



Agenzia Regionale per la Prevenzione
e Protezione Ambientale del Veneto



REGIONE DEL VENETO

LO STATO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA A TREVENZUOLO

Comune di Trevenzuolo

a cura del Dipartimento Provinciale ARPAV di Verona

Relazione: Dr.ssa Francesca Predicatori
Dr. Paolo Frontero
Dr.ssa Silvia Brunelli
Dr.ssa Barbara Intini
Dr.ssa Cristina Mosconi
Dr.ssa Giuseppina Mattiolo
Dr.ssa Giuliana Schievano

Gestione Laboratorio Mobile: Andrea Salomoni

Indice della relazione tecnica

Introduzione	3
Campagne di misura.....	3
Periodo di indagine	3
Localizzazione del sito	4
Caratteristiche dei principali inquinanti	5
Riferimenti normativi	6
Situazione meteorologica nei periodi di indagine	8
Analisi dei risultati per il PM ₁₀	10
Andamento inquinanti e confronto con le rilevazioni dei siti fissi	12
Biossido di azoto (NO ₂).....	12
Metalli ed altri elementi in tracce.....	15
Analisi modellistica	16
Biomonitoraggio lichenico	20
Licheni come bioindicatori.....	20
Licheni come bioaccumulatori.....	21
Risultati bioindicazione	21
Risultati bioaccumulo	21
Conclusioni biomonitoraggio lichenico	22
Conclusioni	23
Allegato 1	24

Introduzione

Il comune di Trevenzuolo si trova a sud del comune di Verona, al confine con la regione Lombardia. In tale comune, caratterizzato da una conformazione territoriale esclusivamente pianeggiante e da un'intensa attività agricola, è presente, ad est della zona residenziale, un'area industriale (Figura 1). Al fine di effettuare uno studio della qualità dell'aria nel comune in esame, con particolare attenzione all'impatto delle ditte presenti nella zona industriale, sono state realizzate due campagne di misura con il laboratorio mobile per l'analisi della qualità dell'aria ambiente, simulazioni modellistiche con un modello di dispersione di inquinanti in atmosfera, uno studio della stato complessivo della qualità dell'aria tramite le tecniche di bioindicazione e del biomonitoraggio lichenico.

Figura 1: area oggetto di studio.



Campagne di misura

Periodo di indagine

Nei periodi dal 20/11/2007 al 06/12/2007 (via D. Alighieri) e dal 07/12/2007 al 21/12/2007 (P.za R. Bolognese) si è svolta un'indagine sulla qualità dell'aria con la stazione rilocabile nel comune di Trevenzuolo nelle posizioni riportate di seguito. La stazione rilocabile è stata posizionata nel paese di Trevenzuolo in una zona caratterizzata da traffico locale. I dati rilevati si possono, quindi ritenere rappresentativi delle zone residenziali dell'abitato del comune di Trevenzuolo.

La stazione rilocabile è dotata di analizzatori per il campionamento e la misura degli inquinanti chimici individuati dalla normativa inerente l'inquinamento atmosferico e più precisamente:

- ❑ inquinanti convenzionali: monossido di carbonio (CO), anidride solforosa (SO₂), ossidi di azoto (NO_x), ozono (O₃);
- ❑ inquinanti non convenzionali: benzene, toluene, xilene, (BTX), polveri sottili (PM10), IPA e metalli

Sono stati inoltre misurati in continuo alcuni parametri meteorologici quali temperatura, umidità relativa, pressione atmosferica, velocità del vento prevalente, direzione del vento prevalente e globale, sigma prevalente, radiazione solare netta e globale.

Localizzazione del sito

Informazioni sulla località sottoposta a controllo	
Comune	Trevenzuolo
Posizione	P.za R. Bolognese
Tipologia del sito	<i>Background suburbano - Zona residenziale¹</i>
Coordinate	P.za R. Bolognese: X: 1651651.98 Y: 501492.13

Informazioni sulla località sottoposta a controllo	
Comune	Trevenzuolo
Posizione	via D. Alighieri
Tipologia del sito	<i>Zona industriale/agricola</i>
Coordinate	via D. Alighieri: X: 1651965.22 Y: 5015231.45

Figura 2: rappresentazione cartografica del sito di monitoraggio.

Via D. Alighieri:



¹ Legenda: .

Stazione di background urbano residenziale (BU-R): stazioni usate per monitorare i livelli medi d'inquinamento all'interno di vaste aree urbane (tessuto urbano continuo, prevalentemente capoluoghi di regione e/o provincia) dovuto a fenomeni prodotti all'interno della città che si vuole monitorare con possibili significativi contributi dovuti a fenomeni di trasporto provenienti dall'esterno della città. Sono ubicate in aree urbane caratterizzate da un'elevata densità abitativa (distribuzione quasi continua d'abitazioni) e non attraversate da strade ad elevata percorrenza. Le arterie stradali eventualmente presenti (numero di veicoli giornalieri superiore a 2500) devono essere poste ad una distanza di almeno 50 m dal confine dell'area residenziale in esame.

Stazioni di background suburbano (BS): stazioni usate per monitorare i livelli medi d'inquinamento all'interno d'aree suburbane (tessuto urbano discontinuo, generalmente paesi limitrofi ai capoluoghi di provincia e/o regione) dovuto a fenomeni di trasporto provenienti dall'esterno della città stessa e fenomeni prodotti all'interno della città che si vuole monitorare. Sono poste preferibilmente all'interno d'aree verdi pubbliche (parchi, impianti sportivi, scuole ...) e non direttamente sottoposte a sorgenti d'inquinamento. L'area di rappresentatività è individuata da un raggio compreso tra 1 ÷ 5 km.

P.zza R. Bolognese:



Caratteristiche dei principali inquinanti

Inquinante	Caratteristiche chimico-fisiche	Principali sorgenti
PM10	Particelle con diametro aerodinamico inferiore a 10 µm	La componente primaria è originata direttamente da sorgenti di quali traffico stradale ed industrie, dalla risospensione del particolato presente al suolo. La frazione secondaria del PM10 è dovuta a reazioni fotochimiche che avvengono in atmosfera fra i precursori, principalmente da SO ₂ , ammoniaca e NO _x . Impianti di riscaldamento, traffico veicolare, centrali di potenza, attività industriali Combustione incompleta dei combustibili fossili. Traffico, impianti di riscaldamento e processi industriali quali produzione di acciaio e ghisa. Combustione di combustibili fossili contenenti zolfo: impianti di riscaldamento, centrali di potenza. Si forma in seguito all'ossidazione dei composti organici volatili (COV) e monossido di carbonio (CO) in presenza di ossidi di azoto (NO _x) (che fungono da catalizzatori) e radiazione solare. processi di combustione incompleta: veicoli a motore, emissioni industriali, incendi.
NO₂	Inquinante secondario, si forma principalmente per ossidazione dell'NO. In atmosfera si trasforma in acido nitrico (HNO ₃)	
CO	Inquinante primario. Gas inodore ed incolore leggermente più leggero dell'aria.	
SO₂	Gas incolore di odore pungente. In atmosfera reagisce con l'umidità trasformandosi in acido solforico	
Ozono	Inquinante secondario. Gas di colore azzurro e odore pungente. Reagisce con tutti i composti ed i materiali che possono essere ossidati.	
Benzene	Idrocarburo liquido molto stabile chimicamente, volatile, incolore di odore caratteristico	

Riferimenti normativi

Si fa riferimento al Decreto Ministeriale 2 aprile 2002, n. 60, entrato in vigore il 28 aprile 2002, per PM₁₀, CO, NO_x, benzene e SO₂.

Nella fase transitoria del DM 60/02, fino alla data di entrata in vigore del valore limite non aumentati del margine di tolleranza, resta in vigore anche il valore limite di cui all'allegato I, tabella A del DPCM 28/03/83, come modificato dall'art. 20 del DPR 203/88, per l'NO₂.

Per l'O₃ si fa riferimento al Decreto Legislativo 21 maggio 2003, n. 183, entrato in vigore il 7 agosto 2003, in attuazione della Direttiva 2002/3/CE. In allegato 2 si riportano, per ciascun inquinante, le Tabelle con i limiti di legge in vigore e relativi al breve periodo, al lungo periodo e alla protezione degli ecosistemi.

Le determinazioni sperimentali, compatibilmente con la durata limitata della campagna di monitoraggio, possono venire confrontate con i valori limite previsti dalla normativa per il breve periodo (esposizione acuta).

Nelle tabelle seguenti viene riportata la normativa relativa all'esposizione acuta, all'esposizione cronica e per la protezione degli ecosistemi.

Tabella 1 – Limiti di legge relativi all'esposizione acuta.

Inquinante	Tipologia	Valore	Riferimento legislativo
SO ₂	Soglia di allarme*	500 µg/m ³	DM 60/02
SO ₂	Limite orario da non superare più di 24 volte per anno civile	350 µg/m ³	DM 60/02
SO ₂	Limite di 24 h da non superare più di 3 volte per anno civile	125 µg/m ³	DM 60/02
NO ₂	Soglia di allarme*	400 µg/m ³	DM 60/02
NO ₂	Limite orario da non superare più di 18 volte per anno civile	1 gennaio 2007: 230 µg/m ³ 1 gennaio 2008: 220 µg/m ³ 1 gennaio 2009: 210 µg/m ³ 1 gennaio 2010: 200 µg/m ³	DM 60/02
PM ₁₀ Fase 1	Limite di 24 h da non superare più di 35 volte per anno civile	1 gennaio 2005: 50 µg/m ³	DM 60/02
CO	Massimo giornaliero della media mobile di 8 h	1 gennaio 2005: 10 mg/m ³	DM 60/02
O ₃	Soglia di informazione Media 1 h	180 µg/m ³	D.lgs. 183/03
O ₃	Soglia di allarme Media 1 h	240 µg/m ³	D.lgs. 183/03
Fluoro	Media 24 h	20 µg/m ³	DPCM 28/03/83
NMHC	Concentrazione media di 3 h consecutive (in un periodo del giorno da specificarsi secondo le zone, a cura delle autorità regionali competenti)	200 µg/m ³	DPCM 28/03/83

- misurato per 3 ore consecutive in un sito rappresentativo della qualità dell'aria in un'area di almeno 100 Km², oppure in un'intera zona o agglomerato nel caso siano meno estesi.

Tabella 2 - Limiti di legge relativi all'esposizione cronica.

Inquinante	Tipologia	Valore	Riferimento legislativo	Note
NO ₂	98° percentile delle concentrazioni medie di 1h rilevate durante l'anno civile	200 µg/m ³	DPCM 28/03/83 e succ.mod.	In vigore fino al 31/12/2009

NO ₂	Valore limite annuale per la protezione della salute umana Anno civile	1 gennaio 2007: 46 µg/m ³ 1 gennaio 2008: 44 µg/m ³ 1 gennaio 2009: 42 µg/m ³ 1 gennaio 2010: 40 µg/m ³	DM 60/02	
O ₃	Valore bersaglio per la protezione della salute da non superare per più di 25 giorni all'anno come media su 3 anni (altrimenti su 1 anno) Media su 8 h massima giornaliera	120 µg/m ³	D.lgs. 183/03	In vigore dal 2010 . Prima verifica nel 2013
O ₃	Obiettivo a lungo termine per la protezione della salute Media su 8 h massima giornaliera	120 µg/m ³	D.lgs. 183/03	
PM ₁₀ Fase 1	Valore limite annuale Anno civile	1 gennaio 2005: 40 µg/m ³	DM 60/02	
Piombo	Valore limite annuale per la protezione della salute umana Anno civile	1 gennaio 2005: 0.5 µg/m ³	DM 60/02	
Fluoro	Media delle medie di 24 h rilevate in 1 mese	10 µg/m ³	DPCM 28/03/83	
Benzene	Valore limite annuale per la protezione della salute umana Anno civile	1 gennaio 2007: 8 µg/m ³ 1 gennaio 2008: 7 µg/m ³ 1 gennaio 2009: 6 µg/m ³ 1 gennaio 2010: 5 µg/m ³	DM 60/02	

Tabella 3 -Limiti di legge per la protezione degli ecosistemi.

Inquinante	Tipologia	Valore	Riferimento legislativo	Note
SO ₂	Limite protezione ecosistemi Anno civile e inverno (01/10 – 31/03)	20 µg/m ³	DM 60/02	
NO ₂	Limite protezione ecosistemi Anno civile	30 µg/m ³	DM 60/02	
O ₃	Valore bersaglio per la protezione della vegetazione AOT40 su medie di 1 h da maggio a luglio Da calcolare come media su 5 anni (altrimenti su 3 anni)	18000 µg/m ³ h	D.lgs. 183/03	In vigore dal 2010 . Prima verifica nel 2015
O ₃	Obiettivo a lungo termine per la protezione della vegetazione AOT40 su medie di 1 h da maggio a luglio	6000 µg/m ³ h	D.lgs. 183/03	

Situazione meteorologica nei periodi di indagine

L'ultima decade di novembre è stata caratterizzata dal transito di perturbazioni atlantiche che hanno apportato cospicue precipitazioni e una certa ventilazione; solo verso fine mese ed inizio di dicembre si è ripristinato un campo anticiclonico con frequente presenza di calma atmosferica.

Analizzando i dati orari di velocità e direzione prevalente del vento, rilevati dai sensori installati nell'unità mobile del Dipartimento ARPAV Provinciale di Verona posizionata in Trevenzuolo in Via Dante Alighieri nel periodo 20/11/2007-06/12/2007 è emerso che:

- La direzione prevalente è stata da W(11.2%), WSW(9.2%), SW(15.8%)
- L'intensità è risultata: nel 23.9% dei casi calma (vento inferiore agli 0.5 m/s), nel 45.1% vento di intensità compresa tra 0.5 ed 1.5 m/s, nel 17.5% vento con valori tra 1.5 e 2.5 m/s, e nel 8.0% tra 2.5 e 3.5 m/s ,nel 5.5% con valori maggiori di 3.5 m/s. La velocità media dell'intero periodo è risultata di 1.20 m/s. La disponibilità di dati è stata del 99.7%

Nelle figure seguenti vengono rappresentate la rosa dei venti (Figura 3) e la distribuzione dell'intensità del vento per classi di frequenza (Figura 4) nel periodo della campagna di monitoraggio.

Figura 3: rosa dei venti con percentuale per direzione di provenienza.

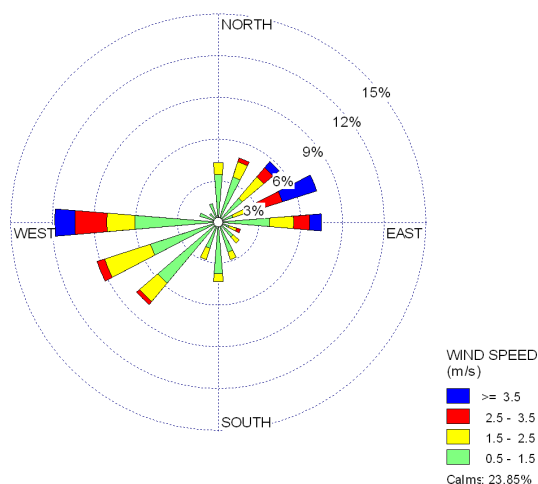
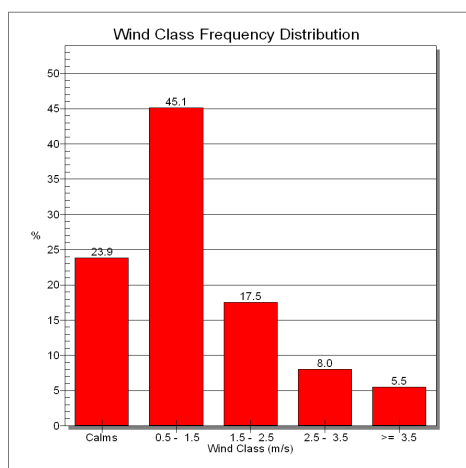
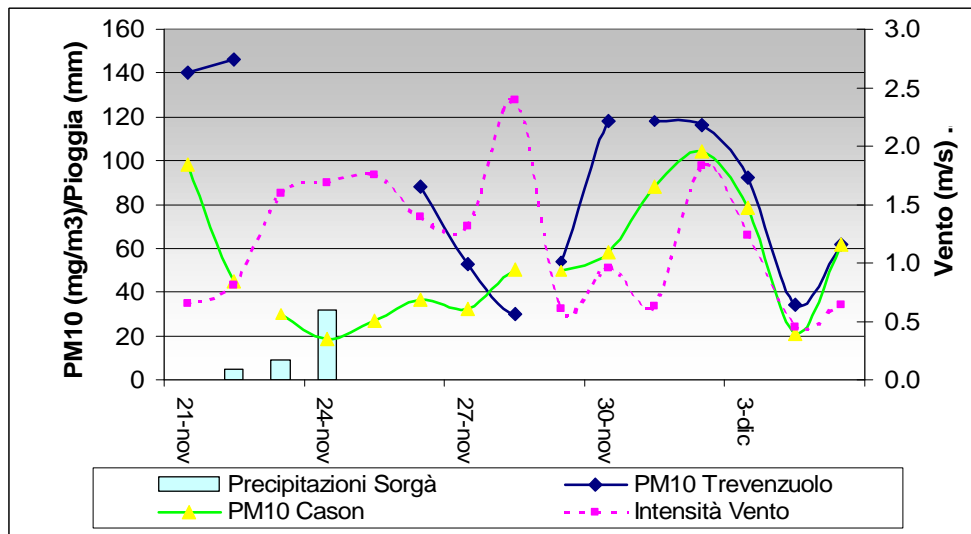


Figura 4: distribuzione dell'intensità del vento secondo classi di frequenza.



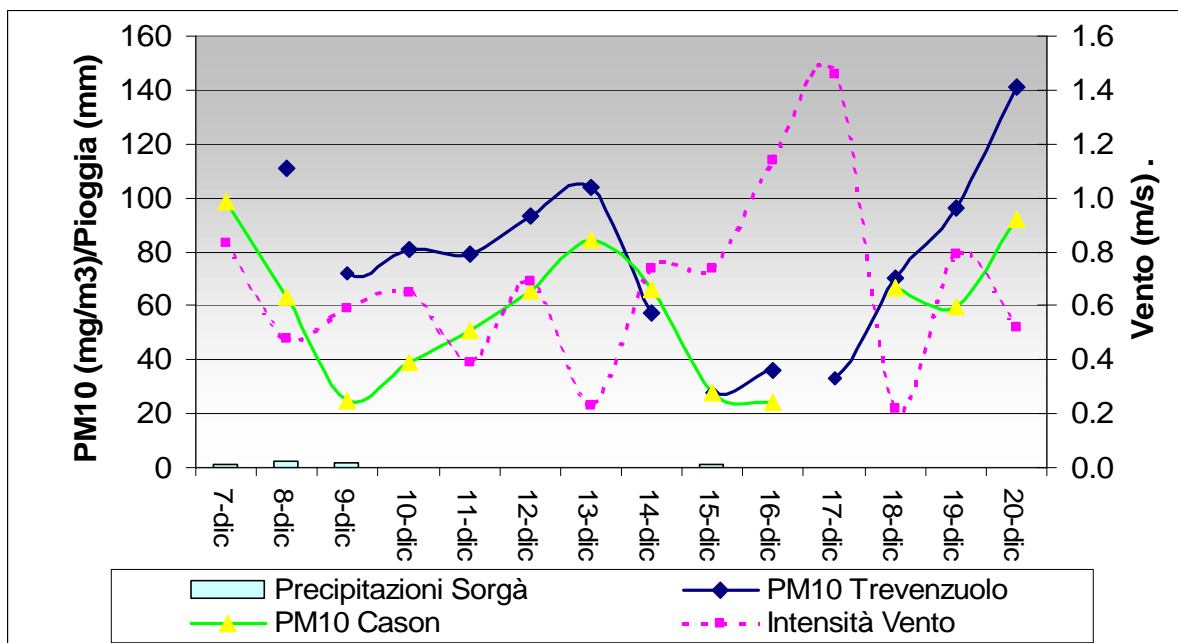
In (Figura 5) sono riportati l'andamento del PM₁₀ nel sito di misura di via Dante Alighieri e nella stazione di background urbano di Cason correlati con i parametri meteorologici. I valori più elevati all'inizio della campagna (146 µg/m³) si misurano in concomitanza di una stasi atmosferica caratterizzata da calma di vento; successivamente, specie durante il giorno 28 novembre, si attua un significativo abbassamento di concentrazione del PM₁₀ dovuto ad una efficace azione di dispersione operata dal vento. Segue il ripristino di un campo anticiclonico che determina di nuovo valori più elevati con concentrazione di PM₁₀ oltre i 100 µg/m³.

Figura 5: andamento dei principali parametri meteorologici (vento e precipitazione) e concentrazione di PM_{10} durante la campagna di misura in via Dante Alighieri.



La situazione meteorologica dopo i primi giorni di dicembre caratterizzati da deboli precipitazioni connesse al transito di un sistema depressionario, vede il ripristino di condizioni anticicloniche con prevalente stabilità atmosferica eccetto nei giorni 15-16-17 dicembre caratterizzati dall'ingresso di moderato vento di bora. In Figura 6 sono riportati l'andamento del PM_{10} nel sito di Piazza Renato Bolognesi e nella stazione di background urbano di Cason correlati con i parametri meteorologici. Da rilevare l'efficace dispersione operata dalla bora nei giorni 15-16-17 dicembre con significativo abbassamento delle concentrazioni di PM_{10} , da valori oltre i $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ del giorno 13 a valori inferiori ai $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ del giorno 15 dicembre.

Figura 6: andamento dei principali parametri meteorologici (vento e precipitazione) e concentrazione di PM_{10} durante la campagna di misura in Piazza Renato Bolognese.



Analisi dei risultati per il PM₁₀

Con il termine polveri sottili o PM₁₀ si indica la componente con diametro aerodinamico inferiore a 10 µm del particolato aereodisperso. Si tratta di un insieme alquanto eterogeneo di composti che in parte derivano dall'emissione diretta causata dalle attività antropiche quali traffico, industria, riscaldamento. In parte (si stima per più dell'80%) è prodotto da reazioni chimico-fisiche che avvengono in atmosfera e coinvolgono i composti organici volatili, ammoniaca, gli ossidi di azoto, gli ossidi di zolfo. Inoltre, grazie alle ridotte dimensioni, le particelle di PM₁₀ possono rimanere in atmosfera per periodi di tempo anche relativamente lunghi prima di subire il processo di dilavamento o sedimentazione. Non è quindi possibile legare la concentrazione di PM₁₀ misurata localmente con una o più precise fonti emissive poiché essa è il risultato di un complesso insieme di fenomeni che implicano l'emissione di sostanze inquinanti, il loro ricombinarsi e coagularsi in atmosfera, il trasporto dovute alle dinamiche dei bassi strati dell'atmosfera. Questo spiega la diffusione pressoché omogenea del PM₁₀ sul nostro territorio.

Le concentrazioni di PM₁₀ misurate durante le campagne di monitoraggio effettuate a Trevenzuolo in via D. Alighieri e P.za R. Bolognese sono state confrontate con quelle rilevate dalle stazioni fisse di Verona. La stazione di Verona Cason è una stazione di fondo urbano situata lontano da fonti emissive dirette quali strade e industrie, è quindi un punto di campionamento rappresentativo dei livelli d'inquinamento caratteristici dell'area risultanti dal trasporto degli inquinanti anche dall'esterno dell'area urbana e dalle emissioni dell'area urbana stessa. La stazione di Verona Corso Milano è una stazione di traffico urbano, situato presso una strada ad alta intensità di traffico, ed è quindi rappresentativa di situazioni urbane caratterizzate prevalentemente da emissioni legate al traffico veicolare.

Nel seguito vengono confrontati gli andamenti della concentrazione giornaliera di PM₁₀ misurati dalla stazione mobile con quelli misurati presso le stazioni fisse di Verona Corso Milano e Verona Cason. Sono stati calcolati per ogni periodo di misura il valore medio, il numero di giorni in cui è stato superato il valore limite di 50 µg/m³, la percentuale di giorni di superamento rispetto al numero di giorni di monitoraggio. I risultati sono riportati in Tabella 4 e in Tabella 5 e nei grafici di Figura 7 e di Figura 8

Tabella 4: risultati campagna di via D. Alighieri.

	Trevenzuolo via D. Alighieri 20/11/07-06/12/07	C.so Milano	Cason
media periodo	49	62	53
n. sup. VL 50 µg/m ³	6	9	7
% gg sup/gg monitor.	40	60	47

Tabella 5: risultati campagna di P.zza R. Bolognese.

	Trevenzuolo P.za R. bolognese 07/12/07-21/12/07	C.so Milano	Cason
media periodo	46	50	50
n. sup. VL 50 µg/m ³	3	5	5
% gg sup/gg monitor.	30	50	50

Figura 7: confronto delle concentrazioni giornaliere di PM₁₀ misurate a Trevenzuolo in via D. Alighieri con quelle misurate a Verona presso le stazioni fisse della rete ARPAV.

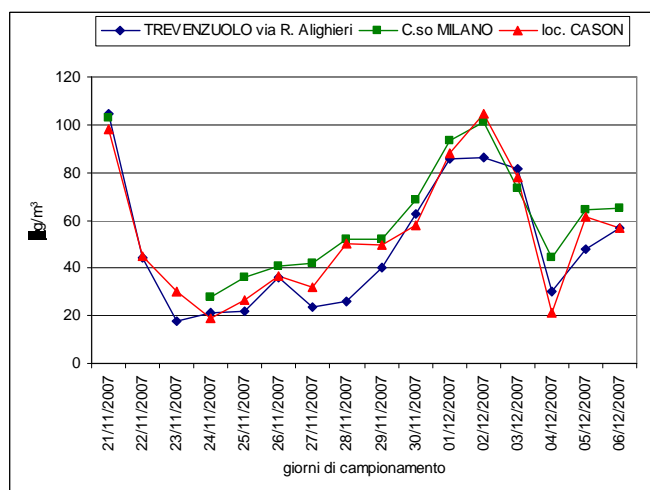
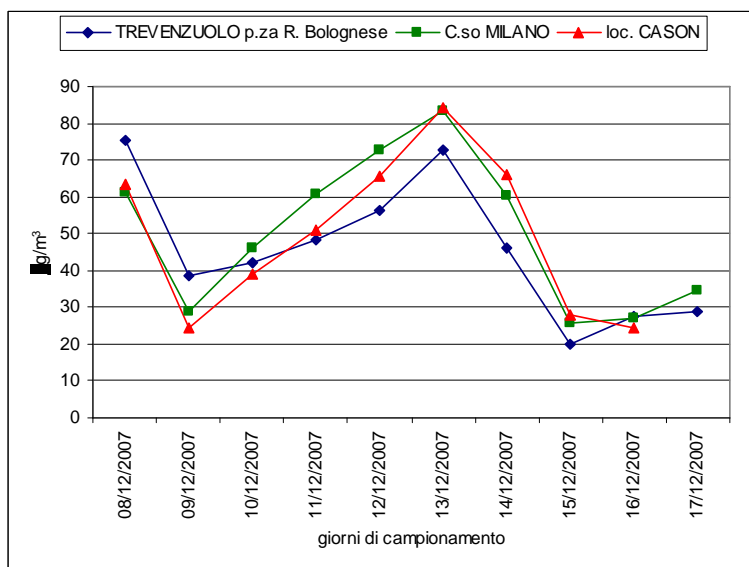


Figura 8: confronto delle concentrazioni giornaliere di PM_{10} misurate a Trevenzuolo in P.zza R. Bolognese con quelle misurate a Verona presso le stazioni fisse della rete ARPAV.

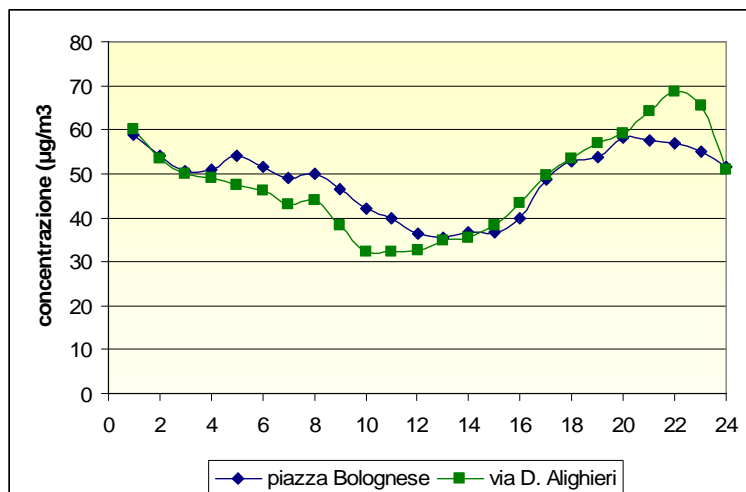


Durante le campagna di monitoraggio a Trevenzuolo in via D. Alighieri, su 16 giorni di misura complessivi, sono stati rilevati 6 giorni di superamento del valore limite di 24 ore per la protezione della salute umana dalle polveri inalabili (PM_{10}), pari a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, da non superare più di 35 volte nell'arco dell'anno civile. Nello stesso periodo le concentrazioni giornaliere di PM_{10} misurate presso la stazione fissa della rete ARPAV di monitoraggio della qualità dell'aria di Verona ubicata in Corso Milano, sono state superiori a tale valore limite per 9 giorni; i superamenti rilevati presso la stazione di Cason sono stati 7. Inoltre la media di periodo della concentrazione giornaliera di PM_{10} associata alla stazione rilocabile è risultata pari a $49 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valore minore rispetto a $62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ registrato nella stazione di traffico di C.so Milano ed a $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di Cason.

Durante le campagna di monitoraggio a Trevenzuolo in P.zza R. Bolognese, su 10 giorni di misura complessivi, sono stati rilevati 3 giorni di superamento del valore limite di 24 ore per la protezione della salute umana dalle polveri inalabili (PM_{10}), pari a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, da non superare più di 35 volte nell'arco dell'anno civile. Nello stesso periodo le concentrazioni giornaliere di PM_{10} misurate presso la stazione fissa della rete ARPAV di monitoraggio della qualità dell'aria di Verona ubicata in Corso Milano e loc. Cason, sono state superiori a tale valore limite per 5 giorni. La media di periodo della concentrazione giornaliera di PM_{10} associata alla stazione rilocabile è risultata pari a $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valore leggermente inferiore rispetto a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ registrato nelle stazioni della rete fissa ARPAV di C.so Milano e Cason.

Dall'analisi dell'andamento giornaliero del PM_{10} rilevato nei due siti di misura, visualizzato tramite il grafico del giorno tipo di Figura 9, si nota come i valori massimi si raggiungono nelle ore notturne, quando l'altezza dello strato di rimescolamento è minore e l'inversione termica notturna impedisce il diffondersi degli inquinanti negli alti strati dell'atmosfera. Nelle ore più calde del giorno si hanno in vece i valori minimi.

Figura 9: giorno tipo delle concentrazioni orarie di PM_{10} misurate a Trevenzuolo in P.zza R. Bolognese e in via Dante Alighieri



Andamento inquinanti e confronto con le rilevazioni dei siti fissi

Biossido di azoto (NO₂)

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

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

Tabella 6: media oraria, minimo e massima concentrazione oraria di NO₂ rilevata nelle campagne di monitoraggio effettuate a Trevenzuolo e nello stesso periodo presso le stazioni fisse di Verona.

Trevenzuolo via D. Alighieri

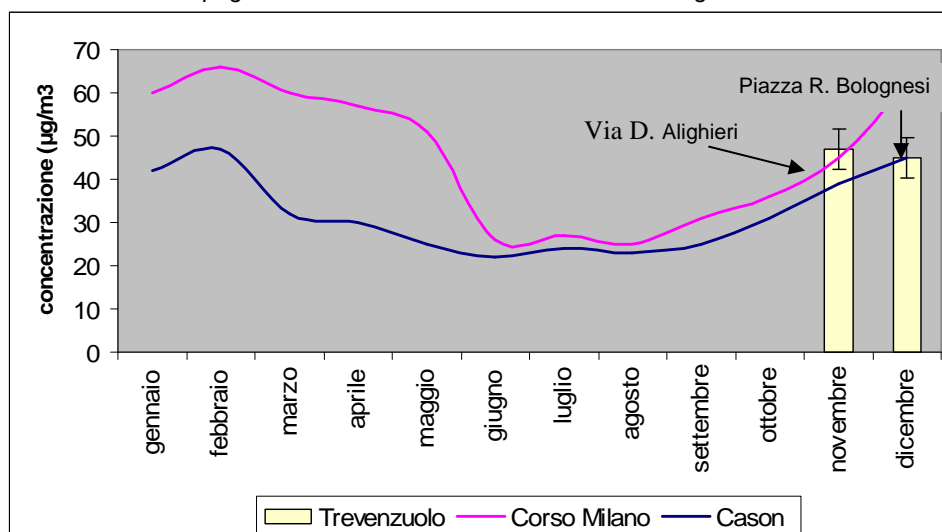
periodo	Concentrazione NO ₂ (µg/m ³)	Trevenzuolo via D. Alighieri	VR-Corso Milano	VR-Cason
20/11/07-06/12/07	Media	47	54	49
	Minimo	32	32	34
	Max. orario	73	76	62

Trevenzuolo P.zza R. Bolognese

periodo	Concentrazione NO ₂ (µg/m ³)	Trevenzuolo P.zza R. Bolognese	VR-Corso Milano	VR-Cason
04/12/07-21/12/07	Media	45	58	37
	Minimo	25	35	13
	Max. orario	66	92	72

Durante la campagna di misura non sono stati rilevati superamenti del limite orario pari a 250 µg/m³, i valori rilevati sono generalmente inferiori a quelli misurati presso le stazioni fisse di Verona. Nel grafico di Figura 10 è riportato l'andamento medio mensile delle concentrazioni di NO₂ misurate presso le stazioni fisse di Verona e le concentrazioni medie misurate durante le campagne condotte nei due siti di Trevenzuolo le concentrazioni medie hanno valori intermedi fra quelle rilevate nella stazione di background di Verona-Cason e quelle rilevate presso la stazione di traffico di Verona-Corso Milano.

Figura 10: confronto fra le concentrazioni medie mensili di biossido di azoto rilevate presso le stazioni fisse di Verona e le concentrazioni medie delle campagne condotte a Trevenzuolo in via Dante Alighieri e in Piazza Renato Bolognesi.



Biossido di zolfo (SO₂)

Il biossido di zolfo è un gas incolore dall'odore acre e pungente a temperatura ambiente derivante sia da fonti antropiche che da fonti naturali. L'origine naturale deriva principalmente dalle eruzioni vulcaniche mentre quella antropica deriva dalla combustione domestica degli impianti non metanizzati e dall'uso di combustibili liquidi e solidi nelle centrali termoelettriche..

A causa dell'elevata solubilità in acqua l'SO₂ viene assorbito facilmente dalle mucose del naso e del tratto superiore dell'apparato respiratorio; quindi solo le piccolissime quantità raggiungono la parte più profonda del polmone.

Gli ossidi di zolfo svolgono un'azione indiretta nei confronti della fascia di ozono stratosferico in quanto fungono da substrato per i clorofluorocarburi, principali responsabili del "buco" dell'ozono. Nel contempo si oppongono al fenomeno dell'effetto serra in quanto hanno la capacità di riflettere le radiazioni solari producendo un raffreddamento del pianeta.

Tabella 7: media oraria, deviazione standard e massima concentrazione oraria di SO₂ rilevata nelle campagne di monitoraggio effettuate a Trevenzuolo e nello stesso periodo presso le stazioni fisse di Verona.

Trevenzuolo via D. Alighieri

periodo	Concentrazione SO ₂ (µg/m ³)	Trevenzuolo via D. Alighieri	VR-Corso Milano	VR-Cason
20/11/07-06/12/07	Media	2	2	1
	Minimo	2	2	-
	Max. orario	2	4	3

Trevenzuolo P.zza R. Bolognese

periodo	Concentrazione SO ₂ (µg/m ³)	Trevenzuolo P.za R. Bolognese	VR-Corso Milano	VR-Cason
04/12/07-21/12/07	Media	2	3	2
	Minimo	2	2	2
	Max. orario	2	5	3

La crescente diffusione del metano, combustibile con tenore di zolfo quasi nullo, ha contribuito ad abbassare notevolmente i livelli di questo inquinante nell'aria ambiente: sia i valori orari, che i valori medi giornalieri sono rimasti ben al di sotto delle soglie previste dall'attuale legislazione. I valori misurati a Trevenzuolo sono quasi sempre al di sotto della soglia di rilevazione dello strumento.

Monossido di carbonio (CO)

Qualsiasi processo di combustione incompleta provoca la produzione di monossido di carbonio (CO), un gas incolore ed inodore che a concentrazioni molto elevate, normalmente non riscontrabili nell'aria ambiente, è fortemente dannoso per la salute. Una quota notevole di CO deriva da processi naturali connessi all'ossidazione atmosferica di metano e di altri idrocarburi normalmente emessi nell'atmosfera, dalle emissioni degli oceani e paludi, da incendi forestali, da acqua piovana e tempeste elettriche.

Le fonti antropiche di monossido di carbonio sono rappresentate da tutte le attività che comportano l'utilizzo di combustibili fossili, in particolare il traffico stradale (motori a benzina) è la sorgente principale (60% circa su scala nazionale), seguito dall'industria metallurgica (16% circa) e dall'uso domestico e commerciale (14% circa).

Il CO è un inquinante primario che solo lentamente viene ossidato a CO₂: il tempo di permanenza in atmosfera può arrivare a sei mesi.

I livelli di questo inquinante nell'aria ambiente sono fortemente legati alla presenza di flusso veicolare: nelle due campagne di misura non sono stati rilevati superamenti dei valori limite. Il valore massimo della media mobile trascinata di 8 ore è stato pari a 1.5 mg/m³, rilevati durante la campagna presso il sito di Piazza Renato Bolognesi. In generale le concentrazioni rilevate sono molto simili a quelle misurate nella stazione di fondo di Verona-Cason.

Tabella 8: media oraria, deviazione standard e massima concentrazione oraria di CO rilevata nelle campagne di monitoraggio effettuate a Trevenzuolo e nello stesso periodo presso le stazioni fisse di Verona.

Trevenzuolo via D. Alighieri

periodo	Concentrazione CO (mg/m ³)	Trevenzuolo via D. Alighieri	VR-Corso Milano	VR-Cason
20/11/07-06/12/07	Media	0.4	0.8	0.7
	Minimo	0.2	0.6	0.4
	Max. orario	0.7	1.1	0.9

Trevenzuolo P.zza R. Bolognese

periodo	Concentrazione CO (mg/m ³)	Trevenzuolo P.za R. Bolognese	VR-Corso Milano	VR-Cason
04/12/07-21/12/07	Media	0.6	1.0	0.8
	Minimo	0.1	0.5	0.4
	Max. orario	1.1	1.6	1.3

I livelli di questo inquinante nell'aria ambiente sono fortemente legati alla presenza di flusso veicolare: nelle due campagne di misura non sono stati rilevati superamenti dei valori limite. Il valore massimo della media mobile trascinata di 8 ore è stato pari a 0.5 mg/m³, rilevati durante la campagna invernale. In generale le concentrazioni rilevate sono molto simili a quelle misurate nella stazione di fondo di Verona-Cason.

Ozono (O₃)

L'ozono è un inquinante di tipo secondario, prodotto da reazioni fotochimiche di trasformazione degli inquinanti primari, quali composti organici volatili e ossidi di azoto. Anche in questo caso, le condizioni meteorologiche hanno un'enorme influenza sull'andamento delle concentrazioni. In particolare il verificarsi di intensa radiazione solare, temperatura mite o calda e venti moderati favorisce la formazione di smog fotochimico e l'aumento delle concentrazioni troposferiche di ozono; nell'arco della giornata, i livelli sono bassi al mattino (fase di innesco del processo fotochimico) raggiungono il massimo nel primo pomeriggio e si riducono progressivamente nelle ore serali con il diminuire della radiazione solare. Precursori sono i composti idrocarburici e gli ossidi di azoto presenti nell'aria, anche relativamente distanti dal punto di formazione dell'O₃. Dall'analisi dei dati effettuata l'inquinamento da ozono risulta particolarmente critico in tutta l'area pianeggiante del Veneto.

L'ozono a livello del suolo è tossico per l'uomo anche a concentrazioni relativamente basse essendo un potente agente ossidante, tanto che rappresenta, insieme al particolato, uno degli inquinanti più rilevanti dal punto di vista della salute.

Tabella 9: media oraria, deviazione standard e massima concentrazione oraria di O₃ rilevata nelle campagne di monitoraggio effettuate a Trevenzuolo e nello stesso periodo presso le stazioni fisse di Verona.

Trevenzuolo via D. Alighieri

periodo	Concentrazione O ₃ (µg/m ³)	Trevenzuolo via D. Alighieri	VR-Cason
20/11/07-06/12/07	Media	7	10
	Minimo	-	6
	Max. orario	16	20

Trevenzuolo P.za R. Bolognese

periodo	Concentrazione O ₃ (µg/m ³)	Trevenzuolo P.za R. Bolognese	VR-Cason
04/12/07-21/12/07	Media	5	12
	Minimo	-	6
	Max. orario	17	24

I valori più elevati di ozono si registrano normalmente nel periodo primaverile estivo: nel periodo in cui sono state effettuate le campagne di monitoraggio non sono stati rilevati valori elevati di ozono in nessuna delle stazioni di rilevamento attive nella provincia.

Benzene (C₆H₆)

Il benzene (formula chimica C₆H₆) è il più semplice dei composti organici aromatici: è un liquido incolore dal caratteristico odore pungente che diventa irritante a concentrazioni elevate e che volatilizza facilmente a temperatura ambiente.

Il benzene presente nell'aria ambiente è prevalentemente di origine antropica e deriva principalmente da processi di combustione incompleta (emissioni industriali, veicoli a motore, incendi). La maggiore fonte emissiva è rappresentata dai veicoli a motore alimentati a benzina, i quali emettono benzene oltre che dal tubo di scappamento, dal serbatoio e dal carburatore. In questi ultimi due casi si tratta di perdite dovute all'evaporazione legate cioè alla volatilità del combustibile ed ai fenomeni fisici che la favoriscono.

Tabella 10: concentrazione media giornaliera di benzene, toluene e xilene.

Periodo	Benzene (µg/m ³)	Toluene (µg/m ³)	Xileni (µg/m ³)
Trevenzuolo via D. Alighieri 20/11/07-06/12/07	4.0	10.6	4.6
Trevenzuolo P.za R. Bolognese 04/12/07-21/12/07	4.6	10.1	4.8

Metalli ed altri elementi in tracce

I filtri di polveri sottili prelevati nei due siti di misura sono stati sottoposti ad analisi tramite fluorescenza X per determinare la concentrazione di metalli ed elementi in tracce. Lo strumento utilizzato per questa analisi è lo spettrometro EDXRF Epsilon a dispersione di energia che si basa sul fenomeno della fluorescenza X. Gli atomi di un materiale emettono raggi X caratteristici se irraggiati con raggi X di opportuna energia. In questo modo si può effettuare un'analisi qualitativa del campione opportunamente preparato individuando gli elementi che lo costituiscono; inoltre, con una opportuna taratura dello strumento, è possibile quantificare ciascun elemento identificato. I limiti di rilevabilità che si possono ottenere con una opportuna taratura possono raggiungere le decine di ng/cm². Analizzare campioni con questa tecnica ha un altro pregio di non trascurabile importanza: è un'analisi non distruttiva, se necessario il campione può essere messo nuovamente in misura oppure analizzato con altra tecnica analitica.

I risultati sono riassunti in Tabella 11. Per piombo, arsenico, nichel e cadmio la normativa prevede dei valori limite di concentrazione da non superare come media annuale. La concentrazione di cadmio e arsenico è risultata al di sotto della soglia di rilevazione nella quasi totalità dei filtri analizzati. I valori di piombo e nichel sono molto inferiori al valore limite annuale pari a 0.5 µg/m³ per il piombo e a 20 ng/m³ per il nichel.

Se si confrontano i dati rilevati a Trevenzuolo con i valori medi annui di metalli ed altri elementi in tracce rilevati presso la stazione urbana di Verona Corso Milano nello stesso periodo, si nota come i valori di concentrazione rilevati presso il sito urbano di traffico siano in generale più elevati di quelli rilevati nei due siti di Trevenzuolo.

Tabella 11: valori medi di concentrazione di metalli ed elementi in tracce rilevati presso i siti di misura di via Dante Alighieri e Piazza Renato Bolognese.

Elementi normati dal D.lgs. 152/08	Valore medio via Dante Alighieri	Valore medio piazza Renato Bolognese	Valore medio Corso Milano
Piombo	0.023 µg/m ³	0.026 µg/m ³	0.034 µg/m ³
Arsenico	1 ng/m ³	2 ng/m ³	4 ng/m ³
Cadmio	<2.2 ng/m ³	<2.2 ng/m ³	< 5 ng/m ³
Nichel	5 ng/m ³	5 ng/m ³	5 ng/m ³
Altri elementi in tracce	ng/m³	ng/m³	ng/m³
Silicio	508	429	968
Zolfo	1106	839	1101
Cloro	298	383	453
Potassio	517	569	699
Calcio	1016	741	2162
Titanio	23	20	43
Vanadio	2	2	8
Cromo	7.9	7.4	10
Manganese	40	47	43
Ferro	619	548	1457
Rame	30	30	71
Zinco	155	160	175

Analisi modellistica

Al fine di valutare come le emissioni di alcune delle principali attività produttive presenti nella zona industriale del comune di Trevenzuolo, e nello specifico in località San Pierino, interessino l'area in esame e come le ricadute di tali fonti di pressione si distribuiscano sul territorio, sono state effettuate delle simulazioni modellistiche con il modello di dispersione in atmosfera ADMS-Urban.

Sono state eseguite simulazioni in corrispondenza ai periodi delle campagne di misura eseguite con il laboratorio mobile per l'analisi della qualità dell'aria. Per tali simulazioni è stata considerata come sorgente emissiva solamente la ditta Fover Casting S.p.A.

Successivamente è stata simulata la dispersione in atmosfera per l'intero anno 2008. In questo caso le ditte inserite in input al modello sono state scelte, oltre che in base alla disponibilità dei dati, andando preventivamente ad analizzare la rosa dei venti caratteristica del periodo studiato, al fine di considerare nella simulazione le fonti di pressione le cui emissioni sono maggiormente interessate dal trasporto dovuto al regime anemologico tipico della zona. Nello specifico sono state considerate le seguenti ditte: Fover Casting S.p.A., C.Z. Service S.r.l., G.D.M. S.r.l., Prefabbricati Saccai S.r.l.

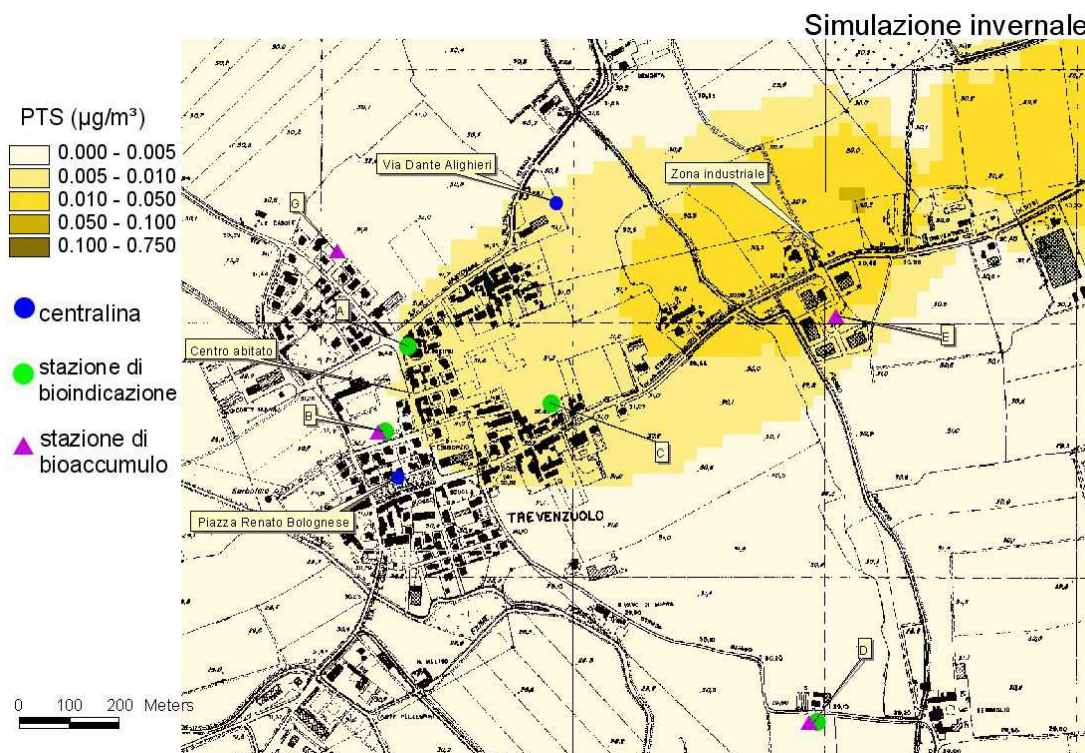
Ove non disponibili le concentrazioni misurate, sono stati considerati i valori autorizzati delle emissioni.

I dati meteorologici utilizzati nelle simulazioni sono quelli forniti dalla stazione meteorologica del comune di Sorgà.

In Figura 11 è riportata la figura di dispersione delle polveri totali emesse dalle principali attività industriali attive in loc. San Pierino nel periodo in cui sono state effettuate le campagne di monitoraggio con il mezzo mobile. Le figure di dispersione rappresentano la distribuzione media sul periodo delle ricadute sul territorio delle emissioni in atmosfera prodotte dalle sorgenti considerate. La postazione di via Dante Alighieri è interessata marginalmente dalle emissioni della zona industriale, Piazza Renato Bolognesi si trova ai margini della zona di ricaduta delle emissioni considerate. Le figure di dispersione per l'NO₂ rispecchiano quelle delle polveri: nel periodo invernale considerato, le concentrazioni massime raggiunte attorno alle fonti di pressione sono pari a 1.8 µg/m³. Per quanto riguarda le polveri sottili è importante sottolineare come il modello di dispersione consideri solo la parte primaria del particolato, mentre la concentrazione misurata è costituita sia dalla parte primaria (circa il 10-20% del totale) e dalla parte secondaria generata in atmosfera a seguito di reazioni fisico chimiche fra i diversi inquinanti presenti. Per quanto riguarda gli ossidi di azoto, la concentrazione in aria misurata è dovuta sia alla presenza di attività industriali, sia a tutte le attività che prevedono una combustione, quali ad esempio il traffico veicolare ed il riscaldamento.

Per valutare l'impatto sull'abitato di Trevenzuolo delle attività presenti nella zona industriale sono state effettuate simulazioni modellistiche relative all'intero anno, Figura 11, (anno meteorologico di riferimento 2008) e al periodo estivo, Figura 13, (periodo meteorologico di riferimento 20/06/2008 -20/07/2008).

Figura 11: dispersione media delle PTS relativa al periodo dal 20/11/2007 al 21/12/2007 (simulazione invernale).



Il regime anemologico relativo ai periodi considerati è caratterizzato da vento proveniente da NNE e da OSO. In particolare il periodo estivo del 2008 considerato nelle simulazioni è stato caratterizzato da vento proveniente soprattutto da NNE. Durante il periodo invernale, invece, si nota una leggera predominanza di vento proveniente da OSO, che provoca una figura di dispersione leggermente più estesa in direzione NNE. Dato il regime anemologico presente, le ricadute delle sorgenti considerate vanno ad interessare il centro abitato di Trevenzuolo, anche se i valori di concentrazione simulati risultano estremamente contenuti. Le figure di dispersione relative agli ossidi di azoto sono analoghe a quelle per le polveri totale sospese. Le concentrazioni più alte in corrispondenza del centro abitato, in tutti i periodi simulati, risultano non superare gli $0.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. I valori massimi si raggiungono nella parte dell'area residenziale che si affaccia alla zona industriale.

Figura 12: dispersione media delle PTS per l'anno 2008.

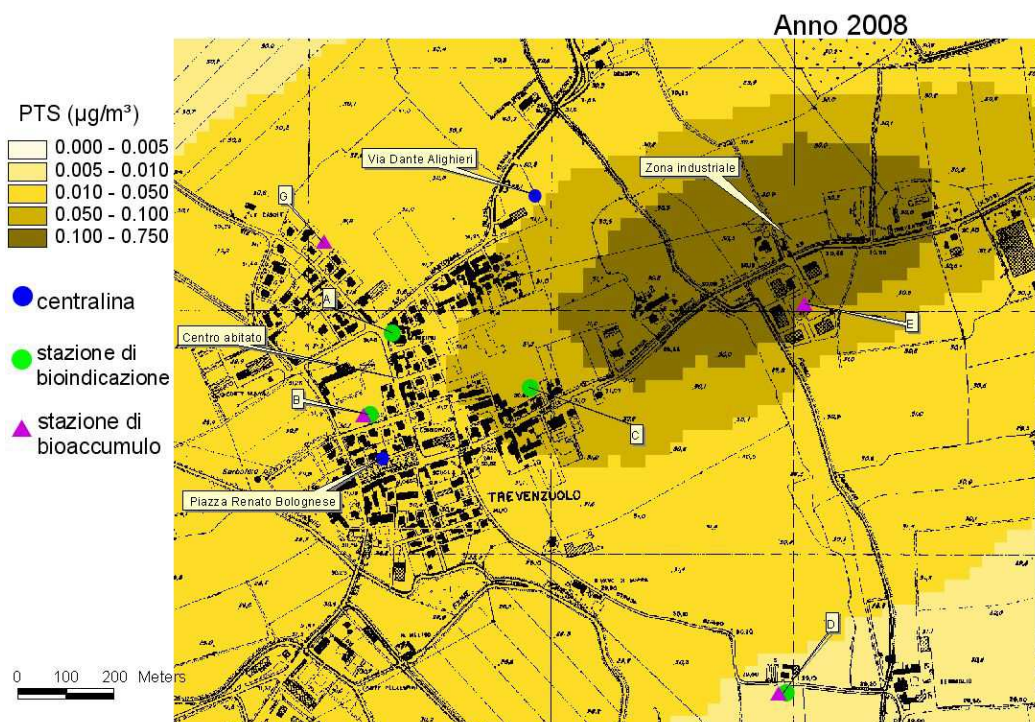
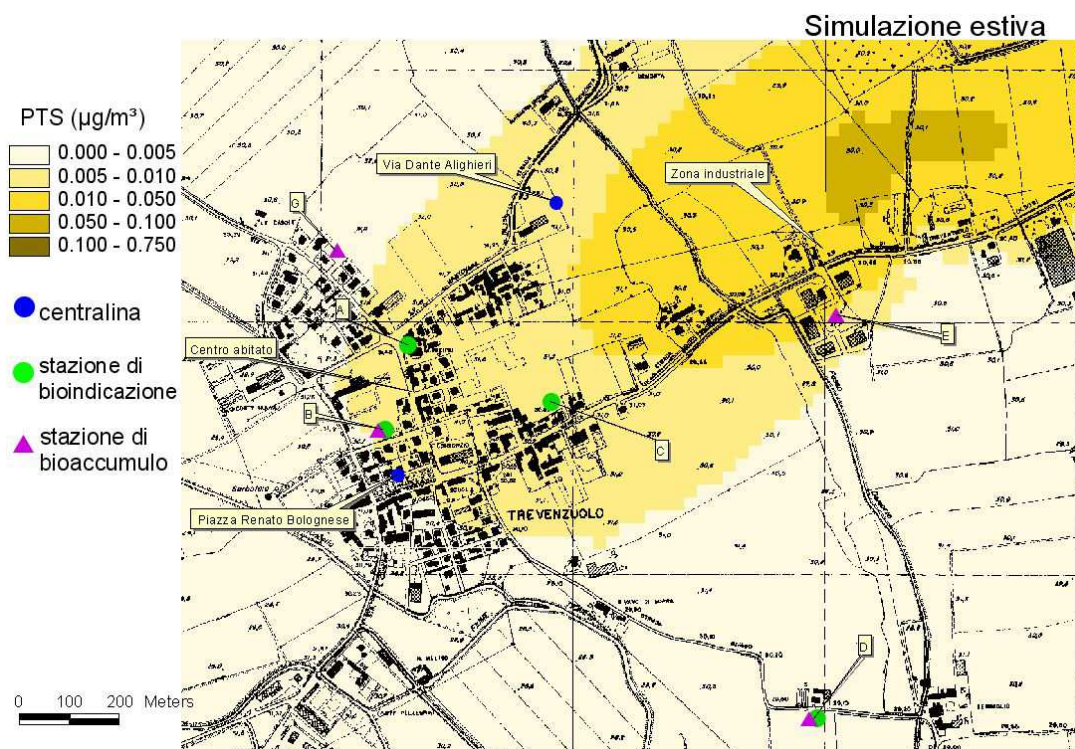


Figura 13: dispersione media delle PTS relativa al periodo dal 20/06/2008 al 20/07/2008 (simulazione estiva).



Nella zona industriale di Trevenzuolo è presente un'azienda che produce manufatti in alluminio ed ha un'autorizzazione alle emissioni in atmosfera che prescrive limitazioni sia in concentrazione che in flusso di massa per i seguenti elementi: alluminio, arsenico, cadmio, ferro, manganese, mercurio, nichel, nitrati, nitriti, ossidi di azoto (monossido e biossido), ossidi di zolfo (biossido e triossido), piombo, polveri totali, rame, selenio, zinco.

L'analisi delle polveri fini effettuata sui campioni prelevati sia presso il sito di Piazza Renato Bolognesi che in via Dante Alighieri ha rilevato la presenza in concentrazioni variabili degli elementi oggetto di autorizzazione alle emissioni. In particolare nei giorni 1 dicembre e dal 12 al 14 dicembre si nota un aumento della concentrazione di titanio, vanadio, cromo ferro, arsenico, piombo, nichel, rame e zinco nei due diversi siti di misura.

Tabella 12: andamento dei valori di concentrazione di alcuni metalli ed elementi in tracce rilevati presso il sito di misura di via Dante Alighieri nel periodo 20 novembre-6 dicembre 2007.

Data	Ti	V	Cr	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Pb
20/11/07	17.8	<3.47	7.7	311.2	1.5	15.6	124.5	<1.9	10.4
21/11/07	43.3	5.0	17.5	1243.7	8.4	53.3	352.0	3.6	41.4
22/11/07	17.1	<3.47	10.1	393.9	4.1	25.2	160.8	<1.9	23.6
23/11/07	12.4	<3.47	<4.3	233.1	3.5	10.9	83.8	<1.9	12.2
24/11/07	7.1	<3.47	<4.3	174.8	2.5	8.5	59.3	<1.9	5.4
25/11/07	1.6	<3.47	4.6	149.9	<1.9	10.0	56.5	<1.9	11.7
26/11/07	5.7	<3.47	<4.3	236.3	<1.9	12.4	78.9	<1.9	17.0
27/11/07	24.3	<3.47	<4.3	438.1	2.6	18.7	67.7	<1.9	13.6
28/11/07	33.1	<3.47	<4.3	407.9	3.4	20.1	104.6	<1.9	18.6
29/11/07	31.6	<3.47	10.7	810.4	6.1	32.2	148.1	<1.9	19.0
30/11/07	29.2	<3.47	7.4	883.6	4.8	46.3	226.2	<1.9	32.7
01/12/07	35.2	4.0	11.9	1189.4	6.4	60.3	216.9	<1.9	28.7
02/12/07	14.5	<3.47	7.3	509.8	4.3	25.7	206.0	<1.9	28.7
03/12/07	15.3	<3.47	6.7	464.7	4.1	25.2	144.1	<1.9	24.8
04/12/07	30.4	<3.47	13.4	815.1	4.6	42.2	233.3	<1.9	27.8
05/12/07	38.6	<3.47	11.2	1021.2	4.9	43.4	158.3	<1.9	28.6
06/12/07	39.1	<3.47	14.7	1242.6	17.0	54.7	216.9	<1.9	45.1

Tabella 13: andamento dei valori di concentrazione di alcuni metalli ed elementi in tracce rilevati presso il sito di misura di Piazza Renato Bolognese nel periodo 8-15 dicembre 2007.

Data	Ti	V	Cr	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Pb
08/12/07	20.1	<3.5	7.9	671.0	5.4	34.9	215.2	<1.9	33.3
09/12/07	5.2	<3.5	<4.3	291.0	2.3	17.5	83.4	<1.9	15.4
10/12/07	3.5	<3.5	<4.3	210.5	2.2	13.3	81.7	<1.9	16.5
11/12/07	11.6	<3.5	<4.3	372.6	3.4	22.7	114.5	<1.9	21.2
12/12/07	31.4	<3.5	11.8	734.3	5.6	50.6	317.5	3.0	51.8
13/12/07	47.1	4.2	17.5	1132.2	9.0	55.8	266.4	4.7	39.2
14/12/07	29.9	<3.5	9.9	778.7	4.8	33.2	155.8	<1.9	22.6
15/12/07	8.5	<3.5	5.8	197.3	0.9	9.3	43.2	<1.9	5.4

L'analisi modellistica della dispersione delle polveri emesse dalla ditta che produce manufatti in alluminio mostra come nei giorni in cui è stata misurata una concentrazione relativamente bassa di elementi in tracce, le condizioni meteorologiche favorivano la dispersione degli inquinanti in direzione opposta al paese di Trevenzuolo, come ad esempio nel giorno 10 dicembre (Figura 14). Nei giorni 1, 13 e 14 dicembre le emissioni hanno interessato direttamente il paese e il sito di misura (Figura 15, figura 16). L'analisi modellistica suggerisce, quindi, un possibile contributo dovuto alle emissioni della zona industriale di San Pierino alle concentrazioni di metalli e altri elementi in tracce rilevati sui filtri di polveri sottili.

Figura 14: figura di dispersione delle polveri emesse dalla ditta Fover Casting spa. Periodo: 10 dicembre 2007

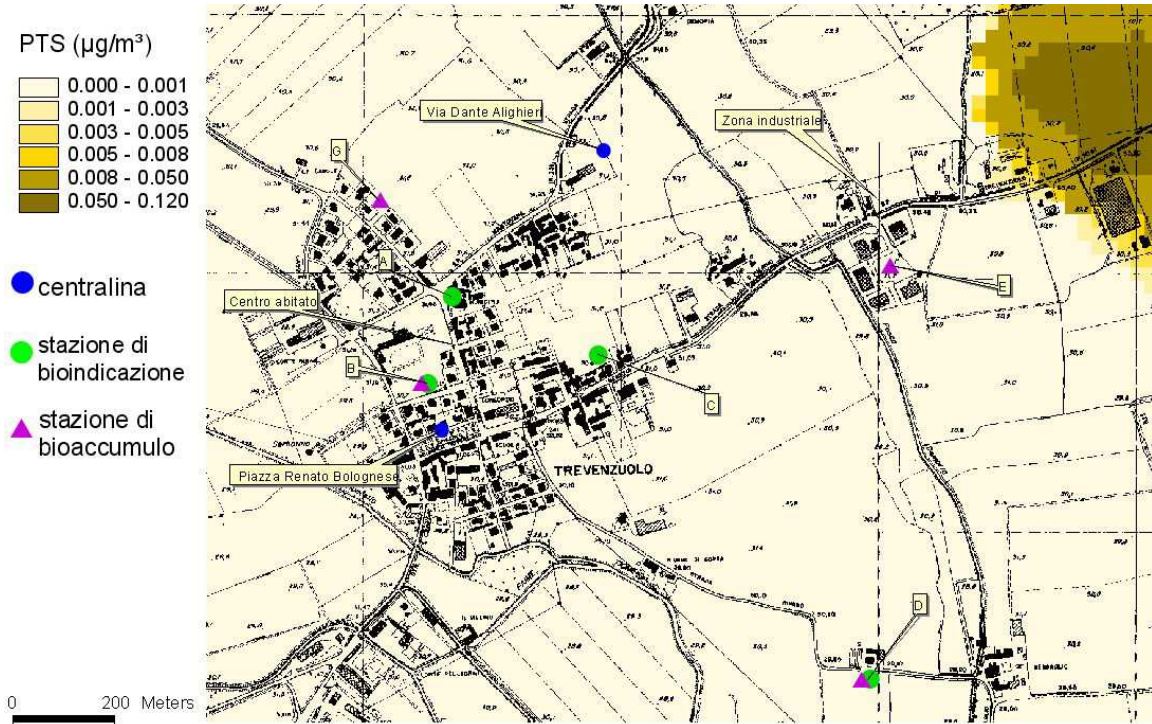


Figura 15: figura di dispersione delle polveri emesse dalla ditta Fover Casting spa. Periodo: 1 dicembre 2007

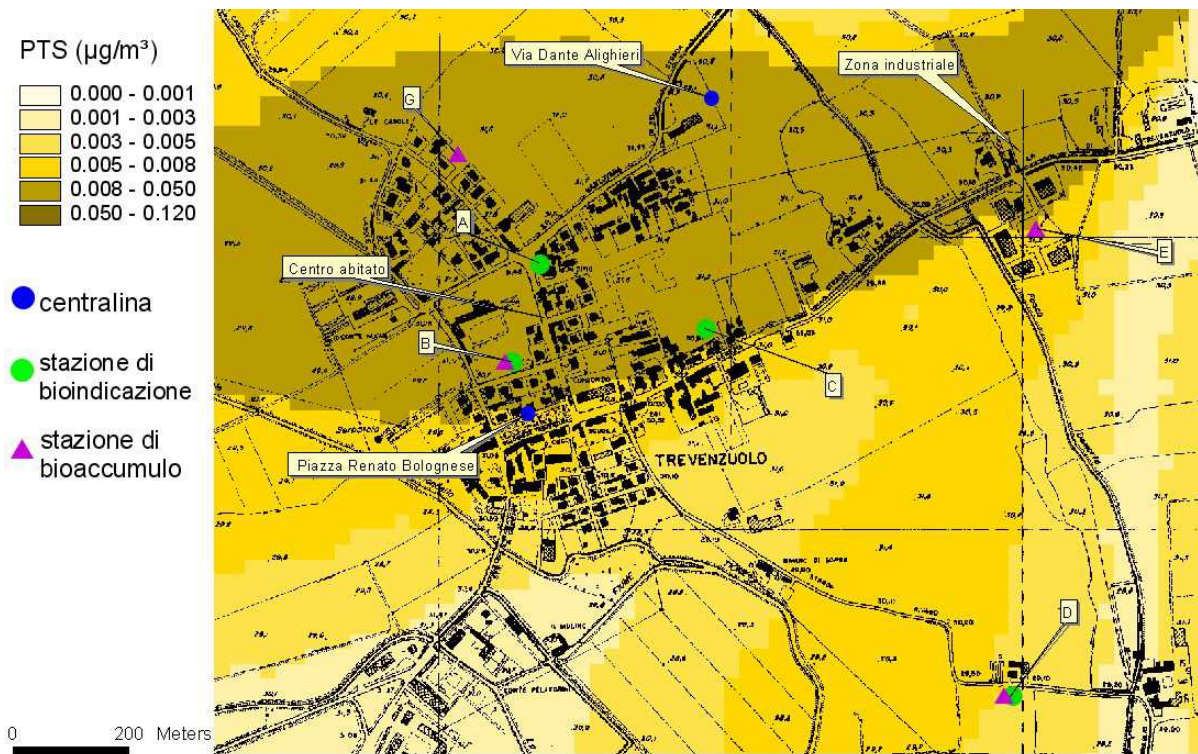
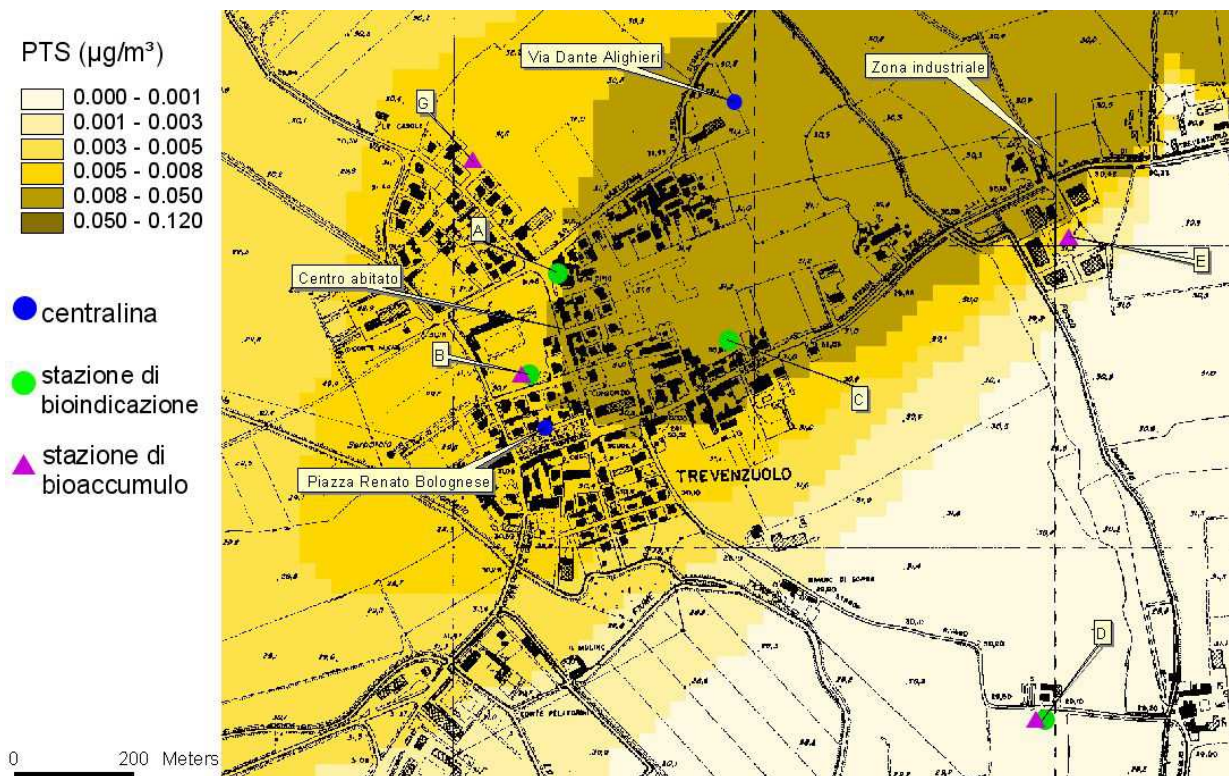


Figura 16: figura di dispersione delle polveri emesse dalla ditta Fover Casting spa. Periodo: 12-14 dicembre 2007



Biomonitoraggio lichenico

Il biomonitoraggio si basa sullo studio e l'interpretazione degli effetti prodotti dall'inquinamento sugli organismi viventi e sulle loro comunità. Gli organismi utilizzati sono definiti "indicatori biologici". In presenza di determinate concentrazioni di inquinanti subiscono variazioni facilmente rilevabili e quantificabili. Nell'ambito del biomonitoraggio ambientale i licheni possono essere utilizzati sia come bioindicatori che come bioaccumulatori.

Licheni come bioindicatori

La tecnica di biomonitoraggio che utilizza i licheni epifiti (che crescono sulla corteccia degli alberi) come bioindicatori permette di realizzare indagini ambientali scientificamente valide e complete per la stima dell'inquinamento atmosferico. Lo studio della flora lichenica permette di valutare la qualità complessiva dell'aria in quanto i licheni dipendono direttamente dall'atmosfera per lo svolgimento delle attività metaboliche. Essi manifestano sensibilità agli effetti tossici di singoli inquinanti, quali ad esempio l'anidride solforosa e gli ossidi d'azoto, e all'effetto combinato di tutti gli inquinanti eventualmente presenti.

La flora lichenica rilevata con la tecnica di biomonitoraggio può essere tradotta in indici numerici per definire il livello di inquinamento dell'aria (indice di Biodiversità Lichenica – BLs).

Dal valore di BLs, utilizzando una scala di interpretazione (scala di naturalità/alterazione - Tabella 14), è possibile stimare il livello di inquinamento della stazione monitorata. Per ciascuna stazione devono essere individuati 3-4 alberi, come da indicazioni riportate sulle linee guida del Manuale ANPA 2/2001 "I.B.L. Indice di Biodiversità Lichenica".

Tabella 14: scala di naturalità/alterazione.

Livello	BL	giudizio
1	0	Alterazione molto alta – deserto lichenico
2	1-15	Alterazione alta
3	16-30	Alterazione media
4	31- 45	Alterazione bassa/ naturalità bassa
5	46 – 60	Naturalità media
6	61- 75	Naturalità medio alta
7	>76	Naturalità alta

Licheni come bioaccumulatori

Un bioaccumulatore è considerato un "biomonitor" perché permette di estrapolare informazioni quantitative sui livelli degli inquinanti presenti nell'aria. Un bioaccumulatore è infatti un organismo in grado di assorbire e accumulare al suo interno le sostanze presenti nell'aria, compresi gli inquinanti chimici, senza subire danni e l'analisi chimica del loro contenuto permette di identificare precise sostanze inquinanti.

I licheni sono ottimi bioaccumulatori e vengono ampiamente utilizzati per ricostruire i "patterns" di deposizione atmosferica di metalli in traccia. Possono rilevare i livelli di inquinamento all'interno di aree limitate, come zone industriali, città, paesi, strade ad elevato traffico, ecc...

Risultati bioindicazione

Nell'area studiata non sempre è stato possibile individuare 3 o 4 alberi con caratteristiche idonee per i rilievi lichenici. Sono stati quindi monitorati gli alberi disponibili, il dato ottenuto è inteso come indice di Biodiversità Lichenica della stazione (BLs) nel caso in cui siano stati monitorati 3 o più alberi o come valore di Biodiversità Lichenica (BL), nel caso in cui siano stati monitorati meno di 3 alberi. In quest'ultimo caso il valore di BL non può essere confrontato con la scala di naturalità/alterazione, ma può essere usato per verificare se, a distanza di tempo, sono intervenuti fattori in grado di modificare la comunità delle specie licheniche. I siti individuati per la bioindicazione sono riportati in Figura 12. I risultati ottenuti sono riportati nella tabella seguente:

Tabella 15: biomonitoraggio lichenico - risultati della bioindicazione.

Sito	Indirizzo	BLs/BL*	Giudizio
A	Via Roma - municipio	70*	
B	Viale Giovanni XXIII - parco	93	Naturalità alta
C	Via Venezia - villa	52.50*	
D	Strada Rivano - parrucchiera	78.33	Naturalità alta

*sono stati monitorati meno di tre alberi

Risultati bioaccumulo

Nell'area del comune di Trevenzuolo, la scelta delle stazioni di rilevamento è stata fatta in base alla disponibilità sul territorio di forofiti idonei, situati cioè in aree ben esposte e sufficientemente lontane da fonti di disturbo quali coperture di alberi o vicinanza di edifici. Sono state individuate 4 stazioni (Figura 12).

Per valutare i livelli di naturalità/alterazione espressi dalle concentrazioni dei metalli nei talli lichenici sottoposti ad analisi, è stata utilizzata una scala elaborata sulla base dell'analisi di centinaia di misure svolte in Italia, in aree geomorfologicamente diverse e con diversi tassi di inquinamento (Linee-Guida per l'utilizzo di licheni epifiti come bioaccumulatori di metalli in traccia – P.L. Nimis, R. Bargagli – 1999).

Come si vede dai risultati riportati in Tabella 16, le stazioni che presentano le alterazioni più evidenti sono la B (Viale Giovanni XXIII - parco) che presenta condizioni di **alterazione media** per Cr e Ni e la G (laterale di via Sant'Eurosia - parco) che presenta condizioni di **alterazione alta** per il Hg.

Tabella 16: concentrazione di metalli e elementi in tracce in mg/ kg nei talli lichenici di *Xanthoria parietina*.

Stazione		Cr	Pb	Hg	As	Cd	Ni	Cu	Zn	Al	Mn
		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
B	V.le Giovanni XXIII - parco giochi	6.62	1.82	0.10	0.17	0.20	5.43	7.48	38.08	251.99	15.00
D	Strada Rivano - parrucchiera	0.32	2.20	0.12	0.20	0.20	0.40	11.57	60.85	477.66	17.37
E	Strada San Pierino E871 - zona industriale	3.00	2.76	0.10	0.20	0.10	1.66	8.39	38.62	427.10	19.84
G	Laterale di via Sant'Eurosia	3.34	5.52	0.56	0.33	0.13	1.49	10.21	56.18	769.99	18.01
Materiale di riferimento		1.82	41.19	0.60	0.70	0.53	2.85	6.66	91.12	639.50	25.55

Conclusioni biomonitoraggio lichenico

Complessivamente si può dire che le stazioni ritenute significative per il monitoraggio sono la B e la D. Entrambe le stazioni si collocano nel 7° livello della scala di naturalità/alterazione corrispondente ad uno stato di **naturalità alta**; è però interessante notare che la stazione B ha avuto un indice di BL pari a 93.00, mentre la stazione D ha avuto un indice di BL pari a 78.33, cioè leggermente superiore al limite minimo di BL stabilito per il 7° livello della scala di naturalità/alterazione (76).

Il dato ottenuto dai rilievi effettuati nel sito A non è significativo in quanto relativo ad un solo forofita e quindi non sufficiente a dare un'interpretazione del grado di naturalità/alterazione; comunque è importante sottolineare che è stato ottenuto un valore di BL di 70 con un numero di specie licheniche (8) che rientra nella media degli alberi monitorati nel territorio (da 7 a 11). Anche il dato ottenuto dai rilievi effettuati sul sito C non è significativo in quanto relativo a due forofiti e quindi non sufficiente a dare un'interpretazione del grado di naturalità/alterazione; in questo sito il valore medio di BL è di 52.5 ed in entrambi gli alberi sono stati rilevati i valori più bassi riscontrati nell'area di studio. La presenza di una cabina telefonica e di una struttura metallica, poste nelle vicinanze, possono avere interferito con la colonizzazione della comunità lichenica e questa osservazione è supportata anche dalla differenza tra i valori di BL ottenuti sui due forofiti (valore di BL 44 e 61).

Per quanto riguarda i dati emersi dall'analisi dei talli lichenici per la ricerca di metalli in traccia, in generale le concentrazioni rilevate sono confrontabili o inferiori a quelle del materiale di riferimento. Le stazioni che presentano le alterazioni più evidenti sono la B (Viale Giovanni XXIII - parco) che presenta condizioni di **alterazione media** per Cr e Ni e la G (laterale di via Sant'Eurosia - parco) che presenta condizioni di **alterazione alta** per il Hg.

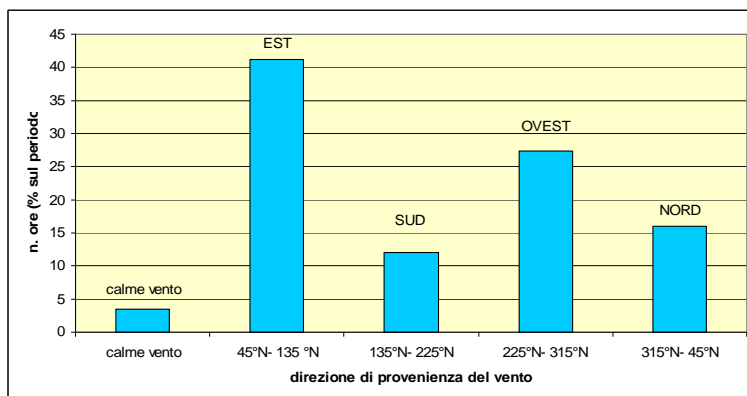
Queste stazioni si trovano ad Ovest della zona industriale in cui è presente un'attività che è autorizzata ad emettere in atmosfera quantità limitate di questi elementi. L'analisi delle polveri aereodisperse e dei metalli in esse contenute ha evidenziato una possibile correlazione fra emissioni industriali e concentrazioni di alcuni elementi in aria. L'analisi dei talli lichenici permette di ricostruire le figure di deposizione di metalli ed altri elementi nell'ultimo anno: nel nostro caso si riferiscono al periodo marzo 2008 – marzo 2009. Dallo studio della dispersione degli inquinanti emessi dalla zona industriale si ricava che le stazioni di bioaccumulo B, G e E ricadono nelle zone maggiormente interessate dalle ricadute (Figura 11, Figura 12, Figura 13). La stazione D si trova a Sud della zona industriale e risulta, quindi, meno interessata dalle emissioni prese in considerazione. In generale il bioaccumulo dei talli lichenici è in buon accordo con la figura di dispersione delle emissioni provenienti dalla ZAI di Trevenzuolo.

L'analisi delle direzioni dei venti più frequenti nel periodo marzo 2008 – marzo 2009 ha dato i risultati riportati in Tabella 17 e nella Figura 17. La direzione prevalente dei venti era compresa nel quadrante orientale fra 45°N e 135°N: è quindi possibile che vi sia stato un maggiore accumulo di metalli ed altri elementi nei talli lichenici posti a Ovest del punto di emissione individuato (postazione B e G). I talli prelevati nel punto D, a Sud della zona industriale ed interessato dalle emissioni della ZAI solo nel 16% dei casi, mostrano valori di bioaccumulo generalmente inferiori.

Tabella 17: quadrante di provenienza del vento e frequenza di accadimento

Quadrante di provenienza del vento	n. ore	n.ore (%)
calme vento	335	3.5
45°N - 135°N	3910	41.1
135°N - 225°N	1141	12.0
225°N - 315°N	2601	27.4
315°N - 45°N	1517	16.0

Figura 17: percentuale di venti provenienti dai quadranti principali nel periodo marzo 2008 – marzo 2009



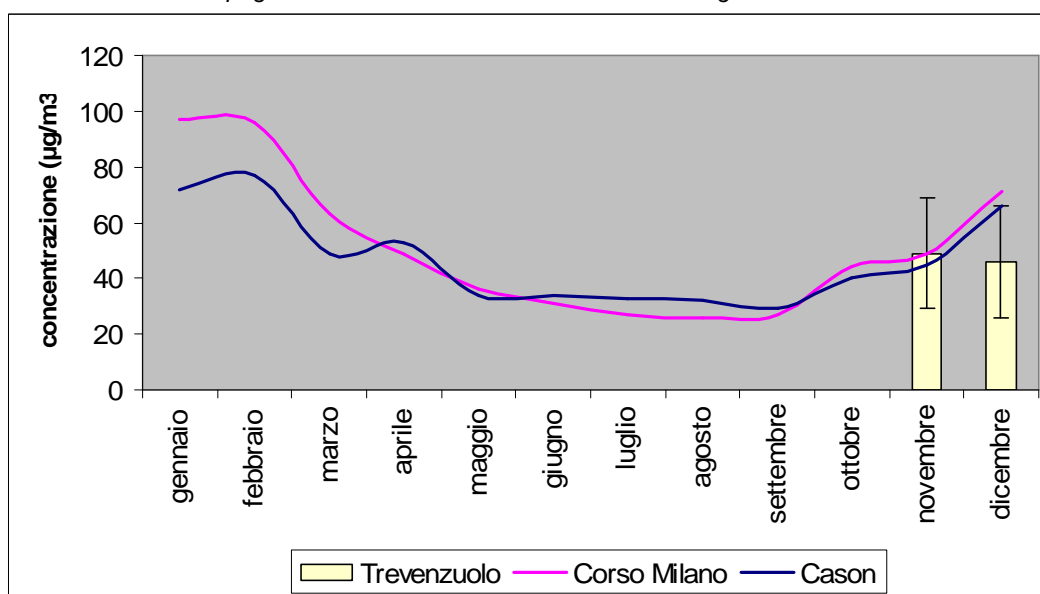
Conclusioni

I siti di monitoraggio, pur essendo in linea d'aria relativamente vicini presentavano caratteristiche diverse: Piazza Bolognese è localizzata all'interno del paese di Trevenzuolo in una zona abitata interessata prevalentemente da traffico locale; via Dante Alighieri si trova in una zona agricolo/industriale interessata da diverse attività produttive.

Durante le campagne di monitoraggio non sono state rilevate differenze significative nelle concentrazioni degli inquinanti tradizionali in aria (biossido di azoto, monossido di carbonio, ozono e biossido di zolfo): si segnala solo una concentrazione di biossido di zolfo leggermente più elevata, ma comunque ben al di sotto dei limiti previsti dalla normativa, nel sito di via Dante Alighieri rispetto al sito di piazza Bolognese. Le concentrazioni di polveri sottili (PM₁₀) sono confrontabili con quelle rilevate presso la stazione fissa di Verona Cason in ambedue i siti. Nel grafico di Figura 18 è riportato l'andamento medio mensile delle concentrazioni di PM₁₀ misurate presso le stazioni fisse di Verona e le concentrazioni medie misurate durante le campagne condotte nei due siti di Trevenzuolo: quest'ultime hanno valori pari o inferiori a quelle rilevate nella stazione di background di Verona-Cason.

Le concentrazioni di benzene sono confrontabili con quelle rilevate presso le altre stazioni della provincia nello stesso periodo.

Figura 18: confronto fra le concentrazioni medie mensili di polveri sottili rilevate presso le stazioni fisse di Verona e le concentrazioni medie delle campagne condotte a Trevenzuolo in via Dante Alighieri e in Piazza Renato Bolognesi.



L'analisi delle polveri ha individuato metalli ed altri elementi in tracce che possono essere ricondotti ad un'attività industriale presente nella zona industriale di San Pierino.

Il biomonitoraggio tramite licheni epifiti non ha comunque rilevato alterazioni significative della naturalità che è risultata cadere nelle due stazioni individuate (Viale Giovanni XXIII e strada Sant'Eurosia) nel 7° livello della scala di naturalità/alterazione corrispondente ad uno stato di naturalità alta.

L'analisi dei tali lichenici risulta in buon accordo con i risultati del monitoraggio della qualità dell'aria ed in particolare con l'analisi degli elementi in tracce presenti nei filtri di polveri sottili. È stata, infatti, individuate la presenza di metalli ed altri elementi in tracce anche nei talli lichenici prelevati a Ovest e immediatamente a Sud della zona industriale, nei siti che secondo l'analisi modellistica sono maggiormente interessati dalle emissioni della zona industriale.

L'abbinamento al classico monitoraggio sul campo con laboratorio mobile di un'analisi modellistica e delle metodiche di bioindicazione si conferma un utile strumento per un'analisi integrata della qualità dell'aria, e rende possibile la stima dell'impatto di attività industriali. Il monitoraggio nel tempo tramite questi strumenti può garantire un controllo costante dello stato della qualità dell'aria.

Allegato 1

Tabelle raffiguranti le determinazioni sperimentali ottenute dalle campagne di misura con il laboratorio mobile per il monitoraggio della qualità dell'aria comparate con i corrispondenti valori limite e grafici raffiguranti le concentrazioni medie e massime giornaliere.

Tabella 18: concentrazione CO (mg/m³).

Trevenzuolo via D. Alighieri

CO			
periodo	media	max media mobile 8 ore	Valore limite media mobile 12 mg/m ³
21/11/2007	0.6	0.8	
22/11/2007		0.6	
23/11/2007		-	
24/11/2007		-	
25/11/2007		-	
26/11/2007	0.3	0.4	
27/11/2007	0.3	0.4	
28/11/2007	0.2	0.5	
29/11/2007	0.3	0.4	
30/11/2007	0.6	0.7	
01/12/2007	0.7	1.1	
02/12/2007		-	
03/12/2007		-	
04/12/2007	0.4	0.7	
05/12/2007	0.6	0.9	

Trevenzuolo P.zza R. Bolognese

CO			
periodo	media	max media mobile 8 ore	Valore limite media mobile mg/m ³
07/12/2007	1.1	1.5	
08/12/2007	0.6	0.9	
09/12/2007	0.5	0.8	
10/12/2007	0.6	0.6	
11/12/2007	0.5	0.6	
12/12/2007	0.8	1.0	
13/12/2007	0.7	0.9	
14/12/2007	0.4	0.7	
15/12/2007	0.1	0.4	
16/12/2007	0.2	0.3	
17/12/2007	0.3	0.5	
18/12/2007	0.7	0.9	
19/12/2007	0.8	0.9	
20/12/2007	0.9	1.1	

Tabella 19 : concentrazione NO₂ (µg/m³).

Trevenzuolo via D. Alighieri

NO ₂		
periodo	media	_Valore limite orario con margine di tolleranza 400 µg/m ³
21/11/2007	55	
22/11/2007		
23/11/2007		
24/11/2007	39	
25/11/2007	32	
26/11/2007	35	
27/11/2007	44	
28/11/2007	40	
29/11/2007	46	
30/11/2007	54	
01/12/2007	63	
02/12/2007		
03/12/2007		
04/12/2007	52	
05/12/2007	56	

Trevenzuolo P.zza R. Bolognese

NO ₂		
periodo	media	_Valore limite orario con margine di tolleranza 400 µg/m ³
07/12/2007	66	
08/12/2007	57	
09/12/2007	37	
10/12/2007	44	
11/12/2007	47	
12/12/2007	47	
13/12/2007	47	
14/12/2007	49	
15/12/2007	25	
16/12/2007	27	
17/12/2007	35	
18/12/2007	49	
19/12/2007	47	
20/12/2007	59	

Tabella 20 : concentrazione SO₂ (µg/m³).

Trevenzuolo via D. Alighieri

SO ₂		
	media	_ Valore limite orario con margine di tolleranza 500 µg/m ³
21/11/2007	2	
22/11/2007	-	
23/11/2007	-	
24/11/2007	2	
25/11/2007	2	
26/11/2007	2	
27/11/2007	2	
28/11/2007	2	
29/11/2007	2	
30/11/2007	2	
01/12/2007	2	
02/12/2007	-	
03/12/2007	-	
04/12/2007	2	
05/12/2007	2	

Trevenzuolo P.zza R. Bolognese

SO ₂		
periodo	media	_ Valore limite orario con margine di tolleranza 500 µg/m ³
07/12/2007	2	
08/12/2007	2	
09/12/2007	2	
10/12/2007	2	
11/12/2007	2	
12/12/2007	2	
13/12/2007	2	
14/12/2007	2	
15/12/2007	2	
16/12/2007	2	
17/12/2007	2	
18/12/2007	2	
19/12/2007	2	
20/12/2007	2	

Tabella 21: concentrazione O₃ media oraria (µg/m³).

Trevenzuolo via D. Alighieri

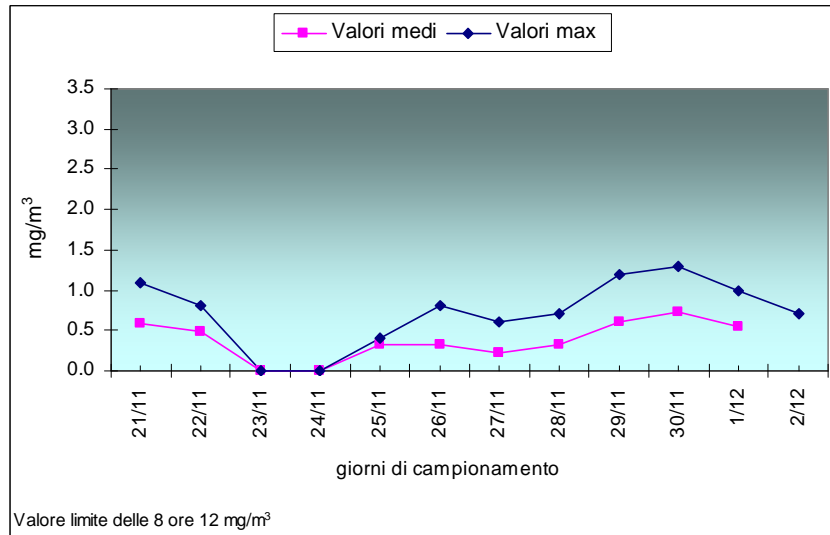
O ₃			
periodo	media	max media mobile 8 ore	_Valore limite orario con margine di tolleranza 240 µg/m ³
21/11/2007	1	2	
22/11/2007		4	
23/11/2007		-	
24/11/2007	6	17	
25/11/2007	9	15	
26/11/2007	9	16	
27/11/2007	11	29	
28/11/2007	16	29	
29/11/2007	11	28	
30/11/2007	4	8	
01/12/2007	2	4	
02/12/2007		7	
03/12/2007		-	
04/12/2007	6	12	
05/12/2007	2	4	

Trevenzuolo P.zza R. Bolognese

O ₃			
periodo	media	max media mobile 8 ore	_Valore limite orario con margine di tolleranza 240 µg/m ³
07/12/2007	1	3	
08/12/2007	2	6	
09/12/2007	3	8	
10/12/2007	1	2	
11/12/2007	-	1	
12/12/2007	1	1	
13/12/2007	1	1	
14/12/2007	6	15	
15/12/2007	17	27	
16/12/2007	12	22	
17/12/2007	15	25	
18/12/2007	4	9	
19/12/2007	3	5	
20/12/2007	2	3	

Figura 19: valori medi e massimi giornalieri di concentrazione di CO

Trevenzuolo via D. Alighieri



Trevenzuolo P.zza R. Bolognese

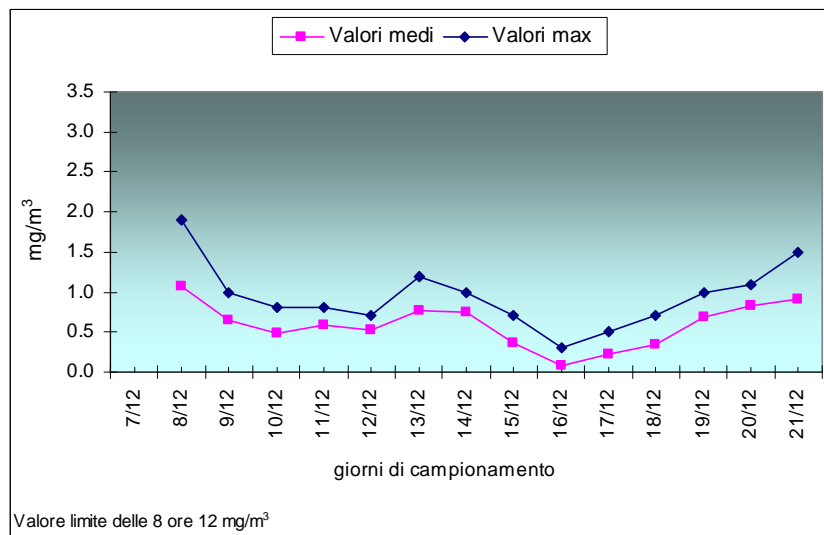
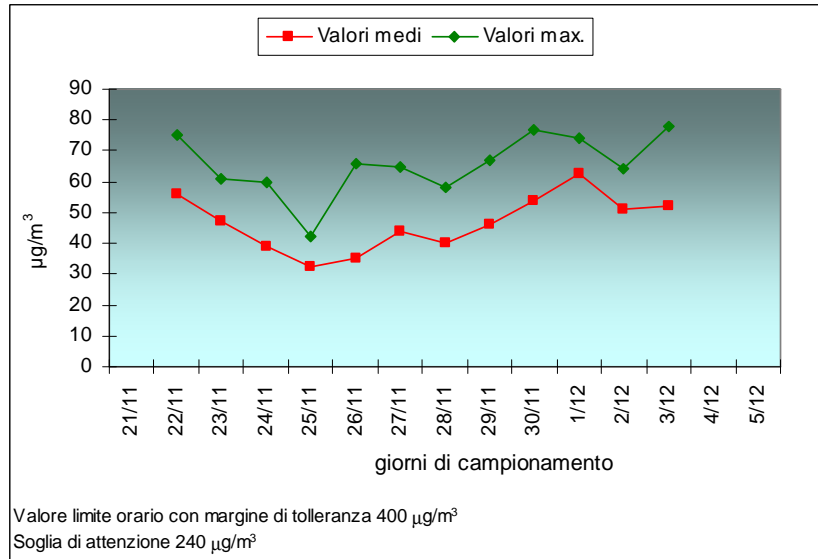


Figura 20: valori medi e massimi giornalieri di concentrazione di NO₂
Trevenzuolo via D. Alighieri



Trevenzuolo P.zza R. Bolognese

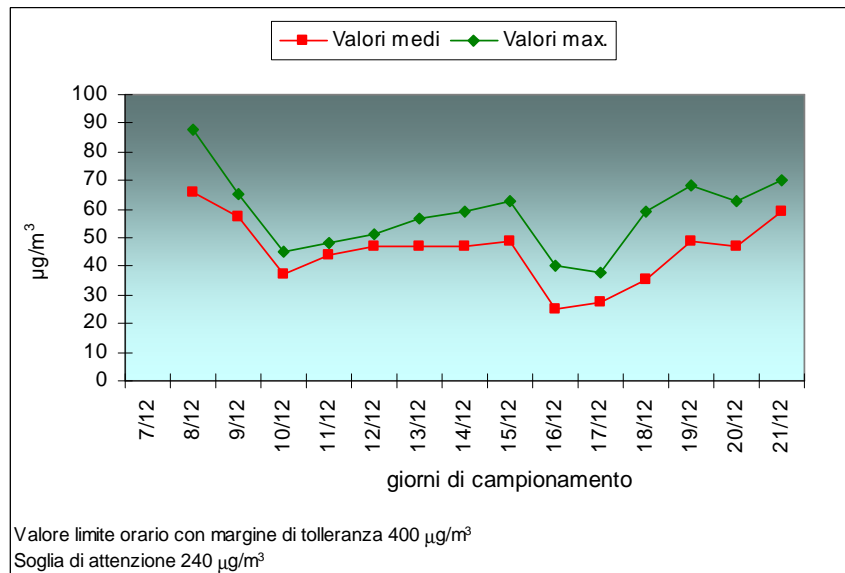
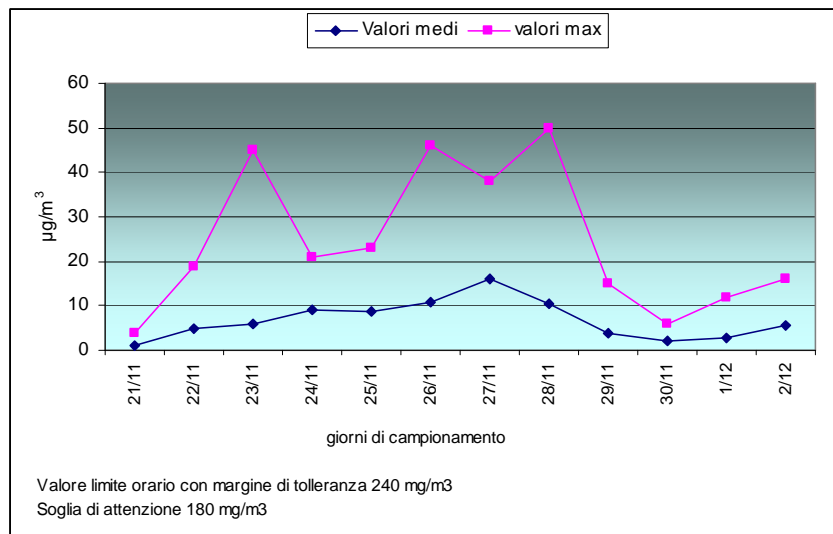


Figura 21: valori medi e massimi giornalieri di concentrazione di O₃

Trevenzuolo via D. Alighieri



Trevenzuolo P.zza R. Bolognese

