia di 4.3 m.

Parametri meteo

Per le simulazioni modellistiche sono state utilizzate le seguenti registrazioni meteorologiche:

- orarie della stazione di qualità dell'aria posizionata in Via San Magno dal 09/01/2012 al 23/01/2012, che ha fornito i parametri meteo 'classici': direzione (gradi N) e velocità del

²² è una stima sul rapporto NO_x-NO₂ ricavato da numerose misure sperimentali nell'area di Londra e applicata a vari studi sulla qualità dell'aria in Inghilterra; si tratta di un metodo 'proporzionale' per la stima delle concentrazioni di NO₂ in base alle emissioni di NO_x secondo una formulazione tipica caratteristica per il tipo di sorgente considerata (per maggiori dettagli tecnici si rimanda al documento originale e al manuale d'utente ADMS-Urban citati in bibliografia).

vento (m/s), temperatura (°C), umidità relativa (%);

- orarie della stazione ARAPV-CMT di Conegliano (TV) che ha fornito i parametri meteo 'classici': direzione (gradi N) e velocità del vento (m/s), precipitazione cumulata (mm), temperatura (°C), radiazione solare incidente (W/m^2), umidità relativa (%);
- tri-orarie di copertura nuvolosa (ottavi) rilevate dalle stazioni meteo sinottiche (Istrana è la più vicina al dominio di calcolo) che sono state successivamente interpolate nel tempo (media oraria) e nello spazio (inverso quadrato distanza).

Le stazioni ARPAV-CMT (Centro Meteo di Teolo) più prossime al dominio di calcolo che dispongono di tutti i parametri meteo necessari per la simulazione modellistica (direzione e velocità del vento, temperatura, precipitazione, umidità relativa, radiazione solare) sono quella di Conegliano (sensore del vento a 10 m) e quella di Ponte di Piave (sensore del vento a 5 m).

Limitatamente al periodo dal 09/01/2012 al 23/01/2012, le stazioni in grado di fornire i parametri meteo minimi necessari per la valutazione modellistica su Via Camaldolesi sono: Conegliano (meteo), Ponte di Piave (agrometeo) e la stazione mobile di qualità dell'aria in Via San Magno (che dispone, tra gli altri, anche dei sensori di velocità e direzione del vento).

In Figura 19 è proposto un confronto delle rose dei venti rilevate dal 09/01/2012 al 23/01/2012 presso la stazione meteorologica di Conegliano, l'agro-meteorologica di Ponte di Piave e la stazione mobile di qualità dell'aria in Via San Magno nel Comune di Oderzo.

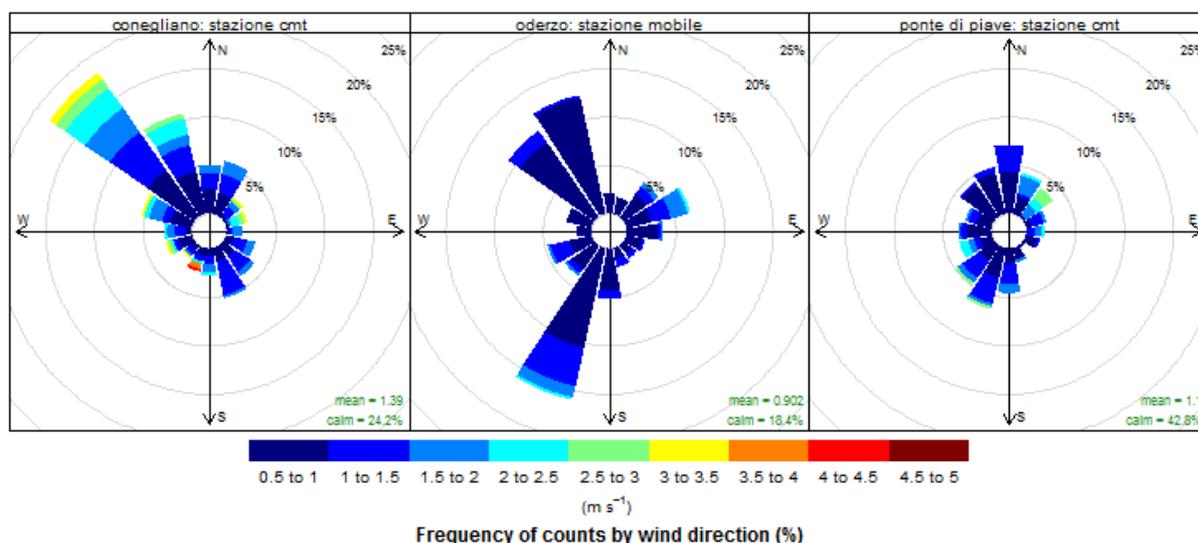


Figura 19 Rosa dei venti relativa al periodo dal 09/01/2012 al 23/01/2012 registrata presso la stazione meteorologica ARPAV-CMT di Conegliano (altezza anemometro 10 m), la stazione agrometeorologica ARPAV-CMT di Ponte di Piave (altezza anemometro 5 m) e la stazione mobile di qualità dell'aria ARPAV posizionata in Via San Magno, zona Colfrancui del Comune di Oderzo (altezza anemometro 10 m).

Dai grafici in Figura 19 risulta che, a fronte di una velocità media tipicamente bassa (circa 1 m/s) presso tutte le stazioni di monitoraggio considerate, quella agrometeorologica di Ponte di Piave registra una percentuale di calme di vento (circa il 43%) considerevolmente superiore sia rispetto a quella meteorologica di Conegliano (circa 24%) che a quella mobile di qualità dell'aria

posizionata in Via San Magno (circa 18%).

In sintesi, a fronte della disponibilità dei tre differenti dataset meteorologici sopra elencati:

- per il periodo di simulazione dal 09/01/2012 al 23/01/2012 in Via Camaldolesi, per cui sono contemporaneamente disponibili i dati di monitoraggio degli inquinanti atmosferici e del rilievo dei flussi di traffico, sono stati utilizzati sia i parametri meteorologici classici forniti dalla stazione mobile di qualità dell'aria posizionata in Via San Magno nel Comune di Oderzo che quelli forniti dalla stazione meteorologica di Conegliano (l'utilizzo di alternativi dataset meteorologici per una stessa simulazione modellistica ha fornito, di fatto, la possibilità di effettuare una significativa analisi di sensitività dei risultati - cfr. successiva Tabella 3 al paragrafo 2.2.4);
- per le simulazioni di lungo periodo (triennio 2009-2011) presso tutti gli archi stradali considerati nel progetto "TI-AR-CO" (Via Camaldolesi, Via Verdi, Via Maggiore, Via Postumia), è stata innestata nel dominio di calcolo la stazione meteorologica di Conegliano che ha fornito, tra i dati meteo effettivamente disponibili, quelli maggiormente rappresentativi.

Nei grafici in Figura 20 sono rappresentate per il triennio 2009-2011 le rose dei venti registrate presso la stazione meteorologica di Conegliano.

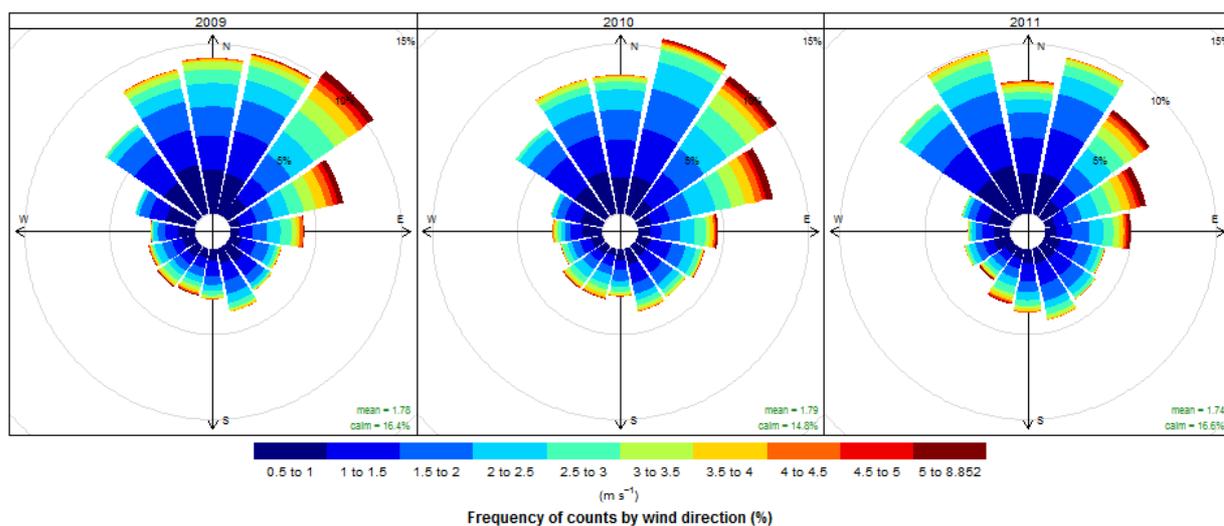


Figura 20 Rosa dei venti relativa al triennio 2009-2011 registrata presso la stazione meteorologica ARPAV-CMT di Conegliano (altezza anemometro 10 m).

2.2.4 Valutazione stime modellistiche (Via Camaldolesi - Via San Magno)

In questo paragrafo sono presentati i risultati delle stime modellistiche di dispersione degli inquinanti atmosferici emessi dal traffico veicolare lungo Via Camaldolesi (zona Colfrancui) nel tratto della SP n. 49 tra le rotatorie di Via Masotti, a Nord-Est, e di Viale San Pio X, a Sud-Ovest.

In Tabella 3 sono riportate le principali statistiche descrittive delle concentrazioni medie orarie di monossido di carbonio (CO), ossidi di azoto (NO₂ e NO_x), benzene (C₆H₆) e polveri fini (PM₁₀), stimate con due alternative configurazioni modellistiche (differenti input meteorologico), e confrontate con le corrispondenti misure di qualità dell'aria monitorate dalla stazione mobile posizionata nell'adiacente Via San Magno (a circa 5 metri dal bordo strada di Via Camaldolesi).

inquinante stimato e parametro di valutazione	u.m.	stime modellistiche vs. misure			
		stima ⁽¹⁾	stima ⁽²⁾	misura ⁽³⁾	% ⁽⁴⁾
monossido di carbonio (CO)					
- 100° perc. medie 1h	mg/m ³	0.62	0.41	1.90	33%
- 98° perc. medie 1h	mg/m ³	0.41	0.36	1.30	32%
- 50° perc. medie 1h	mg/m ³	0.07	0.01	0.30	23%
- media periodo (max dominio)	mg/m ³	0.12	0.09	0.40	30%
biossido di azoto (NO₂)					
- 100° perc. medie 1h	µg/m ³	65.72	61.89	154.50	43%
- 98° perc. medie 1h	µg/m ³	58.80	57.47	127.61	46%
- 50° perc. medie 1h	µg/m ³	9.66	1.51	59.80	16%
- media periodo (max dominio)	µg/m ³	17.68	13.37	64.46	27%
ossidi di azoto (NO_x)					
- 100° perc. medie 1h	µg/m ³	170.89	148.41	813.90	21%
- 98° perc. medie 1h	µg/m ³	132.95	126.91	661.64	20%
- 50° perc. medie 1h	µg/m ³	13.36	2.09	204.80	7%
- media periodo (max dominio)	µg/m ³	31.39	23.94	252.60	12%
benzene (C₆H₆)					
- 100° perc. medie 1h	µg/m ³	5.67	5.29	n.d.	n.d.
- 98° perc. medie 1h	µg/m ³	5.08	4.05	n.d.	n.d.
- 50° perc. medie 1h	µg/m ³	0.31	0.01	n.d.	n.d.
- media periodo (max dominio)	µg/m ³	1.05	0.66	2.20	48%
polveri fini (PM₁₀)					
- 100° perc. medie 1h	µg/m ³	13.08	11.71	n.d.	n.d.
- 98° perc. medie 1h	µg/m ³	9.54	9.45	n.d.	n.d.
- 50° perc. medie 1h	µg/m ³	1.40	0.32	n.d.	n.d.
- 100° perc. medie 24h	µg/m ³	3.97	3.88	135.00	3%
- 98° perc. medie 24h	µg/m ³	3.86	3.81	131.10	3%
- 50° perc. medie 24h	µg/m ³	2.36	1.90	102.50	2%
- media periodo (max dominio)	µg/m ³	2.59	2.02	103.10	3%

note

- (1) - input meteorologico della stazione mobile di qualità dell'aria in Via san Magno;
- (2) - input meteorologico della stazione fissa ARPAV-CMT di Conegliano;
- (3) - dati monitoraggio rilevati con stazione mobile di qualità dell'aria in Via san Magno;
- (4) - il rapporto percentuale tra stima modellistica e misura da stazione mobile è sempre riferito al contributo della stima modellistica più elevata ("caso peggiore");

Tabella 3 Confronto output modellistici sul punto di monitoraggio con stazione mobile ubicata in Via San Magno dal 09/01/2012 al 23/01/2012 in funzione di due alternative input meteorologici (stazione mobile di qualità dell'aria vs. stazione fissa di Conegliano).

Dalla valutazione critica dei risultati in Tabella 3 è possibile trarre alcune considerazioni:

- sull'utilizzo di due alternative configurazioni modellistiche con differenti input meteorologici (Oderzo vs. Conegliano), c'è da rilevare che:
 - la stima con input meteo della stazione mobile posizionata in Via San Magno risulta sistematicamente superiore, anche se di fatto equivalente (stesso ordine di grandezza), alla stima con input meteo della stazione fissa di Conegliano; l'utilizzo dei parametri meteo classici (velocità e direzione del vento, umidità relativa, temperatura e precipitazione) rilevati dalla stazione mobile di Oderzo rende conto, in particolare nel breve periodo, delle condizioni di massimo impatto del traffico stradale ('caso peggiore');
 - la differenza percentuale tra le stime rispetto ai due alternativi input meteo sul 'breve termine' (cioè considerando le corrispondenti medie orarie) è mediamente più marcata rispetto a quella sul 'lungo termine' (media di periodo dal 09/01/2012 al 23/01/2012); considerando il confronto tra i due alternativi input meteorologici, nel 'lungo termine' le stime (*long term*) tendono a convergere in modo più significativo rispetto il breve termine (*short term*): questa osservazione è particolarmente importante per 'giustificare' la possibilità di innestare gli input meteorologici della stazione di Conegliano sul dominio di calcolo considerato ai fini della stima sul lungo termine (stima che altrimenti risulterebbe di fatto impossibile da realizzare); in estrema sintesi, l'utilizzo di alternativi input meteorologici fornisce ulteriori elementi di valutazione sulla 'robustezza' della stima modellistica annuale o pluriennale²³;
- dal confronto tra stime e misure si rileva che solo una percentuale limitata dello stato di qualità dell'aria è 'spiegata' (per mezzo del sistema modellistico) dalle emissioni prodotte dal traffico veicolare; rispetto alla media di periodo, le stime modellistiche rendono conto delle seguenti percentuali di concentrazione degli inquinanti monitorati con stazione mobile di qualità dell'aria: monossido di carbonio 30%, biossido di azoto 27%, ossidi di azoto 12%, benzene 48%, polveri fini 3%; analogamente, rispetto alle medie orarie (50°, 98°, 100° percentile) le stime modellistiche spiegano al massimo il 45 % circa dei valori misurati.

La stima modellistica, nonostante i limiti sopra esplicitati, è comunque riuscita a render conto con un discreto grado di approssimazione dell'andamento temporale delle concentrazioni degli inquinanti. Ad esempio, come rappresentato in Figura 21, le due serie temporali (modello vs. misure) delle concentrazioni medie orarie di biossido di azoto (NO₂) e di ossidi di azoto (NO_x) sono significativamente 'in fase': cioè, 'picchi e valli' di concentrazione misurata corrispondono a 'picchi e valli' di concentrazione stimata, a riprova che il 'segnale ambientale' prodotto dal traffico stradale è stato ben simulato nella dinamica del fenomeno in esame.

Per valutare con maggiore dettaglio precisione ed accuratezza delle stime modellistiche viene

²³ le stime modellistiche sono sempre una 'semplificazione' che presuppone una scelta (ottimale) tra un set limitato di alternative operative: questi aspetti metodologici ripropongono il tipico 'trade-off decisionale' che deriva dal duplice obiettivo di essere 'cautelativi' ed allo stesso tempo 'robusti' rispetto alle assunzioni di calcolo adottate ed alla descrizione più o meno efficace delle condizioni fisico-chimiche di emissione e meteorologiche di dispersione degli inquinanti.

proposto, come esempio, il diagramma di Taylor²⁴ ed il diagramma quantile-quantile in forma condizionata²⁵ per il biossido di azoto (NO₂).

Nel diagramma di Taylor, in Figura 22 (grafico in alto), le statistiche relative alla stima modellistica sono individuate dal punto di colore rosso mentre quelle relative alle misure sono individuate dal punto di colore viola ("observed") posizionato lungo l'asse delle ascisse. In un modello 'ideale perfetto' i due punti (osservazioni vs. stime) coincidono, mentre nella pratica operativa la loro distanza quantifica la 'bontà di adattamento' del modello rispetto alle misure.

Nel grafico in alto di Figura 22 relativo al biossido di azoto (NO₂) :

- la *correlazione* tra stima e osservazione (ossia il grado di accordo tra modello e misure in campo), quantificata dai raggi del settore circolare in colore grigio, è risultata di poco superiore a 0.6;
- la *radice dell'errore quadratico medio (RMSE)*, cioè la differenza media tra stime ed osservazioni (ossia la distanza media in termini di concentrazione tra modello e misure in campo), quantificata attraverso le linee di livello tratteggiate in colore marrone, è risultata inferiore a 20 µg/m³;
- la *deviazione standard*, cioè la variabilità (ossia la dispersione dei valori attorno al valore medio) delle osservazioni è risultata pari a circa 23 µg/m³ che è un valore superiore a quello delle stime così come risulta evidente seguendo l'arco di circonferenza con linea tratteggiata che origina dal punto indicato con "observed" (medie misure in campo).

Nel diagramma quantile-quantile in forma condizionata (cfr. Figura 22, grafico in basso), per una serie temporale di previsioni (asse x) in perfetto accordo con le osservazioni (asse y), ossia in un modello del tutto ideale in cui stime e misure risultano identiche, per ogni intervallo di concentrazione definito (corrispondente all'ampiezza dei singoli istogrammi riportati lungo l'asse x), il valore della mediana delle stime (linea spezzata rossa) è esattamente coincidente con quello delle misure (linea diagonale azzurra).

Per il biossido di azoto (NO₂), nel diagramma quantile-quantile in forma condizionata in Figura 22 (grafico in basso), il data set dei valori di concentrazione è stato suddiviso in intervalli equamente spaziatati di circa 5 µg/m³ (questo intervallo di concentrazione corrisponde alla larghezza degli istogrammi riprodotti in campitura grigia e con bordo azzurro sul cui significato si riferirà con maggiore dettaglio nel seguito).

Il grafico evidenzia un forte *bias* negativo (cioè una sottostima dei valori) che è ben individuato dalla 'distanza' tra la mediana delle stime (linea spezzata di colore rosso) e quella delle misure (linea diagonale di colore azzurro). Si nota, inoltre, un significativo incremento dell'incertezza di stima (ampiezza delle bande relative al 10°/90° ed al 25°/75° percentile attorno alla mediana) per i

24 sintetizza la distanza tra stime e misure (Taylor, 2001) attraverso l'utilizzo di tre indici statistici: il coefficiente di correlazione, la radice dell'errore quadratico medio (RMSE) e la deviazione standard; per la definizione di coefficiente di correlazione si rimanda alla precedente nota 13; RMSE è la misura dell'errore medio di stima (con valore ideale uguale a zero); la deviazione standard è un indice di dispersione che misura la variabilità dei dati; da notare che le medie sono sottratte dai rispettivi dati (osservazioni vs. stime) prima di calcolare le tre statistiche, in modo da fornire informazioni in termini relativi (centrati rispetto alla media);

25 differisce dal 'classico' diagramma quantile-quantile (Q-Q plot) perché utilizza le osservazioni corrispondenti ad un particolare intervallo di previsione (Wilks, 2005); non considera separatamente le distribuzioni di dati osservati (misure) e previsti (stime) ma suddivide il data set in intervalli equamente spaziatati e ne calcola la mediana, il 25°/75° ed il 10°/90° percentile in riferimento ad un determinato intervallo.

valori di concentrazione più elevati: infatti, le bande di incertezza (cioè i percentili), non si estendono per tutta la lunghezza della mediana di previsione (linea rossa) perché il numero di dati non è sufficiente per calcolarle in modo appropriato; quindi, la linea mediana delle stime (linea spezzata rossa) si estende per un intervallo significativamente inferiore rispetto a quello delle misure (linea diagonale azzurra), indicando l'incapacità del modello di simulare in modo efficace i valori più elevati di concentrazione misurati per il biossido di azoto (NO₂).

Nel diagramma quantile-quantile, in Figura 22 (grafico in basso), sono anche rappresentate due serie di istogrammi relativi al numero di osservazioni ("sample size of histograms", come indicato nell'asse y secondario) per ciascun intervallo di concentrazione stimato (istogrammi con campitura di colore grigio) ed osservati (istogrammi con il bordo di colore azzurro); dalla valutazione di questi aspetti del grafico risulta evidente che le stime non sono in grado di riprodurre adeguatamente i livelli di concentrazione più elevati (non c'è una distribuzione simile tra le due serie di istogrammi) ed altresì rendono conto con la massima frequenza (numero di osservazioni) solo di livelli di concentrazione molto bassi (< 5 µg/m³), che è poi un'ulteriore e differente modo di leggere la sistematica sottostima del modello rispetto alle misure.

In sintesi, entrambi i diagrammi riportati in Figura 22 evidenziano in modo estremamente preciso le principali caratteristiche dei *pattern* di concentrazione degli inquinanti 'osservati' rispetto a quelli 'stimati' e forniscono dei criteri valutativi utili per quantificare in modo completamente ripercorribile le *performance* complessive della stima modellistica.

Per brevità non sono riportati i diagrammi di Taylor e quantile-quantile relativi ad altri inquinanti che hanno sempre evidenziato performance complessive inferiori od al massimo paragonabili a quelle del biossido di azoto (NO₂).

Infine, nei due grafici in Figura 23 viene proposto per le polveri fini (PM₁₀) il confronto tra stime modellistiche e misure effettivamente 'disponibili' e cioè le medie:

- orarie rilevate dalla stazione fissa ubicata nel Comune di Mansuè (grafico in alto);
- giornaliere rilevate dalla stazione mobile posizionata in Via San Magno ad Oderzo (grafico in basso).

Anche in questo caso, risulta evidente che la stima modellistica riesce a spiegare solo una frazione molto limitata delle concentrazioni ambientali misurate (circa 3%) presso i siti utilizzati come confronto. In particolare, nel grafico in basso di Figura 23, il confronto tra le concentrazioni stimate da modello (cfr. linea azzurra) e la differenza di concentrazione (cfr. linea arancio) tra le stazioni di Mansuè (fondo rurale) e di Oderzo (traffico) rappresenta il tentativo di 'allocare' rispetto alle misure la frazione di PM₁₀ dovuta al traffico veicolare e permette di verificare che quest'ultima è almeno dello stesso ordine di grandezza delle stime modellistiche.

Concludendo, la differenza tra stime (modellistiche) e misure (in campo) rende conto della complessità dell'ambiente atmosferico che non è semplicemente riconducibile ad una 'relazione lineare' tra fonti di pressione e concentrazioni degli inquinanti: è infatti necessario considerare molteplici fattori determinanti (spesso difficilmente parametrizzabili) quali, ad esempio la caratterizzazione e la descrizione della geometria e delle condizioni di esercizio della sorgente, le trasformazioni chimico-fisiche dell'atmosfera, le condizioni meteo-climatiche e micro-meteorologiche, gli effetti topografici ed orografici, e le 'condizioni al contorno'.

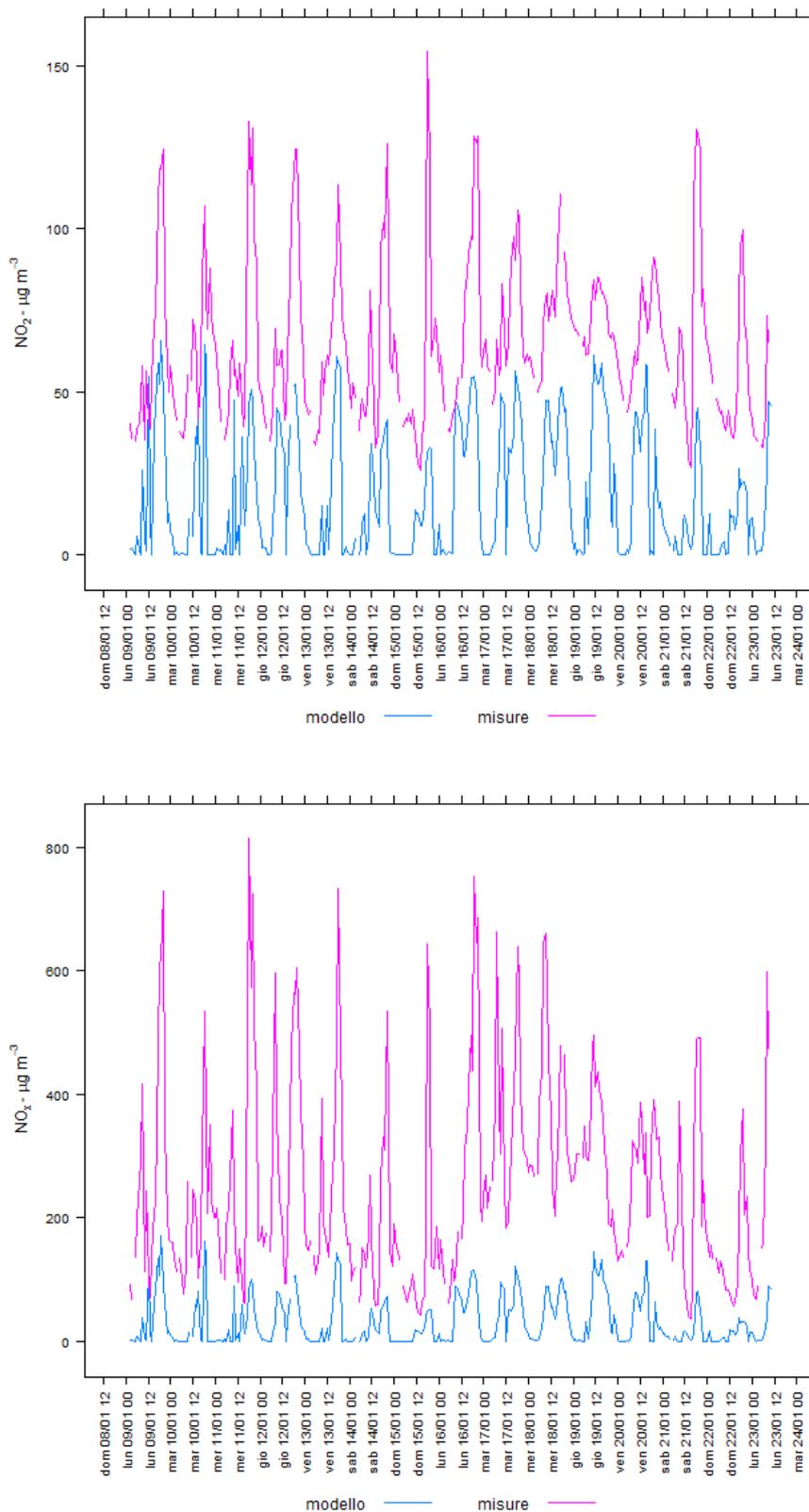


Figura 21 Confronto medie orarie tra stime modellistiche (linea azzurra) e misure in campo (linea viola) per gli inquinanti biossido di azoto (NO_2 , in alto) ed ossidi di azoto (NO_x , in basso).

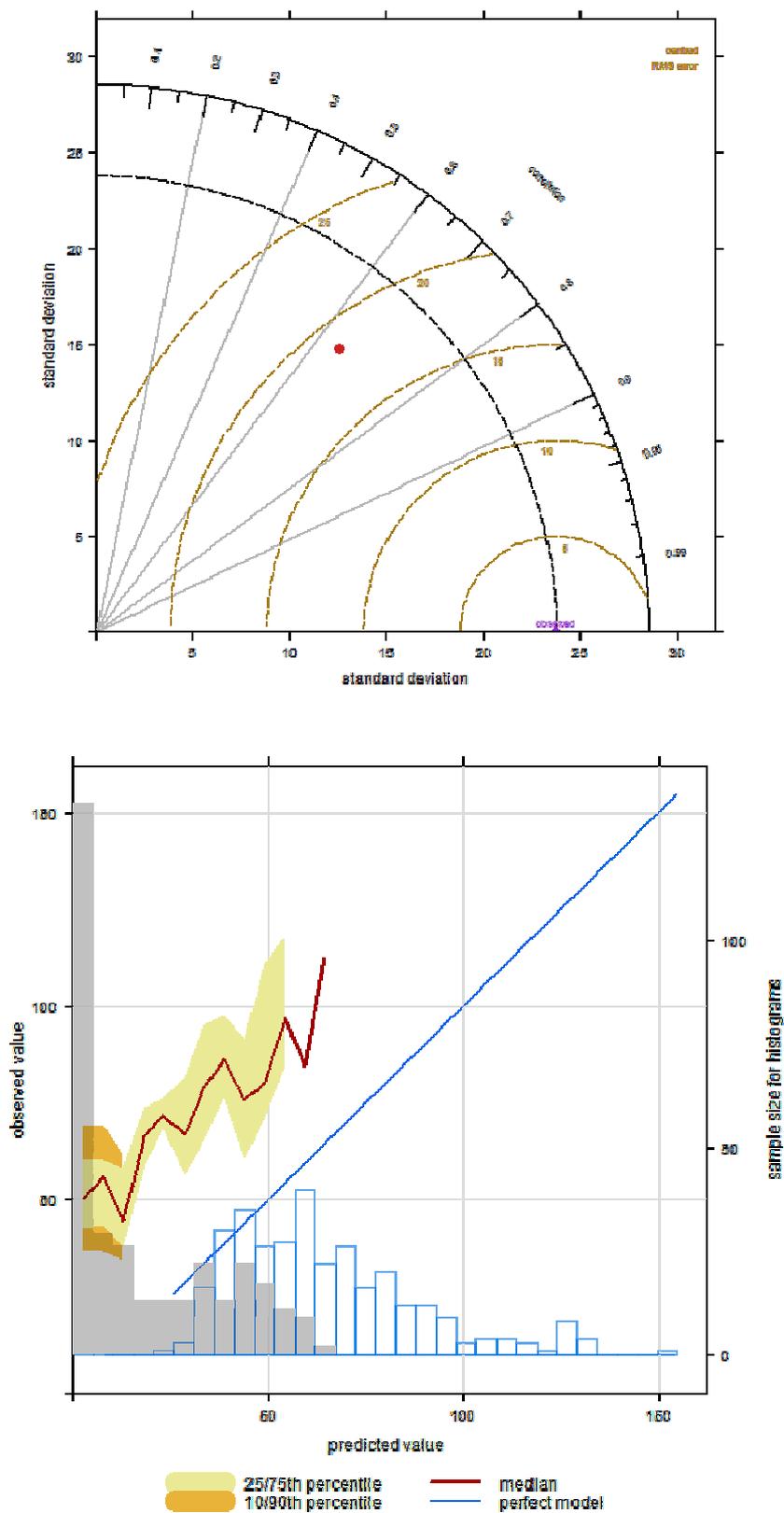


Figura 22 Biossido di azoto (NO_2), confronto statistico tra misure e stime modellistiche: diagramma di Taylor (grafico in alto) e diagramma quantile-quantile in forma condizionata (grafico in basso); per una spiegazione dettagliata sulla lettura dei grafici si rimanda al testo.

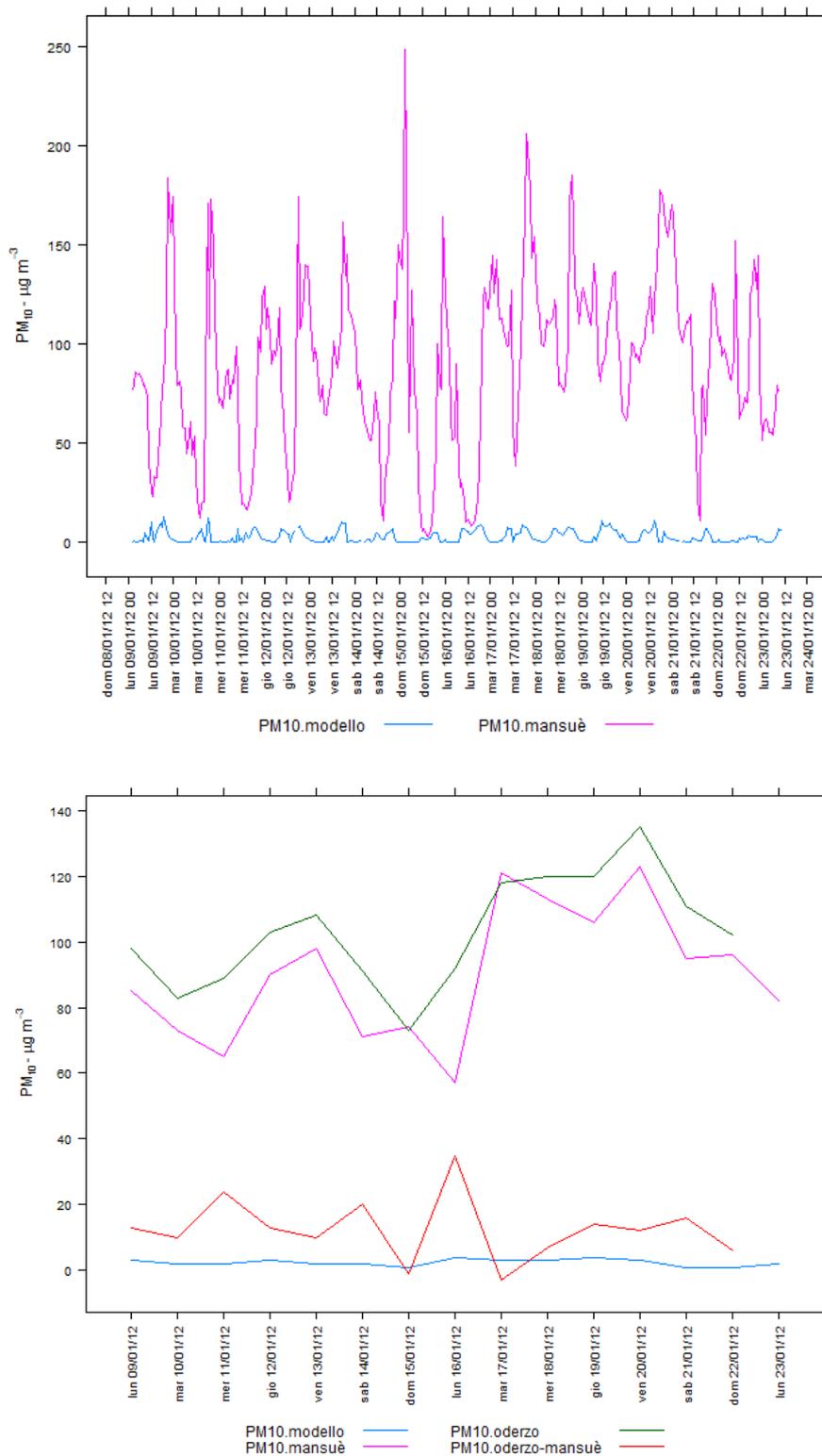


Figura 23 Confronto tra stime modellistiche e misure in campo per il PM10 sulle medie orarie (grafico in alto) e sulle medie giornaliere (grafico in basso); per quest'ultime viene proposto anche il confronto con la differenza di concentrazione (linea arancio) tra i valori misurati presso la stazione mobile di Oderzo e quella fissa di Mansuè.

Verificato che, sulla base dei dati in Tabella 3, le concentrazioni di inquinanti sul 'lungo periodo', calcolate in funzione di alternativi input meteorologici convergono in modo significativo, appare 'necessariamente giustificata' la scelta di utilizzare la stazione meteorologica di Conegliano per le stime su base annuale (altrimenti tecnicamente impossibili).

In Tabella 4 sono presentate le stime modellistiche di concentrazione degli inquinanti emessi dal traffico veicolare relative al triennio 2009-2011 ed al punto di monitoraggio di Via San Magno. Per gli ossidi di azoto (NO_x) va considerata l'assunzione, definita qui ai fini della valutazione del rispetto dei limiti normativi, che gli inquinanti emessi dai veicoli stradali sono costituiti da solo da NO_2 , secondo l'ipotesi cautelativa di una completa trasformazione di NO in NO_2 (con NO_x si intende, usualmente, una miscela in rapporto stechiometrico definito di NO e NO_2). In questo senso, il confronto delle concentrazioni di ossidi di azoto (NO_x) con il limite normativo di $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ effettivamente previsto per il biossido di azoto (NO_2) è da intendere in termini esclusivamente cautelativi.

inquinante stimato e parametro di valutazione	u.m.	valore limite (VL)	stime modellistiche annuali			
			2009	2010	2011	%VL ^(e)
monossido di carbonio (CO)						
- 100° perc. medie 8h	mg/m ³	10	0.44	0.44	0.41	4.4%
- media anno	mg/m ³	-	0.10	0.11	0.10	-
biossido di azoto (NO₂)						
- 100° perc. medie 1h	μg/m ³	-	66.71	66.01	66.38	-
- 99.8° perc. medie 1h ^(a)	μg/m ³	200	64.40	64.65	64.65	32.3%
- media anno	μg/m ³	40	15.71	16.38	15.67	41.0%
ossidi di azoto (NO_x)						
- 100° perc. medie 1h	μg/m ³	-	177.41	172.72	175.19	-
- 99.8° perc. medie 1h ^(a)	μg/m ³	200 ^(b)	162.65	164.17	164.15	82.1%
- media anno	μg/m ³	30 ^(c)	26.56	27.94	26.42	93.1%
benzene (C₆H₆)						
- 100° perc. medie 1h	μg/m ³	-	6.39	6.39	6.26	-
- media anno	μg/m ³	5	0.78	0.83	0.77	16.6%
polveri fini (PM10)						
- 100° perc. medie 24h	μg/m ³	-	4.73	5.96	5.14	-
- 90.1° perc. medie 24 h ^(d)	μg/m ³	50	3.64	3.71	3.60	7.4%
- media anno	μg/m ³	40	2.33	2.44	2.32	6.1%

note

- (a) - coincide con la valutazione del 19° valore più alto della serie annuale di medie orarie;
 (b) - la valutazione del limite $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ viene proposta nell'ipotesi cautelativa che tutti gli ossidi di azoto (NO_x) siano costituiti da biossido di azoto (NO_2);
 (c) - il valore limite per la protezione della vegetazione è correttamente applicabile solo a zone diverse dagli agglomerati urbani (ex DLgs 155/2010), cioè per aree rurali o di fondo;
 (d) - coincide con la valutazione del 36° valore più alto della serie annuale di medie giornaliere;
 (e) - la percentuale di "saturazione" del valore limite è riferita al valore della stima modellistica più elevata relativa al triennio 2009-2011 ("caso peggiore");

Tabella 4 Stime modellistiche per il triennio 2009-2011 relative al punto corrispondente al posizionamento della stazione mobile di qualità dell'aria in Via San Magno (coordinate Gauss-Boaga fuso Ovest, X = 1770683, Y = 5076352); le concentrazioni di inquinanti emessi dal traffico veicolare lungo Via Camaldolesi sono state stimate innestando nel dominio di calcolo la stazione meteorologica di Conegliano.

Dalla valutazione dei risultati in Tabella 4 sono possibili alcune considerazioni:

- le condizioni meteorologiche relative al triennio 2009-2011 non introducono una

significativa variabilità nelle stime modellistiche: la valutazione rispetto ai parametri normativi mostra una sostanziale stabilità dei valori nel tempo;

- le stime dei parametri normativi, sia a breve che a lungo termine relative al triennio 2009-2011, sono risultate per tutti gli inquinanti sempre inferiori ai corrispondenti valori limite; presso il punto corrispondente al posizionamento della stazione mobile di qualità dell'aria in Via San Magno, le emissioni prodotte dal traffico veicolare lungo Via Camaldolesi non determinano di per sé, cioè in via esclusiva, il superamento dei valori limite normativi (c'è da considerare che il traffico non è l'unico determinante dello stato di qualità dell'aria);
- il contributo del traffico rispetto alla percentuale di 'saturazione' dei valori limite di qualità dell'aria a lungo termine (medie annuali) varia a seconda del tipo di inquinante da un minimo del 6% per il PM₁₀ ad un massimo del 93% per gli NO_x (la percentuale è riferita al valore limite per la protezione della vegetazione che è correttamente applicabile, secondo quanto stabilito dal DLgs 155/2010, solo a zone diverse dagli agglomerati urbani cioè per aree rurali o di fondo); considerando in termini più appropriati i valori limite per il biossido di azoto (NO₂), la percentuale di saturazione scende significativamente al 41%; rispetto ai valori limite orari (percentili) le corrispondenti stime oscillano da un minimo del 7% per il PM10 ad un massimo dell'82% per gli NO_x (32% per NO₂); è comunque evidente che stime riferite a brevi tempi di mediazione (percentili orari) sono necessariamente caratterizzate da un grado di incertezza sensibilmente più elevato;
- le concentrazioni stimate presso il punto corrispondente al posizionamento della stazione mobile di qualità dell'aria in Via San Magno sono risultate significative²⁶ per tutti gli inquinanti; in particolare per gli ossidi di azoto (NO_x e NO₂) che sono tra gli inquinanti che presuppongono l'impatto ambientale maggiore.

E' da tener presente che tutte le considerazioni sopra esposte si riferiscono *esclusivamente* al punto di monitoraggio con stazione mobile ubicato in Via San Magno a circa 5 metri dal bordo stradale di Via Camaldolesi (circa 10 m dal centro strada, cioè in una posizione di *hot spot da traffico* non rappresentativa dell'esposizione media della popolazione); ricordiamo, infatti, che la scelta del punto di monitoraggio di qualità dell'aria è stata effettuata esclusivamente per validare e confrontare più agevolmente le stime modellistiche di dispersione degli inquinanti.

Le valutazioni sullo stato di qualità dell'aria vanno contestualizzate rispetto alla *distribuzione spaziale* degli inquinanti emessi dal traffico veicolare. In Appendice II sono presentate in cartografia tematica le mappe di distribuzione delle concentrazioni medie annuali relative al 2011 per gli inquinanti: benzene (C₆H₆, Tavola 2), monossido di carbonio (CO, Tavola 3), ossidi di azoto (NO_x, Tavola 4), e poveri fini (PM10, Tavola 5). Si rileva che i valori più elevati di concentrazione (valori massimi di domino) sono sempre stimati per punti collocati al centro dell'asse stradale, si 'diluiscano' molto rapidamente verso il bordo e raggiungono a circa 25-30 m di distanza, valori che si assestano su concentrazioni medie annuali estremamente limitate: < 0.4 µg/m³ per C₆H₆, < 0.05 mg/m³ per CO, < 11 µg/m³ per NO_x, < 1 µg/m³ per PM₁₀.

²⁶ un criterio pratico adottato nelle valutazioni di impatto ambientale è quello di considerare 'significativi' gli impatti superiori al 5% del corrispondente valore limite stabilito dalla normativa.

2.2.5 Altre stime modellistiche (Via Verdi, Via Maggiore, Via Postumia)

In questo paragrafo sono discussi i risultati delle valutazioni modellistiche che, dai rilievi del numero di mezzi in transito lungo gli altri tre archi stradali considerati nel progetto “TI-AR-CO” (Via Verdi, Via Maggiore, Via Postumia), ha fornito la stima delle concentrazioni ambientali di inquinanti atmosferici prodotti dal traffico veicolare.

In Figura 24 sono messi a confronto i flussi totali di mezzi rilevati lungo Via Maggiore, Via Postumia e Via Verdi²⁷ con l’obiettivo di valutare l’entità relativa del traffico rispetto al giorno tipo della settimana (in alto), al giorno medio della settimana (in basso a sinistra) ed al giorno tipo dell’intero periodo di monitoraggio (in basso a destra).

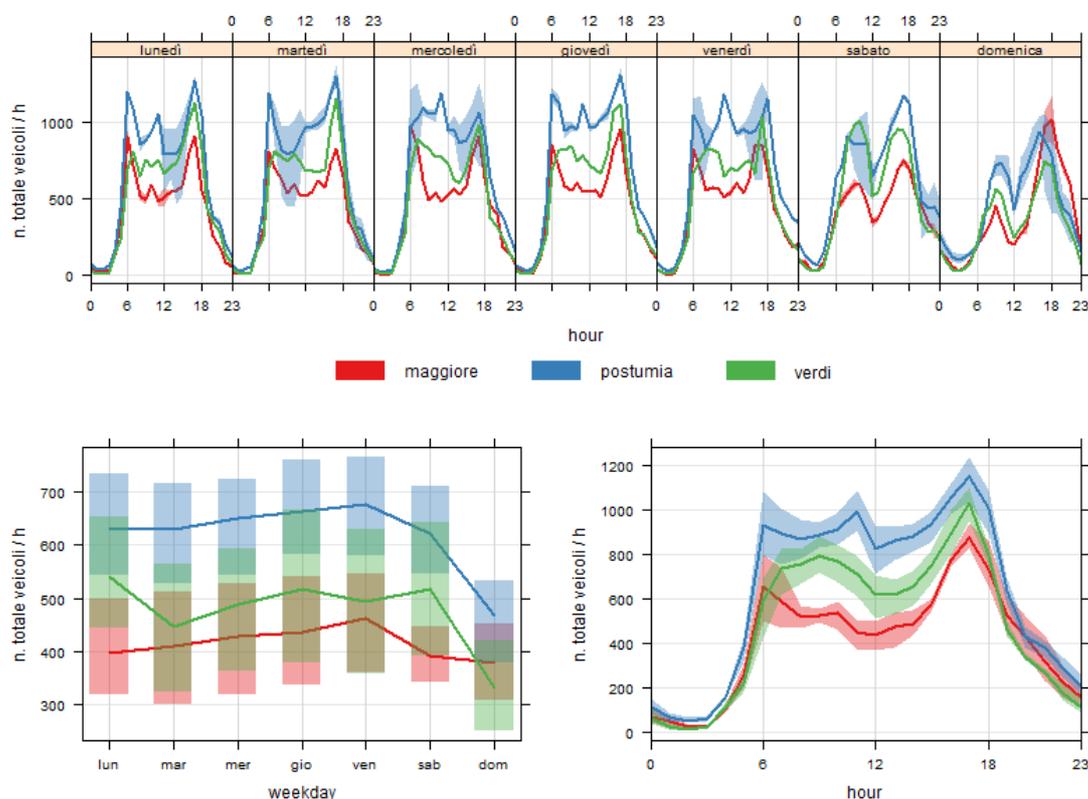


Figura 24 Confronto tra i flussi di traffico (espressi come n. totale veicoli/h) monitorati in Via Verdi (dal 23/05/2011 al 31/05/2011), Via Maggiore (dal 01/07/2011 al 11/07/2011) e Via Postumia (dal 21/09/2011 al 13/10/2011), stratificati per giorno tipo della settimana (in alto), giorno medio della settimana (in basso a sinistra) e giorno tipo (in basso a destra).

Dall’analisi dei grafici risulta che:

- dal punto di vista quantitativo, Via Postumia è la strada più trafficata (media giornaliera circa 620 veicoli/h); seguono in ordine decrescente, Via Verdi (media giornaliera circa 476 veicoli/h) e Via Maggiore (media giornaliera circa 415 veicoli/h);

²⁷ riferiti a periodi differenti secondo la programmazione del progetto “TI-AR-CO”: dal 23/05/2011 al 31/05/2011 per Via Verdi, dal 01/07/2011 al 11/07/2011 per Via Maggiore, dal 21/09/2011 al 13/10/2011 per Via Postumia

- dal punto di vista qualitativo, nei giorni feriali dal lunedì al venerdì, si notano tipicamente due punte di traffico di entità confrontabile, una al mattino e l'altra al pomeriggio, mentre nel periodo di 'morbida', a metà giornata, si verifica (spesso) un'ulteriore punta di entità variabile ma generalmente ridotta rispetto alle precedenti; nei giorni prefestivi e festivi (sabato e domenica), i flussi di traffico calano sensibilmente (di circa il 10-15% rispetto alla media feriale) ed evidenziano distintamente solo due punte: una più ridotta, a metà mattina, e l'altra più marcata, nel tardo pomeriggio.

Le valutazioni sui flussi di traffico saranno presentate con maggiore dettaglio nel seguito del presente paragrafo dove sono analizzate, singolarmente per ciascun arco stradale, anche le stime sulle concentrazioni di inquinanti atmosferici emessi dai veicoli in transito.

Via Verdi

I risultati del monitoraggio del traffico dal 23/05/2011 al 31/05/2011 sono sinteticamente riassunti nel grafico in Figura 25 che presenta i flussi di mezzi leggeri e pesanti e la velocità di percorrenza, normalizzati rispetto alla media, ed aggregati rispetto a differenti intervalli temporali.

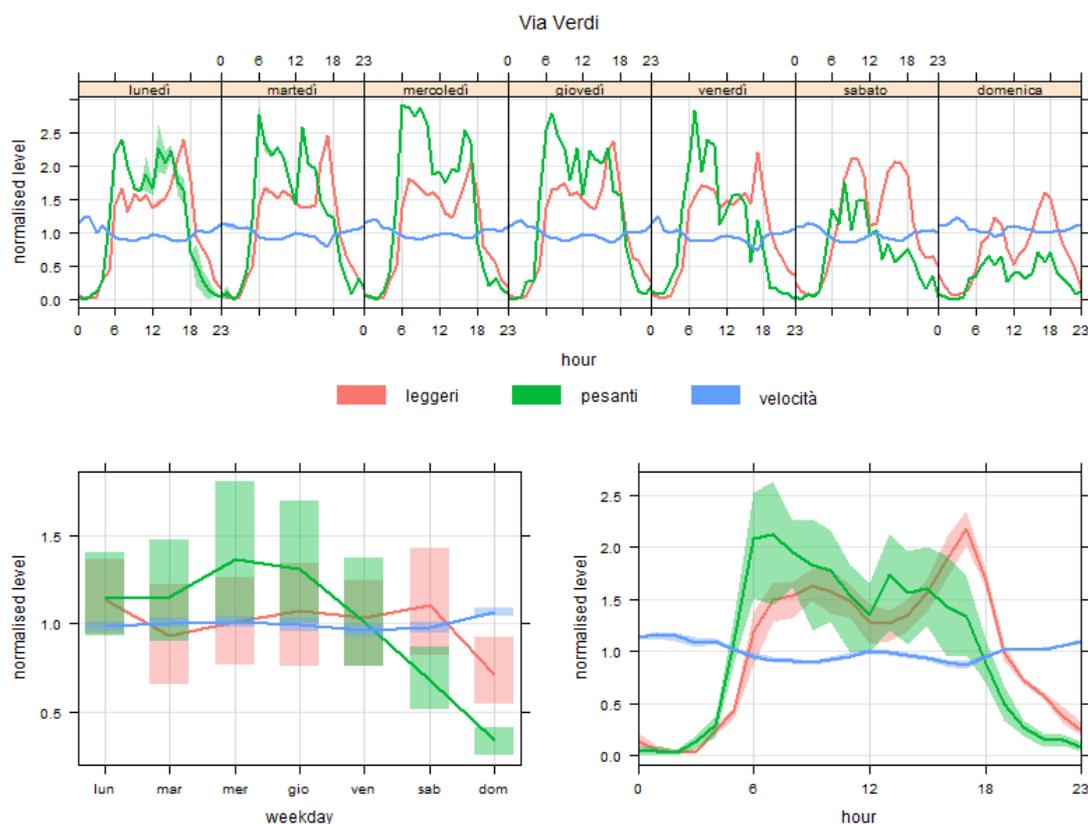


Figura 25 Via Verdi: flussi orari di mezzi leggeri e pesanti, velocità di percorrenza normalizzati rispetto alla media e stratificati per giorno tipo della settimana (in alto), giorno medio della settimana (in basso a sinistra) e giorno tipo (in basso a destra).

Dai grafici in Figura 25 (e per confronto con quelli in Figura 24) risulta che:

- nei giorni feriali dal lunedì al venerdì, le variazioni (notte vs. di) dei flussi di traffico sono molto marcate: le punte al mattino ed al pomeriggio raggiungono valori 2.5 volte superiori alla media giornaliera (circa 476 veicoli/h) mentre nelle ore notturne, tipicamente dalle 20

alle 4, si toccano i livelli di minima quantificabili in poche unità di veicoli/h; nei giorni prefestivi e festivi (sabato, domenica), i flussi calano sensibilmente, in modo particolare per i mezzi pesanti che si riducono drasticamente a partire da metà giornata del sabato;

- la ripartizione modale del traffico è pressoché totalmente spostata verso i mezzi leggeri (circa 450 veicoli/h) mentre quelli pesanti rendono conto di una percentuale limitata (< 5%, circa 20 veicoli/h); le variazioni orarie della velocità di percorrenza, sia per i pesanti che per i leggeri, sono sostanzialmente molto ridotte, e rimangono sempre prossime al valore medio giornaliero (circa 60 km/h).

Dal conteggio dei flussi di traffico, e dalla valutazione delle emissioni, sono state ricavate le stime annuali di concentrazioni degli inquinanti atmosferici emessi dal traffico veicolare.²⁸

In Tabella 5 sono riportate le stime modellistiche riferite al triennio 2009-2011 per monossido di carbonio (CO), biossido di azoto (NO₂), ossidi di azoto (NO_x), e polveri fini (PM₁₀) con un confronto rispetto ai corrispondenti limiti normativi di qualità dell'aria.

inquinante stimato e parametro di valutazione	u.m.	valore limite (VL)	stime modellistiche annuali				punto ^(f)
			2009	2010	2011	%VL ^(e)	
monossido di carbonio (CO)							
- 100° perc. medie 8h	mg/m ³	10	0.50	0.52	0.48	5.2%	X = 1772127 Y = 5076657
- media anno (max dominio)	mg/m ³	-	0.20	0.19	0.20	-	
biossido di azoto (NO₂)							
- 100° perc. medie 1h	µg/m ³	-	56.55	56.44	56.20	-	X = 1772051 Y = 5073841
- 99.8° perc. medie 1h ^(a)	µg/m ³	200	54.64	54.14	54.58	27.3%	
- media anno (max dominio)	µg/m ³	40	22.86	22.53	23.15	57.9%	
ossidi di azoto (NO_x)							
- 100° perc. medie 1h	µg/m ³	-	122.87	122.43	121.40	-	X = 1772127 Y = 5076657
- 99.8° perc. medie 1h ^(a)	µg/m ³	200 ^(b)	115.00	113.01	114.76	57.5%	
- media anno (max dominio)	µg/m ³	30 ^(c)	37.33	36.73	37.83	126.1%	
benzene (C₆H₆)							
- 100° perc. medie 1h	µg/m ³	-	8.03	8.12	8.03	-	X = 1772127 Y = 5076657
- media anno (max dominio)	µg/m ³	5	1.74	1.70	1.78	35.6%	
polveri fini (PM₁₀)							
- 100° perc. medie 24h	µg/m ³	-	5.62	5.97	5.81	-	X = 1772051 Y = 5076841
- 90.1 perc. medie 24 h ^(d)	µg/m ³	50	4.86	4.96	5.04	10.1%	
- media anno (max dominio)	µg/m ³	40	3.55	3.51	3.58	9.0%	

note

- (a) - coincide con la valutazione del 19° valore più alto della serie annuale di medie orarie;
 (b) - la valutazione del limite 200 µg/m³ viene proposta nell'ipotesi cautelativa che tutti gli ossidi di azoto (NO_x) siano costituiti da biossido di azoto (NO₂);
 (c) - il valore limite per la protezione della vegetazione è correttamente applicabile solo a zone diverse dagli agglomerati urbani (ex DLgs 155/2010), cioè per zone rurali o di fondo;
 (d) - coincide con la valutazione del 36° valore più alto della serie annuale di medie giornaliere;
 (e) - la percentuale di "saturazione" del valore limite è sempre riferita alla stima modellistica più elevata relativa al triennio 2009-2011 ("caso peggiore");
 (f) - coordinate Gauss-Boaga fuso Ovest corrispondenti al punto in cui si verifica la concentrazione media annuale (massimo di dominio) più elevata relativa al triennio 2009-2011 ("caso peggiore");

Tabella 5 Stime modellistiche per il triennio 2009-2011 relative al dominio di calcolo incentrato su Via Verdi; le concentrazioni di inquinanti prodotte dal traffico veicolare sono state stimate con input meteorologico della stazione di Conegliano.

²⁸ in estrema sintesi, la catena modellistica, analogamente al caso di Via Camaldolesi, prevede: il conteggio dei flussi di traffico, la stima COPERT delle emissioni e la stima ADMS-Urban delle concentrazioni degli inquinanti atmosferici.

Per inquadrare in termini più appropriati le stime di Tabella 5 è necessario premettere che sono riferite a punti di massimo di dominio, cioè alle 'condizioni peggiori' del grigliato di calcolo che coincidono sempre con il centro dell'asse stradale: conseguentemente, le stime riferiscono sullo stato di qualità dell'aria rispetto ad un punto che non può essere considerato rappresentativo dell'esposizione media della popolazione. D'altro canto, come riscontrabile anche dalla cartografia tematica in Appendice II (Tavola 6 e seguenti), le concentrazioni di inquinanti stimate da modello tendono a 'diluirsi' in modo repentino con l'allontanarsi dall'asse stradale e già a circa 20-30 metri di distanza dal bordo strada sono ridotte a livelli minimi.

Considerato quanto esposto, dalla valutazione critica dei risultati in Tabella 5, è possibile trarre le seguenti ulteriori considerazioni:

- le condizioni meteorologiche riferite al triennio 2009-2011 rendono conto di una forte stabilità delle stime modellistiche degli inquinanti atmosferici e conseguentemente della valutazione dei limiti normativi dello stato di qualità dell'aria;
- per tutti gli inquinanti, con la sola eccezione degli ossidi di azoto (NO_x) su cui si riferirà più in dettaglio al punto successivo, le stime dei parametri normativi sono risultate sempre inferiori ai corrispondenti valori limite; il contributo del traffico rispetto alla 'saturazione' dei limite normativi è variabile a seconda del tipo di inquinante e del tempo di mediazione considerato (con percentuali di circa 5% per CO, 27-58% per NO_2 , 36% per C_6H_6 e 9-10% per PM_{10});
- per gli ossidi di azoto (NO_x), i valori stimati della media annuale sembrano indicare (ma in modo evidentemente erronéo) un 'conclamato' superamento del valore limite stabilito dalla normativa (+ 26%); c'è però da considerare attentamente quanto già detto riguardo alla limitata rappresentatività del punto di stima (massimo di domino coincidente con l'asse stradale) ed all'effettiva applicabilità di questo valore limite che è stato definito per la protezione della vegetazione in zone rurali o di fondo.

In Tavola 6 è rappresentata in cartografia tematica per l'anno 2011 la distribuzione spaziale delle concentrazioni medie di ossidi di azoto (NO_x) che è l'inquinante da traffico per cui è stato stimato l'impatto ambientale più significativo. Dalla mappa emerge chiaramente che, a partire dal centro dell'asse stradale, le concentrazioni medie annuali di NO_x degradano molto rapidamente verso l'esterno, raggiungendo livelli di concentrazione modesti od addirittura trascurabili già a pochi metri di distanza dal bordo stradale (25-30 metri).²⁹

Via Maggiore

Nei grafici in Figura 26 sono rappresentati i flussi di mezzi leggeri e pesanti e la velocità di percorrenza, normalizzati rispetto alla media di periodo dal 01/07/2011 al 11/07/2011 ed aggregati rispetto a differenti intervalli temporali.

Nei giorni feriali dal lunedì al venerdì, si registrano tipicamente due punte di traffico al mattino ed al pomeriggio, che nel caso dei mezzi leggeri sono ben definite e raggiungono valori fino a 2 volte superiori alla media giornaliera (circa 400 veicoli/h); nel caso dei mezzi pesanti, invece, la ripartizione oraria giornaliera è distribuita in modo molto meno riconoscibile a causa di una

²⁹ per brevità non sono riportate le tavole di cartografia tematica relative alla distribuzione spaziale di monossido di carbonio (CO), benzene (C_6H_6), biossido di azoto (NO_2) e polveri fini (PM_{10}) poiché, di fatto, forniscono le stesse informazioni sulla distribuzione spaziale degli inquinanti emessi dal traffico;

maggiore variabilità complessiva dei flussi (anche considerando che i mezzi pesanti rappresentano solo una quota minima del totale circolante su Via Maggiore: < 5%).

Nei giorni prefestivi e festivi (sabato e domenica), i flussi di mezzi pesanti calano in modo significativo riducendosi a poche unità/ora, mentre per i mezzi leggeri si verifica una sostanziale redistribuzione e diluizione dei flussi all'interno della giornata che lascia sostanzialmente invariato il numero complessivo di veicoli in transito (variazione <10%, con una media dal lunedì al venerdì di circa 410 veicoli/h mentre per il sabato e la domenica di circa 380 veicoli/h).

Le variazioni orarie della velocità di percorrenza, sia per i mezzi pesanti che per quelli leggeri, sono sostanzialmente molto limitate e rimangono sempre prossime al valore medio giornaliero di circa 45 km/h.

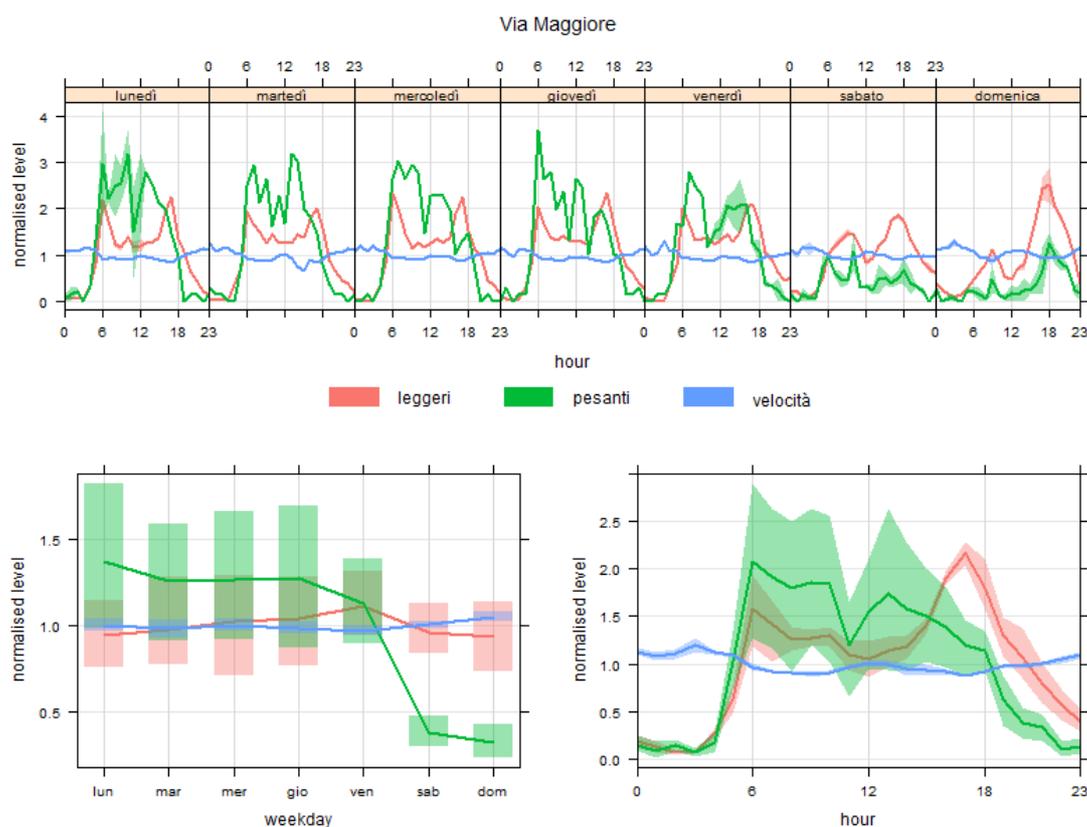


Figura 26 Via Maggiore: flussi orari di mezzi leggeri e pesanti, velocità di percorrenza normalizzati rispetto alla media e stratificati per giorno tipo della settimana (in alto), giorno medio della settimana (in basso a sinistra) e giorno tipo (in basso a destra).

Dal conteggio dei flussi di traffico, e dalla valutazione delle emissioni, sono state ricavate le stime annuali di concentrazioni degli inquinanti atmosferici prodotti dal traffico veicolare lungo Via Maggiore che sono riportate in dettaglio in Tabella 6.

Le stime modellistiche riferite al triennio 2009-2011 per monossido di carbonio (CO), biossido di azoto (NO₂), ossidi di azoto (NO_x) e polveri fini (PM₁₀) non hanno evidenziato superamenti dei valori limite di qualità dell'aria. Anche in questo caso è necessario ricordare che le stime sono sempre riferite al massimo di dominio che si verifica su punti collocati al centro strada, fornisce una simulazione del 'caso peggiore' che però non è direttamente correlabile con la valutazione della possibile esposizione della popolazione.

Dai risultati in Tabella 6 sono possibili le seguenti considerazioni:

- la forte stabilità dei valori di stima in funzione di differenti input meteorologici (cfr. stime triennio 2009-2011);
- il contributo del traffico rispetto alla percentuale di 'saturazione' dei valori limite normativi di qualità dell'aria è significativo ma spazialmente limitato; tutti gli inquinanti sono risultati inferiori ai corrispondenti limiti normativi: l'unica eccezione riguarda gli ossidi di azoto (NO_x) rispetto ai quali valgono però, ancora una volta, le considerazioni già viste sulle assunzioni di stima (tutto NO_x come NO₂) e sull'applicabilità dei valori limite (per la protezione della vegetazione).

inquinante stimato e parametro di valutazione	u.m.	valore limite (VL)	stime modellistiche annuali				punto ^(f)
			2009	2010	2011	%VL ^(e)	
monossido di carbonio (CO)							
- 100° perc. medie 8h	mg/m ³	10	0.64	0.58	0.57	6.4%	X = 1774297 Y = 5073685
- media anno (max dominio)	mg/m ³	-	0.22	0.22	0.22		
biossido di azoto (NO₂)							
- 100° perc. medie 1h	µg/m ³	-	55.93	55.31	55.67	-	X = 1774297 Y = 5073685
- 99.8° perc. medie 1h ^(a)	µg/m ³	200	53.89	53.17	53.72	26.9%	
- media anno (max dominio)	µg/m ³	40	20.08	19.81	20.50	51.3%	
ossidi di azoto (NO_x)							
- 100° perc. medie 1h	µg/m ³	-	120.28	117.69	119.19	-	X = 1774297 Y = 5073685
- 99.8° perc. medie 1h ^(a)	µg/m ³	200 ^(b)	112.03	109.29	111.40	56.0%	
- media anno (max dominio)	µg/m ³	30 ^(c)	32.08	31.52	32.92	109.7%	
benzene (C₆H₆)							
- 100° perc. medie 1h	µg/m ³	-	9.19	9.24	9.10	-	X = 1774297 Y = 5073685
- media anno (max dominio)	µg/m ³	5	1.77	1.74	1.84	36.8%	
polveri fini (PM10)							
- 100° perc. medie 24h	µg/m ³	-	5.12	5.30	6.41	-	X = 1774297 Y = 5073685
- 90.1 perc. medie 24 h ^(d)	µg/m ³	50	4.46	4.57	4.63	9.3%	
- media anno (max dominio)	µg/m ³	40	3.25	3.21	3.31	8.3%	

note

- (a) - coincide con la valutazione del 19° valore più alto della serie annuale di medie orarie;
- (b) - la valutazione del limite 200 µg/m³ viene proposta nell'ipotesi cautelativa che tutti gli ossidi di azoto (NO_x) siano costituiti da biossido di azoto (NO₂);
- (c) - il valore limite per la protezione della vegetazione è correttamente applicabile solo a zone diverse dagli agglomerati urbani (ex DLgs 155/2010), cioè per zone rurali o di fondo;
- (d) - coincide con la valutazione del 36° valore più alto della serie annuale di medie giornaliere;
- (e) - la percentuale di "saturazione" del valore limite è riferita alla stima modellistica più elevata relativa al triennio 2009-2011 ("caso peggiore");
- (f) - coordinate Gauss-Boaga fuso Ovest corrispondenti al punto in cui si verifica la concentrazione media annuale (max dominio) più elevata relativa al triennio 2009-2011 ("caso peggiore");

Tabella 6 Stime modellistiche per il triennio 2009-2011 relative al dominio di calcolo incentrato su Via Maggiore; le concentrazioni di inquinanti emessi dal traffico veicolare sono state stimate con input meteorologico della stazione di Conegliano.

Infine, in Tavola 7 (Appendice II) è rappresentata per l'anno 2011 la distribuzione spaziale delle concentrazioni medie di ossidi di azoto (NO_x) da cui risulta che, a partire dal centro dell'asse stradale, l'inquinamento prodotto dal traffico si 'diluisce' molto rapidamente raggiungendo livelli minimi già a circa 25-30 metri dal bordo stradale.

Via Postumia

I risultati del monitoraggio del traffico dal 21/09/2011 al 13/10/2011 sono riassunti nei grafici in Figura 27 che presentano i flussi di mezzi leggeri e pesanti e la velocità di percorrenza, normalizzati rispetto alla media, ed aggregati rispetto a differenti intervalli temporali.

Nei giorni feriali, dal lunedì al venerdì, si registrano tipicamente due punte di traffico, una al mattino (ore 6-7, 900 veicoli/h circa) e l'altra al pomeriggio (ore 17-18, 1100 veicoli/h circa); tra queste si inserisce un periodo di 'morbida' caratterizzato da un'altra punta a metà giornata (ore 11-12, 900 veicoli/h circa). Queste considerazioni valgono sia per i mezzi leggeri che per quelli pesanti in transito lungo il tratto stradale di Via Postumia che registra una velocità media di percorrenza sostanzialmente costante nell'arco dell'intera giornata (52 km/h). La ripartizione modale del traffico è quasi totalmente spostata verso i mezzi leggeri; nel corso della settimana lavorativa dal lunedì al venerdì, si registrano circa 600 veicoli leggeri/h rispetto ai circa 40 veicoli pesanti/h; nella fine settimana, sabato e domenica, il flusso di mezzi leggeri cala di circa il 15% mentre i mezzi pesanti si riducono significativamente di quasi il 50%.

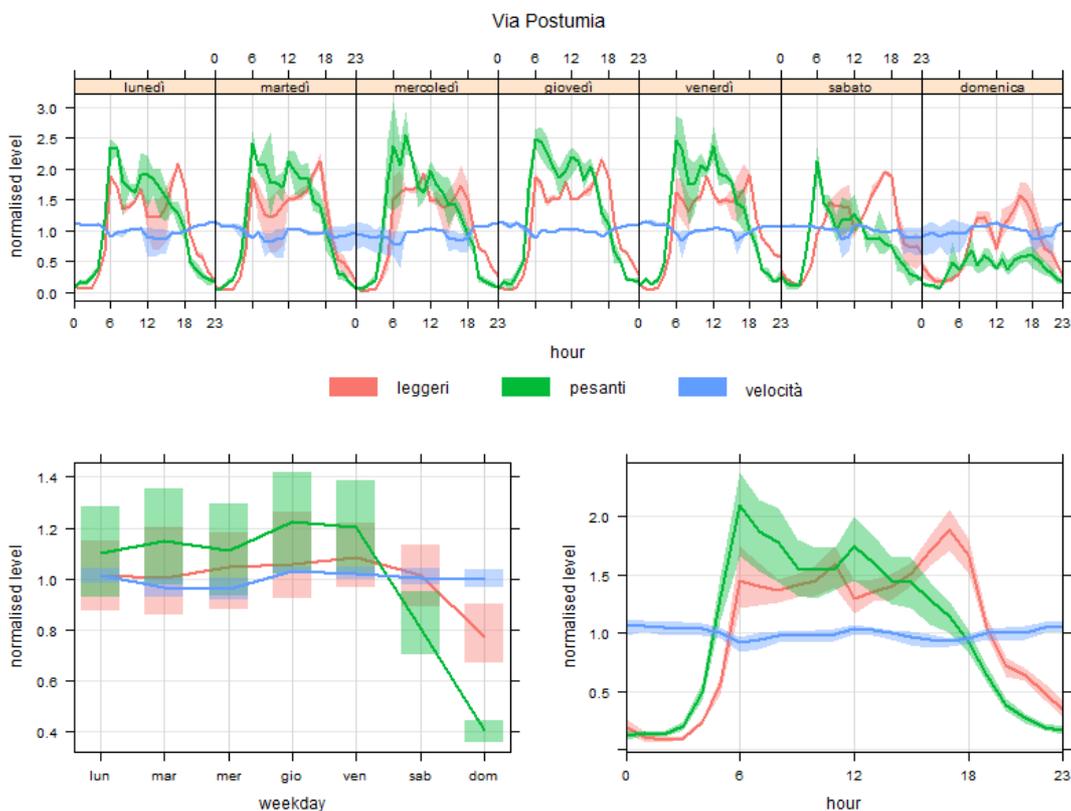


Figura 27 Via Postumia: flussi orari di mezzi leggeri e pesanti, velocità di percorrenza normalizzati rispetto alla media e stratificati per giorno tipo della settimana (in alto), giorno medio della settimana (in basso a sinistra) e giorno tipo (in basso a destra).

Le stime relative per il triennio 2009-2012 delle concentrazioni di inquinanti da traffico veicolare lungo Via Postumia³⁰ sono riportate nella successiva Tabella 7.

³⁰ anche in questo caso si presuppone l'applicazione della catena modellistica che prevede prima la stima delle emissioni (COPERT) e successivamente quella delle concentrazioni (ADMS-Urban) di inquinanti atmosferici da traffico stradale.

In modo del tutto analogo a quanto già visto in precedenza, anche in questo caso emergono le tipiche considerazioni sulla forte stabilità e, quindi, robustezza dei valori di stima in funzione di differenti input meteorologici e sul significativo ma spazialmente limitato contributo del traffico rispetto alla percentuale di 'saturazione' dei valori limite normativi (fatta salva per gli ossidi di azoto l'eccezione già ben argomentata in precedenza).

inquinante stimato e parametro di valutazione	u.m.	valore limite (VL)	stime modellistiche annuali				punto ^(f)
			2009	2010	2011	%VL ^(e)	
monossido di carbonio (CO)							
- 100° perc. medie 8h	mg/m ³	10	0.74	0.72	0.71	7.4%	X = 1771641
- media anno (max dominio)	mg/m ³	-	0.27	0.27	0.26	-	Y = 5075334
biossido di azoto (NO₂)							
- 100° perc. medie 1h	µg/m ³	-	69.39	69.38	69.33	-	X = 1771623 Y = 5075318
- 99.8° perc. medie 1h ^(a)	µg/m ³	200	68.22	68.21	68.35	34.2%	
- media anno (max dominio)	µg/m ³	40	29.63	29.65	28.83	74.1%	
ossidi di azoto (NO_x)							
- 100° perc. medie 1h	µg/m ³	-	197.03	196.97	196.60	-	X = 1771697 Y = 5075385
- 99.8° perc. medie 1h ^(a)	µg/m ³	200 ^(b)	188.11	188.04	189.09	94.5%	
- media anno (max dominio)	µg/m ³	30 ^(c)	52.96	51.86	51.14	176.5%	
benzene (C₆H₆)							
- 100° perc. medie 1h	µg/m ³	-	9.54	9.54	9.44	-	X = 1771636
- media anno	µg/m ³	5	2.10	2.07	2.02	42.0%	Y = 5075330
polveri fini (PM₁₀)							
- 100° perc. medie 24h	µg/m ³	-	8.32	8.08	7.71	-	X = 1771641 Y = 5075334
- 90.1 perc. medie 24 h ^(d)	µg/m ³	50	6.63	6.53	6.48	13.3%	
- media anno (max dominio)	µg/m ³	40	4.81	4.72	4.66	12.0%	

note

- (a) - coincide con la valutazione del 19° valore più alto della serie annuale di medie orarie;
 (b) - la valutazione del limite 200 µg/m³ viene proposta nell'ipotesi cautelativa che tutti gli ossidi di azoto (NO_x) siano costituiti da biossido di azoto (NO₂);
 (c) - il valore limite per la protezione della vegetazione è correttamente applicabile solo a zone diverse dagli agglomerati urbani (ex DLgs 155/2010), cioè per zone rurali o di fondo;
 (d) - coincide con la valutazione del 36° valore più alto della serie annuale di medie giornaliere;
 (e) - la percentuale di "saturazione" del valore limite è riferita alla stima modellistica più elevata relativa al triennio 2009-2011 ("caso peggiore");
 (f) - in coordinate Gauss-Boaga fuso Ovest corrispondenti al punto in cui si verifica la concentrazione media annuale (max dominio) più elevata relativa al triennio 2009-2011 ("caso peggiore");

Tabella 7 Stime modellistiche per il triennio 2009-2011 relative al dominio di calcolo incentrato su Via Postumia; le concentrazioni di inquinanti emessi dal traffico veicolare sono state stimate con input meteorologico della stazione di Conegliano.

Infine, in Tavola 8 (Appendice II) è rappresentata in cartografia tematica per l'anno 2011 la distribuzione spaziale delle concentrazioni medie di ossidi di azoto (NO_x) che è risultato, ancora una volta, l'inquinante atmosferico con l'impatto ambientale più significativo. Dalla Tavola si nota che dal centro strada le concentrazioni medie annuali di NO_x diminuiscono rapidamente per raggiungere livelli poco significativi a 25-30 metri di distanza dal bordo stradale.

3. Conclusioni

L'applicazione modellistica descritta nella presente relazione tratta l'emissione e la dispersione degli inquinanti atmosferici prodotti dal traffico veicolare su quattro archi stradali a maggiore scorrimento individuati secondo le priorità definite dal Comune di Oderzo.

Il rilievo del numero e della tipologia dei mezzi in transito lungo Via Verdi, Via Maggiore, Via Postumia e Via Camaldolesi ha permesso la stima modellistica delle emissioni e delle concentrazioni ambientali di inquinanti atmosferici prodotte dai flussi di traffico.

Il monitoraggio dello stato di qualità dell'aria in Via San Magno (adiacente a Via Camaldolesi) ha fornito la base dati necessaria per confrontare e valutare la bontà delle stime di dispersione degli inquinanti e, allo stesso tempo, ha permesso una quantificazione della 'frazione' di inquinamento atmosferico attribuibile al traffico veicolare.

Questo tipo di valutazione assume notevole importanza rispetto agli obiettivi specifici del progetto "TI-AR-CO" perché fornisce informazioni utili per la definizione delle eventuali risposte che l'Amministrazione comunale di Oderzo intende adottare per il contenimento degli effetti ambientali del traffico stradale. In altri termini, fornisce una valutazione obiettiva dei possibili (e limitati) margini di miglioramento che le azioni (locali) sulle emissioni stradali possono garantire rispetto al controllo ed al contenimento di tutte le altre fonti di pressione (locali e non).

Riassumiamo per punti le principali conclusioni del progetto "TI-AR-CO" relativamente ai risultati del rilievo con radar a microonde dei mezzi in transito, del monitoraggio con stazione mobile dello stato di qualità dell'aria e della stima modellistica delle emissioni e della dispersione di inquinanti atmosferici prodotti dal traffico stradale.

Rilievo dei flussi di traffico veicolare (paragrafi 2.2.1 e 2.2.5):

- l'arco stradale con il traffico medio più elevato è Via Postumia (media giornaliera di circa 620 veicoli/h), seguita da Via Camaldolesi (circa 550 veicoli/h), Via Verdi (circa 476 veicoli/h) ed, infine, Via Maggiore (circa 415 veicoli/h);
- nei giorni feriali dal lunedì al venerdì, si registrano due punte principali di traffico, al mattino ed al pomeriggio, ed una di minore entità nel periodo di 'morbida' a metà giornata; nei giorni prefestivi e festivi, sabato e domenica, i flussi di veicoli diminuiscono sensibilmente (di circa il 10-15%) ed evidenziano in modo distinto solo due punte di traffico: una minore a metà mattina e l'altra maggiore nel tardo pomeriggio;
- la ripartizione modale dei flussi di traffico ha evidenziato la netta prevalenza dei mezzi 'leggeri' (< 6 m di lunghezza) rispetto ai 'pesanti' (> 6 m) che rendono conto, a seconda degli archi stradali, solo di una percentuale di traffico variabile da un minimo del 5% ad un massimo del 15%; nella fine settimana (sabato e domenica) i flussi di mezzi pesanti sono estremamente ridotti ed in alcuni casi quasi completamente azzerati.

Monitoraggio dello stato di qualità dell'aria dal 03/01/2012 al 23/01/2012 con stazione mobile ubicata in Via San Magno (paragrafo 2.1):

- l'obiettivo del monitoraggio dello stato di qualità dell'aria con stazione mobile in Via San Magno (adiacente a Via Camaldolesi dove è stato effettuato il contemporaneo rilievo dei flussi di traffico) è acquisire un sufficiente numero di osservazioni necessarie per

‘calibrare’ e confrontare i risultati della stima modellistica; in sintesi, si tratta di una verifica sperimentale finalizzata a determinare, con l’utilizzo combinato di misure in campo e stime modellistiche, il peso relativo del traffico veicolare ‘locale’ rispetto a tutte le altre fonti di pressione che, per mezzo dei processi chimico-fisici e meteorologici dell’atmosfera, determinano i livelli ambientali medi degli inquinanti atmosferici;

- fatta eccezione per le polveri fini (PM₁₀) su cui si riferirà con maggiore dettaglio al punto successivo, il monitoraggio dello stato di qualità dell’aria in Via San Magno con stazione mobile ha evidenziato per tutti gli altri inquinanti concentrazioni significativamente inferiori ai limiti normativi a breve termine;
- per le polveri fini (PM₁₀), monitorate dal 03/01/2012 al 23/01/2012 con la stazione mobile in Via San Magno, è stato rilevato il sistematico superamento del limite giornaliero di 50 µg/m³ (19 superamenti su 20 campioni); è necessario ricordare che questa criticità tipica del periodo ‘invernale’ è, di fatto, una caratteristica comune a tutte le principali aree antropizzate della Pianura Padana ed, inoltre, poiché determinata da un inquinante con una forte componente secondaria è dovuta solo in modo limitato all’effetto delle fonti di pressione ‘locali’; senza voler sminuire l’importanza ambientale del problema, c’è da rilevare che la valutazione dell’inquinamento da polveri fini ed ultrafini deve essere più appropriatamente inquadrato nell’ambito di una valutazione a scala regionale o di bacino aerologico e, quindi, non rientra né tra gli obiettivi specifici né tra le possibilità pratiche di realizzazione del progetto “TI-AR-CO”;
- gli ossidi di azoto (NO_x) hanno evidenziato caratteristici *pattern* ‘spaziali’ e ‘temporali’ che sono riconducibili all’andamento dei flussi di traffico (‘picchi’ al mattino ed al pomeriggio, ‘morbida’ a metà giornata) ed alla velocità e direzione del vento (< 1 m/s, Nord-Ovest e Sud-Ovest); la valutazione delle concentrazioni di inquinanti atmosferici rispetto a specifiche variabili condizionali quali velocità e direzione del vento, ora del giorno, ha posto in rilievo una significativa ‘correlazione’ rispetto al traffico di mezzi in transito lungo Via Camaldolesi.

Stima modellistica emissione e dispersione degli inquinanti atmosferici prodotti dal traffico stradale (paragrafi 2.2.2, 2.2.4, 2.2.5):

- l’utilizzo di alternative configurazioni modellistiche caratterizzate da differenti input meteorologici (Oderzo vs. Conegliano) ha permesso di verificare come nel ‘lungo termine’ (medie di periodo - gennaio 2012) le stime convergono significativamente; questa constatazione giustifica la possibilità di un utilizzo statisticamente ‘robusto’ degli input meteorologici (della stazione di Conegliano) necessari per la stima riferita al triennio 2009-2011; d’altro canto, la stima a ‘breve termine’ (medie orarie) relativa al monitoraggio degli inquinanti e dei parametri meteo con stazione mobile di qualità dell’aria posizionata dal 03/01/2012 al 23/01/2012 in Via San Magno, è risultata sistematicamente superiore (anche se di poco) alla corrispondente stima con input meteo della stazione di Conegliano rendendo conto, in questo modo, delle possibili condizioni di massimo impatto ambientale (‘caso peggiore’);
- dal confronto stime vs. misure riferite al periodo dal 03/01/2012 al 23/01/2012 è risultato evidente che solo una percentuale molto limitata dello stato di qualità dell’aria può essere effettivamente ‘spiegata’ per il tramite della catena modellistica, dall’impatto prodotto dalle emissioni del traffico veicolare locale; rispetto alla ‘media di periodo’ monitorata

con stazione mobile dal 03/01/2012 al 23/01/2012, le corrispondenti stime modellistiche rendono conto di una percentuale di concentrazione degli inquinanti che varia da un minimo del 3% per le polveri fini (PM₁₀) ad un massimo del 48% per il benzene (C₆H₆); per gli altri inquinanti, le relative stime percentuali sono dell'ordine del 30% per il monossido di carbonio (CO), del 27% per il biossido di azoto (NO₂) e complessivamente del 12% per gli ossidi di azoto (NO_x); rispetto alla stima delle medie orarie degli inquinanti, le valutazioni modellistiche riferite al contributo del traffico veicolare spiegano al massimo il 45 % circa delle relative misure in campo;

- considerati i limiti sopra evidenziati, la stima modellistica è tuttavia riuscita a render conto, con un discreto grado di approssimazione, dell'andamento temporale e, quindi, della 'dinamica' delle concentrazioni di alcuni inquinanti; in particolare, per il biossido di azoto (NO₂) e per gli ossidi di azoto (NO_x), 'picchi e valli' di concentrazione stimati dalla catena modellistica hanno evidenziato un discreto 'accordo di fase' con 'picchi e valli' di concentrazione monitorati dalla stazione mobile (misure in campo);
- la stima del contributo del traffico veicolare sulla percentuale di 'saturazione' dei valori limite normativi è risultata sempre alquanto limitata e variabile a seconda del tipo di inquinante e del tempo di mediazione considerato (con percentuali di circa 5% per CO, 27-58% per NO₂, 36% per C₆H₆, 9-10% per PM₁₀); inoltre, c'è da considerare che le concentrazioni più elevate (cioè i massimi di domino della simulazione modellistica) sono sempre riferite a punti ubicati presso il centro dell'asse stradale e che le concentrazioni si 'diluiscano' in modo significativo verso il bordo strada raggiungendo già a circa 25-30 m di distanza valori che si assestano su medie annuali estremamente limitate o trascurabili.

In estrema sintesi, rispetto alla valutazione complessiva dell'impatto ambientale prodotto dal traffico veicolare sugli archi stradali e sulle adiacenti zone del territorio considerate nell'ambito del progetto "TI-AR-CO", è risultato evidente che i possibili effetti sullo stato di qualità dell'aria risultano circoscritti sia dal punto di vista 'temporale' (medie a breve termine dovute a particolari condizioni meteo-climatiche) che 'spaziale' (rappresentatività del punto di stima associato al massimo di domino coincidente con il centro dell'asse stradale).

Il responsabile dell'istruttoria

dott. Massimo Bressan

Il responsabile del servizio

dott.ssa Maria Rosa

4. Riferimenti bibliografici

- ARPAV, 2006. Monitoraggio della qualità dell'aria nel Comune di Oderzo. ARPAV Dipartimento Provinciale di Treviso. Relazione tecnica. URL <http://www.arpa.veneto.it>
- Carslaw, D.C. and Ropkins, K., 2012 a). Openair: an R package for air quality data analysis. *Environmental Modelling & Software* (27-28): 52-61.
- Carslaw, D.C. and Ropkins, K., 2012, b). Openair: Open-source tools for the analysis of air pollution data. R package version 0.7-2.
- CERC, 2005. ADMS-Urban. An urban air quality management system. User guide. Version 2.2. Cambridge Environmental Research Consultants Ltd. Cambridge. URL <http://cerc.co.uk>
- Cleveland, W.S., Grosse, E. and Shyu, W.M., 1992. Local regression models. In: *Statistical Models in S*, editors: J.M. Chambers and T.J. Hastie, Wadsworth & Brooks/Cole.
- Derwent, R.G. and Middleton, D.R., 1996. An empirical function to the ratio NO₂:NO_x. *Clean Air*, 26: 57-60.
- DLgs 13/08/2012, n. 155. Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente per un'aria più pulita in Europa. *Suppl. Ord. GU 15/09/2010, n. 216*.
- EEA, 2009. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook. EEA, European Environment Agency. Copenhagen. URL <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009>
- EIONET, 2009. Model Documentation System. Long description of model 'ADMS-Urban'. URL <http://pandora.meng.auth.gr/mds/showlong.php?id=18>
- Lükewille, A., Bertok, I., Amann, M., Cofala, J., Gyarmas, F., Heyes, C., Karvosenoj, N., Klimont, Z. and Schöpp, W., 2001 A framework to estimate the potential and costs for the control of fine particulate emissions in Europe. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Ir-01-023, Laxenburg, Austria.
- Ntziachristos, L. and Samaras, Z., 2000. COPERT III, computer Program to calculate Emission from road transport, methodology and Emission. Factors (version 2.1), European Environment Agency. Copenhagen.
- Ntziachristos, L. 2003. Road Vehicle Tyre & Brake Wear and Road Surface Wear. In: *Joint EMEP/CORINAIR, Emission Inventory Guidebook, Third Edition*. European Environment Agency. Copenhagen.
- R Core Team, 2012. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>
- Taylor, K.E, 2001. Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *Journal of Geophysical Research*, 106: 7183-7192.
- Wilks, D.S., 2005. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*, Volume 91, Second Edition (International Geophysics), Academic Press.

Appendice I. Normativa di riferimento sulla qualità dell'aria

In recepimento della Direttiva 2008/50/CE, il 30/09/2010 è entrato in vigore il DLgs 155/210 che, abrogando il *corpus* normativo precedente, costituisce il nuovo Testo Unico sulla qualità dell'aria ambiente. Il decreto non apporta sostanziali modifiche ai valori limite/obiettivo degli inquinanti atmosferici già normati ma introduce nuovi criteri per la gestione della qualità dell'aria.

Tra i punti salienti introdotti dal DLgs 155/2010 c'è da rilevare che la di valutazione della qualità dell'aria deve essere realizzata in riferimento alla zonizzazione definita dalle Regioni (o dalle Province autonome). In ogni zona e/o agglomerato, così come individuate dal Piano Regionale di Tutela e Risanamento dell'Atmosfera (PRTRA), a seconda degli esiti della valutazione della qualità dell'aria vengono definite distinte modalità di monitoraggio.

Per ogni inquinante e per ogni zona del territorio, la valutazione consiste nel confronto tra i livelli ambientali degli inquinanti e le soglie di valutazione:

- Soglia di Valutazione Inferiore (SVI): il livello al di sotto del quale è possibile utilizzare "solo" (inteso nell'accezione più ampia di "anche solo") tecniche di modellizzazione o di stima obiettiva per valutare la qualità dell'aria; quindi, nel caso in cui i livelli dell'inquinante in una determinata zona siano inferiori alla SVI non è necessario effettuare il monitoraggio tramite una rete di stazioni fisse;
- Soglia di Valutazione Superiore (SVS): il livello al di sotto del quale è possibile combinare misurazioni presso stazioni fisse e tecniche di modellizzazione o misurazioni indicative per valutare la qualità dell'aria; quindi, il superamento della SVS comporta la necessità di provvedere al monitoraggio dell'inquinante con una rete di stazioni fisse.

La verifica del superamento delle soglie di valutazione per ciascuna zona e per ciascun inquinante è realizzata dal confronto dei livelli massimi ambientali monitorati negli ultimi 5 anni: infatti, se per almeno 3 anni su 5 il livello ambientale dell'inquinante considerato risulta superiore alla soglia questa si considera superata.

Una delle novità più rilevanti introdotte dal DLgs 155/2010 riguarda l'obbligo di monitoraggio per il particolato fine ($PM_{2.5}$). Per valutare l'impatto ambientale e sanitario di questo inquinante sono stati fissati due obiettivi che prevedono una riduzione generale delle concentrazioni di inquinante presso i siti di fondo urbano ed il raggiungimento di un livello minimo di tutela della salute su tutto il territorio. Il raggiungimento di questi due obiettivi viene monitorato attraverso la valutazione periodica di due differenti indicatori:

- indicatore di esposizione media (IEM), calcolato come concentrazione media annua su tre anni civili e ricavato dalla media di alcune stazioni di fondo urbano appositamente individuate con decreto ministeriale (art. 12, comma 2); entro il 2015, tale indicatore dovrà rispettare il limite di concentrazione di $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$;
- valore limite per la protezione della salute umana, calcolato come media annuale delle misure giornaliere (al valore limite di $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ viene attribuito un margine di tolleranza del 20% - $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - da ridurre a partire dal 01/01/2009 e successivamente ogni 12 mesi secondo una percentuale costante fino ad azzerarsi completamente entro il 01/01/2015).

Nella Tabella successiva sono elencati gli inquinanti, i parametri statistici ed i limiti normativi da applicare per la valutazione dello stato di qualità dell'aria a breve (da 1h a 24h) e a lungo termine

(annuale, pluriennale), secondo quanto stabilito dal DLgs. 155/2010.

Inquinante e parametro di valutazione		Statistica e tempo di mediazione	Valore	Note
SO ₂	Soglia di allarme	media 1 h	500 µg/m ³	(1)
	Valore limite protezione salute umana	media 1 h	350 µg/m ³	(2)
	Valore limite protezione salute umana	media 24 h	125 µg/m ³	(3)
	Livello critico protezione vegetazione	media periodo	20 µg/m ³	(4)
NO ₂	Soglia di allarme	media 1 h	400 µg/m ³	(1)
	Valore limite protezione salute umana	media 1 h	200 µg/m ³	(5)
	Valore limite protezione salute umana	media annuale	40 µg/m ³	
NO _x	Livello critico protezione vegetazione	media annuale	30 µg/m ³	
PM ₁₀	Valore limite protezione salute umana	media 24 h	50 µg/m ³	(6)
	Valore limite protezione salute umana	media annuale	40 µg/m ³	
PM _{2,5}	Valore limite protezione salute umana (fase 1)	media annuale	25 µg/m ³	(7)
C ₆ H ₆	Valore limite protezione salute umana	media annuale	5 µg/m ³	
CO	Valore limite protezione salute umana	media mobile 8 h	10 mg/m ³	(8)
Pb	Valore limite protezione salute umana	media annuale	0.5 µg/m ³	
O ₃	Soglia di informazione	media 1h	180 µg/m ³	
	Soglia di allarme	media 1h	240 µg/m ³	(9)
	Valore obiettivo protezione salute umana	media mobile 8 h	120 µg/m ³	(8)
	Obiettivo a lungo termine protezione salute umana	media mobile 8 h	120 µg/m ³	(10)
	Valore obiettivo protezione vegetazione	AOT40	18000 µg/m ³	(11), (12)
	Obiettivo a lungo termine protezione vegetazione	AOT40	6000 µg/m ³	(11), (12)
As	Valore obiettivo	media annuale	6.0 ng/m ³	(13)
	Valore obiettivo	media annuale	5.0 ng/m ³	(13)
Cd	Valore obiettivo	media annuale	20.0 ng/m ³	(13)
Ni	Valore obiettivo	media annuale	1.0 ng/m ³	(13)
B(a)P	Valore obiettivo	media annuale	1.0 ng/m ³	(13)

note

- (1) Il superamento si intende verificato quando la concentrazione media oraria è risultata superiore alla soglia di allarme per 3 ore consecutive; le soglie di allarme devono essere misurate su 3 ore consecutive presso siti fissi di campionamento con un'area di rappresentatività di almeno 100 km² oppure pari all'estensione dell'intera zona o dell'intero agglomerato se tale zona o agglomerato risultano meno estesi.
- (2) valore limite da non superare più di 24 volte per anno civile.
- (3) valore limite da non superare più di 3 volte per anno civile.
- (4) valutata sia come media annuale (anno civile) che come media del periodo invernale (01/10-31/03).
- (5) valore limite da non superare più di 18 volte per anno civile.
- (6) valore limite da non superare più di 35 volte per anno civile.
- (7) margine di tolleranza pari a 5 µg/m³ ridotto progressivamente a zero entro il 01/01/2015; il valore limite per la fase 2 è da stabile con successivo decreto, tenuto conto del valore indicativo di 20 µg/m³ e delle verifiche della Commissione europea alla luce di ulteriori informazioni circa le conseguenze sulla salute e sull'ambiente, la fattibilità tecnica e l'esperienza circa il perseguimento del valore obiettivo negli Stati membri.
- (8) la massima concentrazione media giornaliera su 8 ore si determina con riferimento alle medie consecutive su 8 calcolate sulla base di dati orari ed aggiornate ogni ora (ogni media su 8 ore viene riferita al giorno nel quale la serie di 8 ore si conclude).
- (9) per l'applicazione dell'articolo 10, comma 1 del DLgs 155/2010 deve essere misurato o previsto un superamento; l'adozione di eventuali piani di azione è prevista se, alla luce delle condizioni geografiche, meteorologiche ed economiche la durata o la gravità del rischio o la possibilità di ridurlo risultano significative sulla base di un'apposita istruttoria.
- (10) da non superare più di 25 volte per anno civile come media su 3 anni; il raggiungimento del valori obiettivo per la protezione della salute umana è valutato nel 2013, con riferimento al triennio 2010-2012; per l'obiettivo a lungo termine, la cui data di raggiungimento non è stata definita, non sono previsti superamenti nell'arco di un anno civile
- (11) per AOT40 (Accumulated Ozone exposure over a Threshold of 40 Parts Per Billion), espresso in µg/m³ h si intende la somma della differenza tra le concentrazioni orarie superiori a 80 µg/m³ (40 parti per miliardo) e 80 µg/m³ in un dato periodo di tempo (dal 1° maggio al 31 luglio per la protezione della vegetazione e dal 1° aprile al 1° settembre per la protezione delle foreste), utilizzando solo i valori orari rilevati ogni giorno tra le 8:00 e le 20:00 (CET).
- (12) calcolato come media su 5 anni; il raggiungimento del valori obiettivo per la protezione della vegetazione è valutato nel 2015, con riferimento al quinquennio 2010-2014.
- (13) il valore obiettivo è riferito al tenore totale di ciascun inquinante presente nella frazione PM10 del materiale particolato, calcolato come media su un anno civile

Tabella AI.1 Parametri e limiti di riferimento per la valutazione della qualità dell'aria a breve e lungo termine secondo quanto stabilito dal DLgs. 155/2010.

Appendice II. Tavole di cartografia tematica

Elenco tavole allegate:

Tavola 1 - Posizionamento della stazione mobile per il monitoraggio della qualità dell'aria in Via San Magno e dei radar a microonde per il conteggio dei flussi di traffico veicolare in Via Camaldolesi (SP49).

Tavola 2 - Stima modellistica della concentrazione media annuale di benzene (C₆H₆) prodotta dal traffico veicolare su Via Camaldolesi (SP49) - anno simulazione 2011.

Tavola 3 - Stima modellistica della concentrazione media annuale di monossido di carbonio (CO) prodotta dal traffico veicolare su Via Camaldolesi (SP49) - anno simulazione 2011.

Tavola 4 - Stima modellistica della concentrazione media annuale di ossidi di azoto (NO_x) prodotta dal traffico veicolare su Via Camaldolesi - anno simulazione 2011.

Tavola 5 - Stima modellistica della concentrazione media annuale di polveri fini (PM₁₀) prodotta dal traffico veicolare su Via Camaldolesi (SP49) - anno 2011.

Tavola 6 - Stima modellistica della concentrazione media annuale di ossidi di azoto (NO_x) prodotta dal traffico veicolare lungo Via Verdi - anno simulazione 2011.

Tavola 7 - Stima modellistica della concentrazione media annuale di ossidi di azoto (NO_x) prodotta dal traffico veicolare su Via Maggiore - anno simulazione 2011.

Tavola 8 - Stima modellistica della concentrazione media annuale di ossidi di azoto (NO_x) prodotta dal traffico veicolare su Via Postumia - anno simulazione 2011.

Tavola 1

**Via SanMagno,
Via Camaldolesi (SP49):
posizionamento
stazione mobile
di qualità dell'aria e
radar a microonde
per rilievo flussi traffico**

Legenda

- stazione mobile qa
- ▲ radar traffico



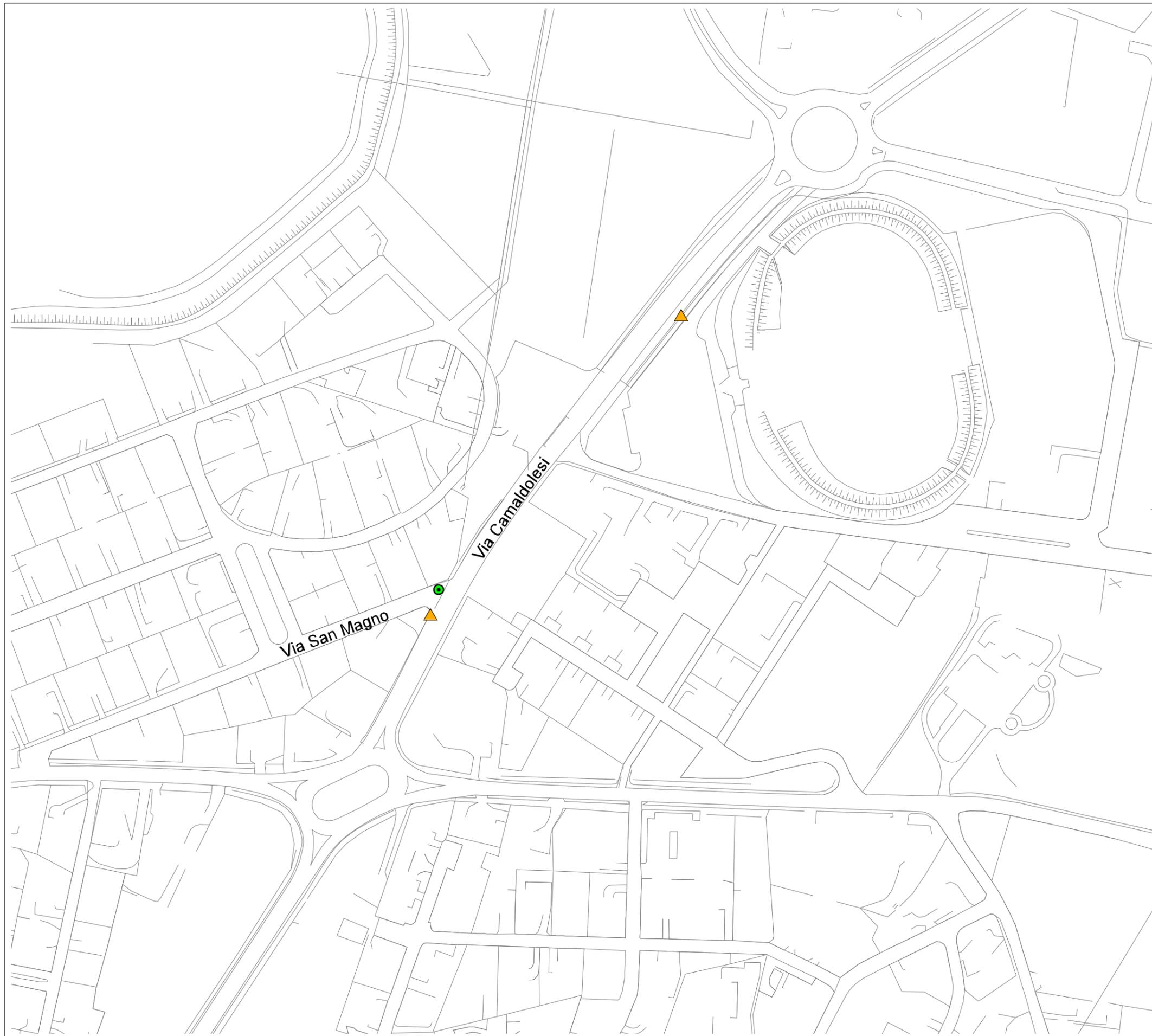
scala 1:2500

Comune di Oderzo

Progetto TI-AR-CO



Dipartimento Provinciale di Treviso



pagina lasciata intenzionalmente in bianco

Tavola 2

**SP 49, Via Camaldolesi:
stima modellistica
media annuale C6H6
da traffico veicolare
(anno simulazione 2011)**

Legenda

- stazione mobile qa C6H6_ug_m³
- 0 - 0.4
- 0.4 - 0.7
- 0.7 - 1.1
- 1.1 - 1.5
- 1.5 - 1.8

N
scala 1:2500

Comune di Oderzo

Progetto TI-AR-CO



Dipartimento Provinciale di Treviso



pagina lasciata intenzionalmente in bianco

Tavola 3

**SP 49, Via Camaldolesi:
stima modellistica
media annuale CO
da traffico veicolare
(anno simulazione 2011)**

Legenda

-  stazione mobile qa
- CO_{mg}m³**
-  0 - 0.05
-  0.05 - 0.09
-  0.09 - 0.13
-  0.13 - 0.18
-  0.18 - 0.22

 **scala 1:2500**

Comune di Oderzo

Progetto TI-AR-CO



Dipartimento Provinciale di Treviso



pagina lasciata intenzionalmente in bianco

Tavola 4

**SP 49, Via Camaldolesi:
stima modellistica
media annuale NOx
da traffico veicolare
(anno simulazione 2011)**

Legenda

- stazione mobile qa
- NOx_ug_m³
- 0.4 - 11.8
- 11.8 - 23.1
- 23.1 - 34.5
- 34.5 - 45.8
- 45.8 - 57.2

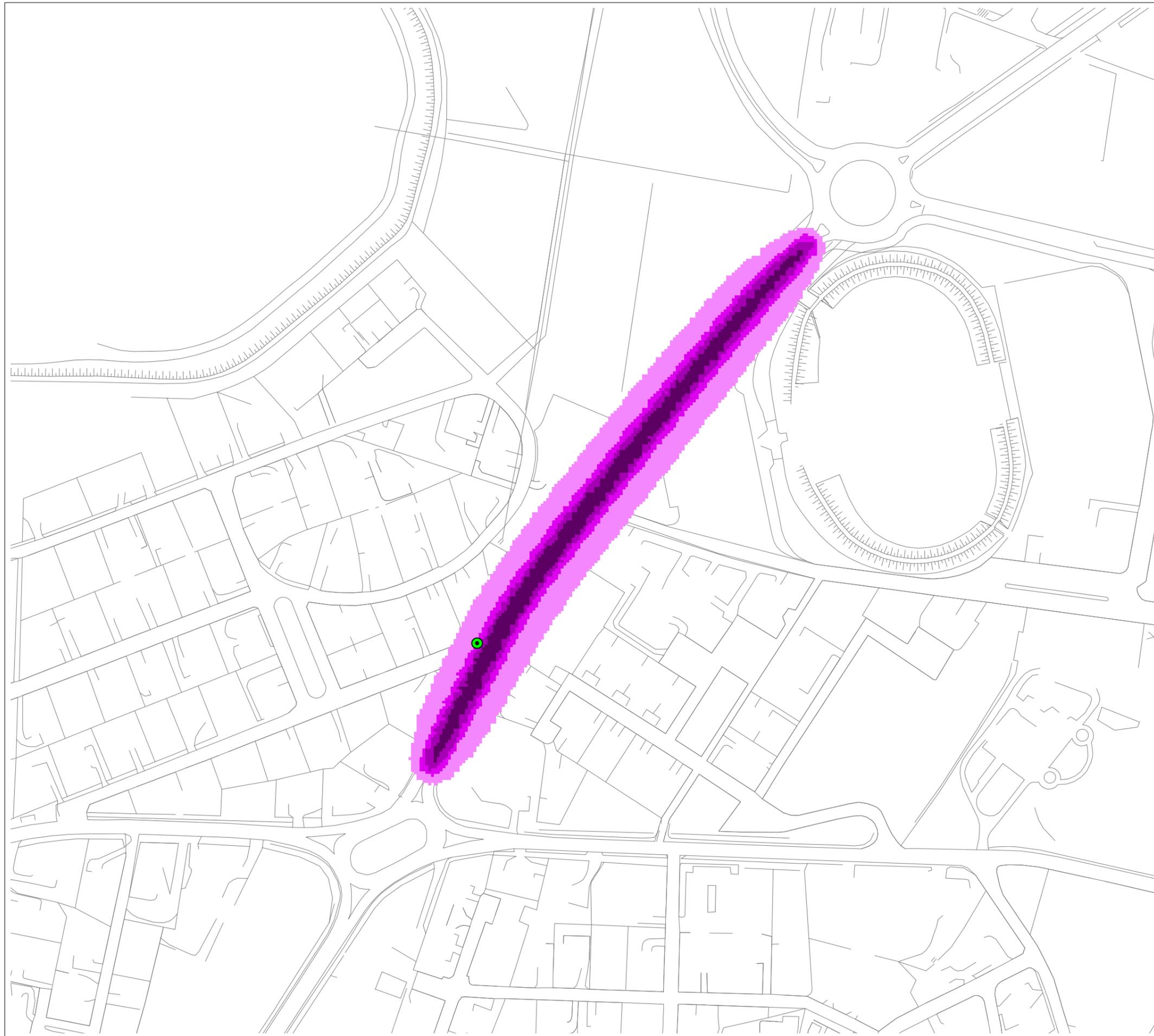
N
scala 1:2500

Comune di Oderzo

Progetto TI-AR-CO



Dipartimento Provinciale di Treviso



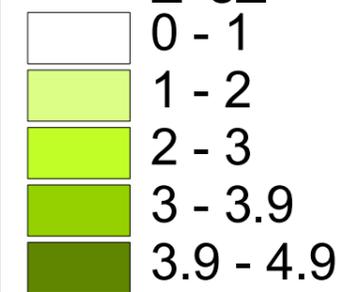
pagina lasciata intenzionalmente in bianco

Tavola 5

**SP 49, Via Camaldolesi:
stima modellistica
media annuale PM10
da traffico veicolare
(anno simulazione 2011)**

Legenda

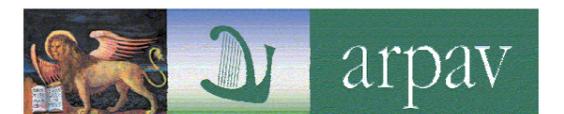
● stazione mobile qa
PM10_ug_m³



N
scala 1:2500

Comune di Oderzo

Progetto TI-AR-CO



Dipartimento Provinciale di Treviso



pagina lasciata intenzionalmente in bianco

Tavola 6

**Via Verdi:
stima modellistica
media annuale NOx
da traffico veicolare
(anno simulazione 2011)**

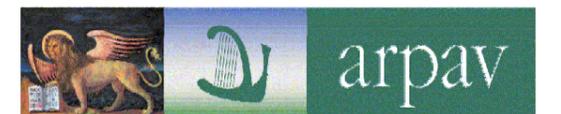
Legenda

- ▲ radar traffico
- NOx_ug_m³
- 0.1 - 7.6
- 7.6 - 15
- 15 - 22.5
- 22.5 - 30
- 30 - 37.4

N
scala 1:2500

Comune di Oderzo

Progetto TI-AR-CO



Dipartimento Provinciale di Treviso

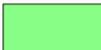


pagina lasciata intenzionalmente in bianco

Tavola 7

**Via Maggiore:
stima modellistica
media annuale NOx
da traffico veicolare
(anno simulazione 2011)**

Legenda

-  radar traffico
- NOx_ug_m³
-  0.1 - 6.7
-  6.7 - 13.2
-  13.2 - 19.8
-  19.8 - 26.3
-  26.3 - 32.9

N
 **scala 1:2500**

Comune di Oderzo

Progetto TI-AR-CO



Dipartimento Provinciale di Treviso



pagina lasciata intenzionalmente in bianco

Tavola 8

**Via Postumia:
stima modellistica
media annuale NOx
da traffico veicolare
(anno simulazione 2011)**

Legenda

- ▲ radar traffico
- NOx_ug_m³
- 0.4 - 10.5
- 10.5 - 20.6
- 20.6 - 30.7
- 30.7 - 40.9
- 40.9 - 51

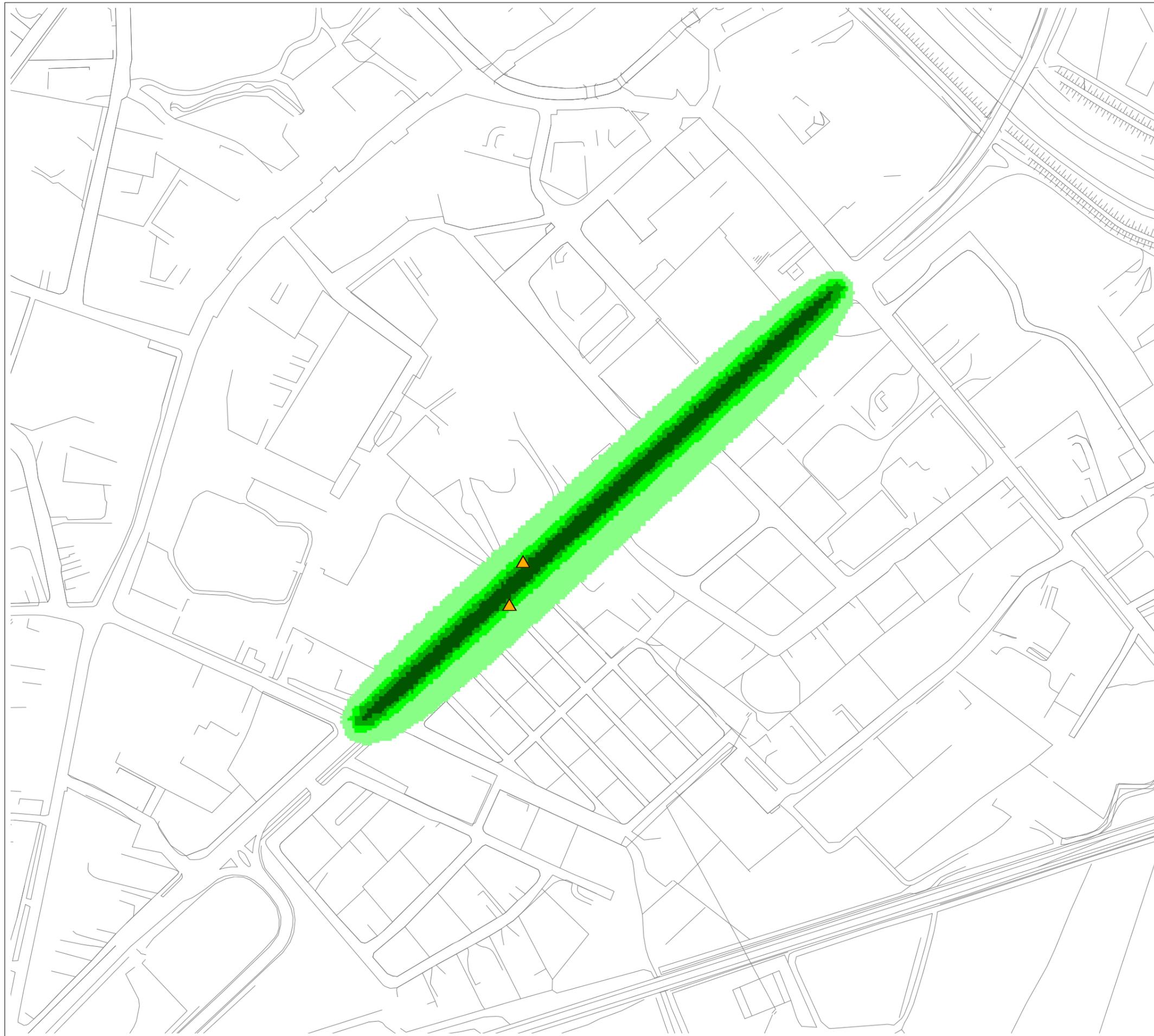
N
▲ scala 1:2500

Comune di Oderzo

Progetto TI-AR-CO



Dipartimento Provinciale di Treviso



pagina lasciata intenzionalmente in bianco

pagina lasciata intenzionalmente in bianco



DIPARTIMENTO PROVINCIALE DI TREVISO

Via Santa Barbara, 5/a - 35100 Treviso, Italy

tel.: +39 0422 558515 - fax: +39 0422 558516

e-mail: daptv@arpa.veneto.it