



Agenzia Regionale per la Prevenzione  
e Protezione Ambientale del Veneto



REGIONE DEL VENETO

# **LO STATO DELL'AMBIENTE NEL COMUNE DI FUMANE ANNO 2007**





Agenzia Regionale per la Prevenzione  
e Protezione Ambientale del Veneto



REGIONE DEL VENETO

## **ARPAV**

Dipartimento di Verona

*Ing. Giancarlo Cunego (Direttore)*

### **Progetto e realizzazione**

Servizio Controlli Ambientali – Unità Operativa Fisica dell'Ambiente

*Francesca Predicatori (Dirigente)*

Gruppo di lavoro

*Barbara Intini*

*Paolo Frontero*

*Andrea Salomoni*

*Silvia Brunelli*

*Enrico Garofoli*

*Stefano Marcazzan*

*Cristina Mosconi*

*Carla Bertaso*

*Giuseppina Mattiolo*

*Mirella Papa*

*Claudio Martinelli*

*Lavinia Culmone*

*Igor Tommasi*

Coordinatrice: Francesca Predicatori

## INDICE

<b>Introduzione</b>	<b>4</b>
<b>Inquadramento orografico</b>	<b>4</b>
<b>Distribuzione delle fonti di pressione</b>	<b>5</b>
<b>Analisi del processo produttivo</b>	<b>6</b>
<b>Tipologia di emissioni</b>	<b>7</b>
<b>Autorizzazione alle emissioni</b>	<b>8</b>
<b>Analisi dei materiali utilizzati nel processo produttivo</b>	<b>9</b>
<b>Analisi delle polveri emesse dal camino dei forni di cottura</b>	<b>9</b>
<b>Analisi dei dati di misura della stazione di rilevamento anni 2004-2007</b>	<b>11</b>
<b>Campagne di misura con il laboratorio mobile</b>	<b>18</b>
Analisi meteorologica	19
Concentrazioni rilevate	21
<b>Biomonitoraggio della qualità dell'aria tramite bioaccumulo dei muschi trapiantati</b>	<b>25</b>
<b>Stima modellistica della dispersione degli inquinanti in aria</b>	<b>26</b>
Sorgenti principali	26
Confronto tra output del modello e misure sperimentali	26
Individuazione ed analisi della dispersione media	28
Individuazione di situazioni critiche	31
<b>Biomonitoraggio dei licheni</b>	<b>36</b>
<b>Analisi della contaminazione fogliare da metalli pesanti</b>	<b>40</b>
<b>Considerazioni finali</b>	<b>41</b>
<b>Allegato I - Normativa</b>	<b>42</b>
<b>Allegato II - Analisi modellistica della dispersione degli inquinanti in situazioni meteorologiche medie e critiche</b>	<b>43</b>
<b>Allegato III - Schede Indice Biodiversità Lichenica (IBL)</b>	<b>50</b>

## Introduzione

Il presente lavoro riassume i risultati dell'indagine ambientale condotta nel comune di Fumane nel periodo maggio 2007 – maggio 2008. Scopo dell'indagine era la valutazione dello stato dell'ambiente complessivo nel comune di Fumane, con particolare riguardo all'impatto generato dalle principali fonti di pressione industriali presenti sul territorio.

Il territorio di Fumane ha vocazione prevalentemente agricola: le colture principali sono, in particolare, vite, olivo e ciliegio. La principale fonte di pressione industriale presente sul territorio è rappresentata dall'industria Cementi Rossi. Per questo motivo la nostra indagine è iniziata dallo studio del processo produttivo del cemento che ha comportato l'analisi delle materie prime e secondarie utilizzate e l'analisi delle emissioni a camino. Contemporaneamente sono state analizzate le serie storiche dei dati di concentrazioni di polveri totali e SO<sub>2</sub> rilevate dalla stazione presente nel centro dell'abitato di Fumane dal 2004 al 2007. Tale analisi ha permesso di individuare la correlazione fra regime anemologico della valle di Fumane e i dati di inquinamento atmosferico. Sono state, inoltre, individuate e caratterizzate le situazioni meteorologiche che danno origine a un trasporto significativo di inquinanti sul centro abitato.

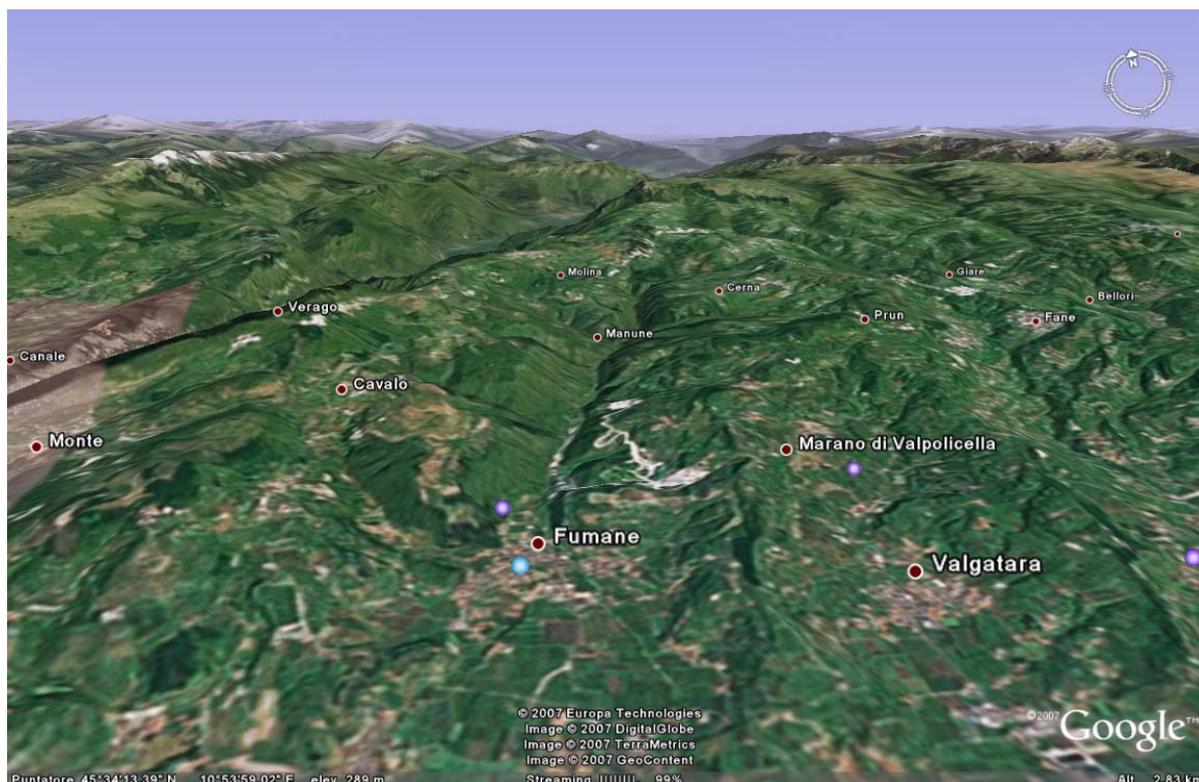
L'impatto sull'atmosfera del cementificio e delle altre fonti di pressione presenti è stato indagato tramite monitoraggi condotti con il laboratorio mobile di ARPAV. Sono state misurate le concentrazioni di PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub> nella valle di Fumane e in un sito remoto: le polveri campionate sono state sottoposte ad analisi per la misura del contenuto di metalli ed altri elementi in tracce. La presenza di metalli in atmosfera è stata indagata anche tramite tecniche di biomonitoraggio che hanno visto l'utilizzo di muschi trapiantati (moss bags). La situazione globale dell'aria è stata valutata tramite la misura dell'indice di biodiversità lichenica. L'utilizzo di un modello di dispersione degli inquinanti emessi da industrie e traffico ha poi permesso di correlare i dati emersi dal biomonitoraggio con la dispersione degli effluenti gassosi in atmosfera.

## Inquadramento orografico

La valle di Fumane rappresenta la valle più occidentale delle valli lessiniche, orientata lungo l'asse NordNordEst-SudSudOvest è la valle più profonda delle tre che compongono la Valpolicella..

Il centro abitato di Fumane si trova anche all'uscita di un'altra valletta che la collega alle frazioni di Mazzurega e Cavalò e che ha orientazione NE-SW (Figura 1). Entrambe le valli rivestono un ruolo importante sia sulla direzione prevalente dei venti, sia sulla conseguente distribuzione degli inquinanti.

**Figura 1: visione tridimensionale della valle dei Progni, della dorsale del monte Crocetta, e Pastello.**

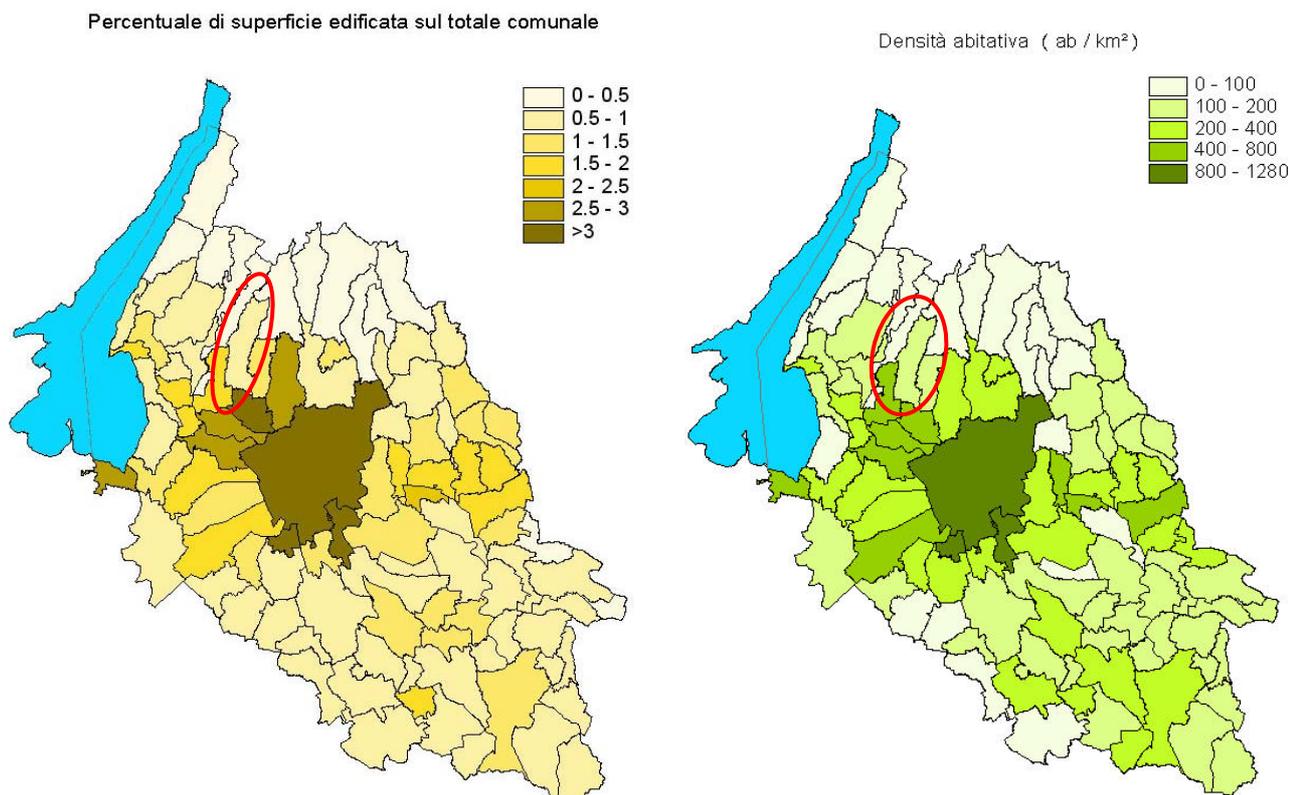


## Distribuzione delle fonti di pressione

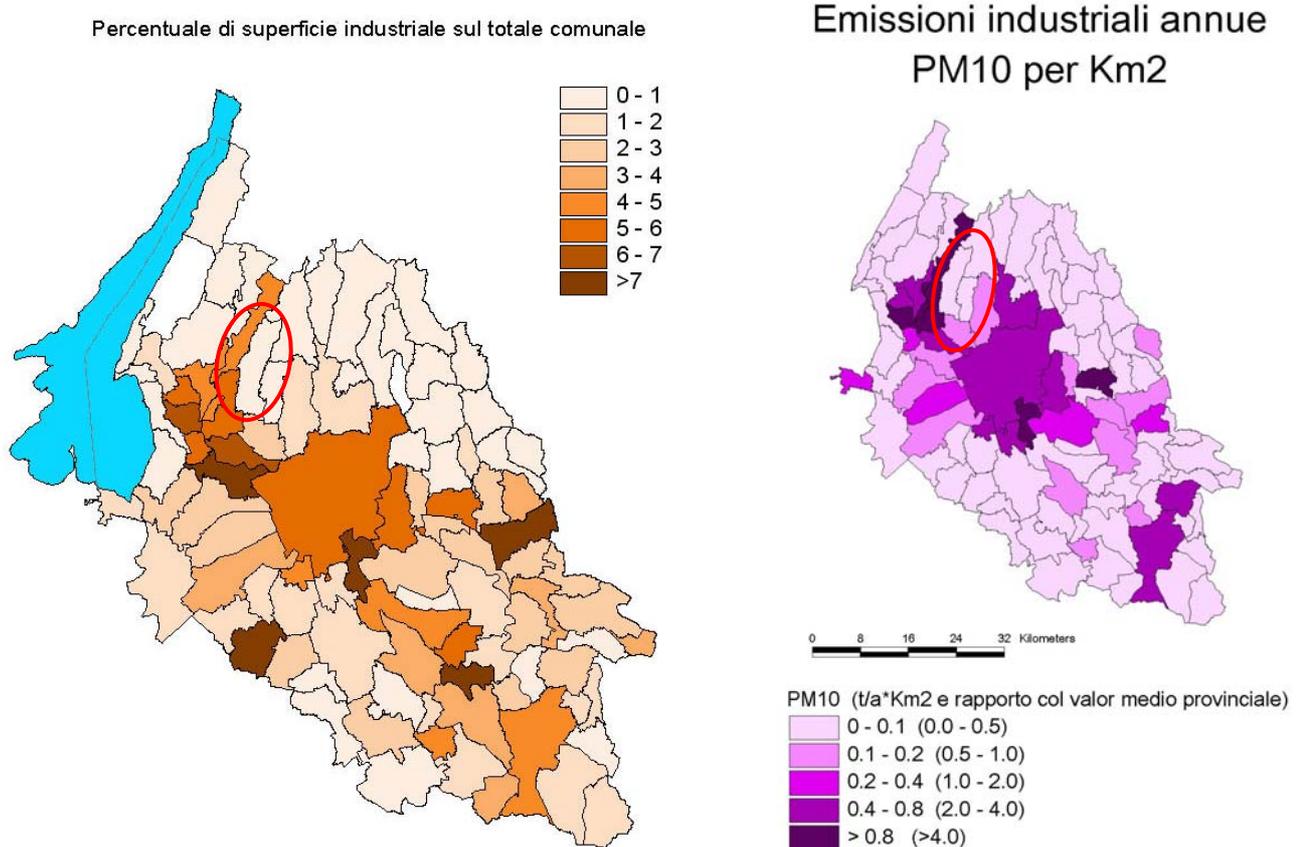
Nelle figure seguenti vengono classificati i comuni della provincia di Verona in base alla percentuale del territorio destinato ad aree industriali ed alla percentuale di territorio edificato. Come si può notare il comune di Fumane ha una percentuale di territorio edificato compresa fra lo 0.5 e l'1% del territorio complessivo del comune e una densità compresa fra 100 e 200 abitanti per Km<sup>2</sup>. Il territorio destinato ad aree industriali è inferiore all'1%: questo comporta che il contributo emissivo di PM<sub>10</sub> legato alle attività industriali sia piccolo rispetto al totale delle emissioni di PM<sub>10</sub> da attività industriali della provincia. I dati relativi alle emissioni provengono dalla disaggregazione a livello comunale dei dati dell'inventario nazionale curato da APAT.

Le più rilevanti fonti di pressione di tipo industriale per la componente atmosfera sono rappresentate dalla ditta Cementi Rossi e dalla Exide Italia. Nella seguente tabella (Tabella 1) sono confrontate le emissioni annue di polveri, ossidi di azoto e ossidi di zolfo delle due principali industrie e del traffico veicolare. Le fonti dei dati non sono omogenee: in particolare, per la parte industriale sono stati presi in considerazione i dati relativi alle misure, dove disponibili, e i dati autorizzativi. Le emissioni dei due impianti industriali sono in parte sovrastimate in quanto i dati autorizzativi rappresentano un limite massimo alle emissioni. Le emissioni da traffico veicolare si riferiscono solo ad alcune strade del comune di Fumane: la strada provinciale 33, la strada dei Progni e via Ponte Vaio, per le quali erano disponibili dati dettagliati di composizione del flusso veicolare. I dati relativi al settore residenziale provengono dalla disaggregazione a livello comunale effettuata da ORAR – ARPAV dell'inventario nazionale delle emissioni curato da APAT.

**Figura 2: comuni della provincia di Verona classificati in base alla percentuale di territorio edificato (a sx) e in base alla densità abitativa ( a dx). Il comune di Fumane è identificato dal circoletto rosso.**



**Figura 3: comuni della provincia di Verona classificati in base alla percentuale di territorio destinato ad aree industriali (a sx) e in base alla densità emissiva di PM<sub>10</sub> da attività industriali ( a dx). Il comune di Fumane è identificato dal circoletto rosso.**



**Tabella 1: emissioni dei principali inquinanti dovute alle principali attività industriali, al traffico veicolare e alla parte residenziale.**

	NOx (t/a)	PM <sub>10</sub> (t/a)
<b>CEMENTIFICIO</b>	1500	111*
<b>EXIDE</b>		0.4*
<b>TRAFFICO</b>	11	0.5
<b>RESIDENZIALE</b>	5.6	2.1

- I dati riportati si riferiscono alle polveri totali

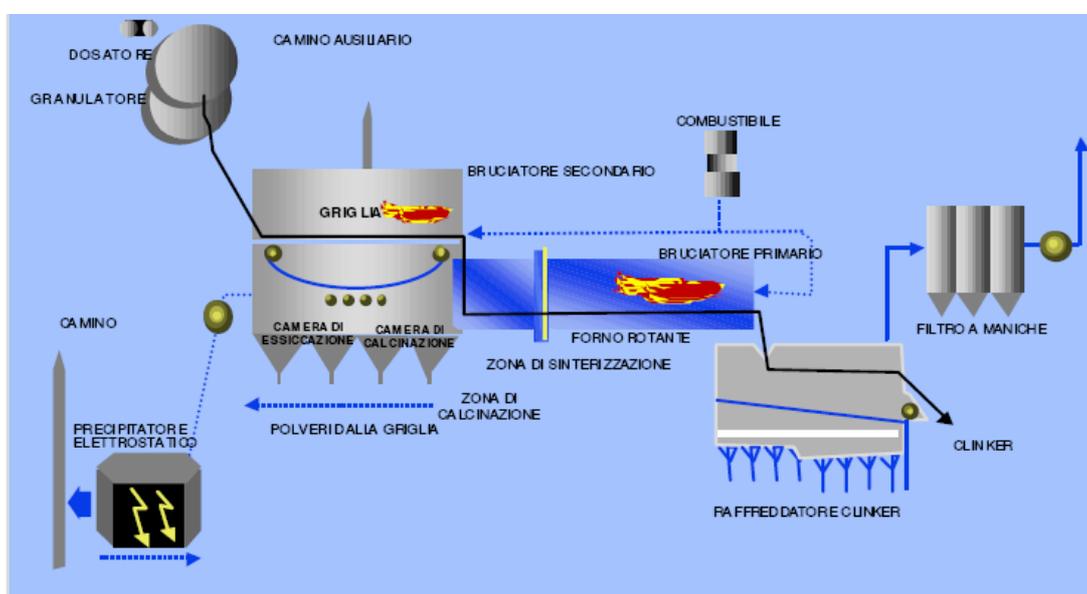
### Analisi del processo produttivo

In Figura 4 è rappresentata schematicamente una linea di produzione del clinker. Sinteticamente nel processo di produzione si possono evidenziare le seguenti fasi:

- 1) **frantumazione:** la materia prima, proveniente direttamente dalla cava, è frantumata e ridotta ad una pezzatura inferiore a 50 mm. Il materiale ad elevato contenuto di umidità viene essiccato con i prodotti della combustione da un bruciatore a olio combustibile. Le polveri emesse durante il processo di frantumazione vengono abbattute tramite un filtro a maniche.
- 2) **macinazione:** le materie prime vengono ridotte in polvere da due mulini tubolari, stoccate in silos ed omogeneizzate. Ogni molino ha un filtro elettrostatico per l'abbattimento delle polveri. Le materie prime utilizzate in questa fase sono marne, argilla ferro alluminosa, scaglie di laminazione e ceneri di pirite.
- 3) **Cottura:** la farina omogeneizzata, viene granulata in un piatto rotante con l'aggiunta di acqua, caricata in un forno rotante alimentato a pet coke suddiviso in tre zone:

- a) griglia di precottura (griglia Lepol), suddivisa in due zone, essiccazione con temperature di circa 300°C e calcinazione con temperature di 1000 °C. Il calore è ottenuto utilizzando i gas in uscita dal forno ottenendo così sia recupero di calore che una prefiltrazione dei fumi in uscita.
  - b) cottura: il materiale è portato a circa 1450 °C, continuamente mescolato con il moto rotatorio del forno cilindrico per avere un miglior contatto tra l'ossido di calcio (ottenuto dalla calcinazione del calcare) ed i composti dell'argilla, i silicati, gli alluminati e gli ossidi di ferro.
  - c) griglia di recupero (griglia Fuller) il materiale cotto, il clinker, è raffreddato con insufflaggio d'aria e scaricato a circa 100°C. L'aria riscaldata è inviata al recupero di calore.
- Il sistema di abbattimento dei fumi di queste linee produttive è costituito da filtri elettrostatici e filtri a maniche.
- 4) macinazione del clinker: il materiale in uscita dal forno, viene miscelato con additivi (gesso) polverizzato, stoccato e confezionato.

**Figura 4: rappresentazione schematica del processo di produzione di clinker (da "Linee guida per l'individuazione e l'utilizzazione delle migliori tecniche disponibili – Produzione del cemento").**



### Tipologia di emissioni

**Ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>):** rappresentano la più rilevante fonte di inquinamento atmosferico prodotta dai cementifici. L'emissione di NO<sub>x</sub> varia in funzione del processo applicato. In media i forni da cemento europei producono circa 1.300 mg NO<sub>x</sub>/m<sup>3</sup> (come NO<sub>2</sub>, gas secco, 273°K, 101,3 kPa, 10% di O<sub>2</sub>). Le fonti principali di produzione degli NO<sub>x</sub> sono:

- NO<sub>x</sub> termico: parte dell'azoto presente nell'aria di combustione reagisce con l'ossigeno formando diversi ossidi di azoto;
- NO<sub>x</sub> da combustibile (*Fuel NO<sub>x</sub>*): i composti contenenti azoto, chimicamente legati nel combustibile, reagiscono con l'ossigeno presente nell'aria formando diversi ossidi di azoto.

**Biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>):** le emissioni di SO<sub>2</sub> nel processo produttivo del cemento sono determinate principalmente dal livello di "zolfo volatile" contenuto nelle materie prime. I forni che usano materie prime che non contengono tale sostanza, o che ne contengono in minima parte, hanno piccoli problemi di emissione di SO<sub>2</sub>. Il composto di zolfo più presente (99%) nelle emissioni è SO<sub>2</sub>, benché si produca anche una certa quantità di SO<sub>3</sub> e, in condizioni riducenti, si possa sviluppare anche H<sub>2</sub>S.

Le emissioni di biossido di zolfo vengono ridotte quando i gas vengono utilizzati come gas di essiccazione per le farine provenienti dai molini a crudo, a causa dell'atmosfera fortemente alcalina presente nella zona di sinterizzazione e di calcinazione e nello stadio inferiore del preriscaldatore. Questo zolfo viene captato nel clinker.

**Metalli e loro composti:** le materie prime ed i combustibili contengono sempre metalli, in concentrazioni fortemente diverse da un luogo all'altro. La formazione di composti metallici fortemente volatili è connessa alla reazione con la farina in calcinazione o con il materiale presente nelle zone fredde della camera di calcinazione, nel preriscaldatore

o negli impianti di essiccazione a valle. Le polveri emesse contengono piccole quantità di composti metallici quale arsenico, cadmio, mercurio, piombo, tallio e zinco.

La fonte principale di polveri contenenti metalli è il forno, compresi preriscaldatore, precalcinatore, forno rotante e raffreddatore del clinker.

I composti metallici possono essere riportati in tre classi, in funzione della volatilità e dei componenti salini:

- *metalli che sono o hanno composti refrattari o non volatili*: Ba, Be, Cr, As, Ni, V, Al, Ti, Ca, Fe, Mn, Cu e Ag; rimangono nel processo e lasciano il forno sotto forma di costituente del clinker

- *metalli che sono o hanno composti semivolatili*: Sb, Cd, Pb, Se, Zn, K e Na. Vengono in parte assorbiti nella fase gassosa alla temperatura di sinterizzazione per condensare sul crudo nelle parti più fredde del forno: questo crea un effetto ciclico nel sistema del forno (cicli interni) che continua a crescere fino al raggiungimento di una situazione di equilibrio tra nuovo apporto e allontanamento attraverso il clinker

- *metalli che sono o hanno composti volatili*: Hg e Tl. I composti metallici volatili condensano sulle particelle delle materie prime a temperature più basse e potenzialmente formano ricicli interni. Tallio e mercurio e rispettivi composti volatilizzano con particolare facilità ed altrettanto fanno, anche se in misura minore, cadmio, piombo, selenio e loro composti.

**Diossine e furani**: la formazione di **policlorodibenzodiossine** e di **policlorodibenzofurani (PCDD e PCDF)** può potenzialmente avvenire in seguito all'eventuale immissione di sostanze organiche contenenti elevate percentuali di cloro nel processo termico (combustione). Se i precursori del cloro e degli idrocarburi contenuti nelle materie prime sono disponibili in quantità sufficiente, si possono formare PCDD e PCDF all'interno o a valle del preriscaldatore.

Le diossine e i furani si riformano *ex novo* per sintesi entro l'intervallo di temperature di raffreddamento da 450 a 200°C: il veloce raffreddamento dei gas in uscita dal forno riduce la possibilità di formazione di questi composti.

Questa situazione si verifica sempre nei sistemi dotati di preriscaldatore, dove i gas del forno preriscaldano le materie prime immesse.

A causa del lungo tempo di permanenza nel forno e delle elevate temperature (>1200°C), le emissioni di PCDD e PCDF sono sicuramente modeste in condizioni di funzionamento costante del forno.

Infatti, le risultanze analitiche indicano che i forni da cemento rispettano ampiamente la concentrazione limite di 0,1 ng Teq/Nm<sup>3</sup>, che è il valore limite imposto dalla legislazione europea per gli inceneritori di rifiuti (Direttiva 2000/76/CE). Le misurazioni eseguite su numerosi forni (con preriscaldatore in sospensione e forni Lepol) nel corso degli ultimi dieci anni rilevano una concentrazione media pari a 0,02 ng Teq/Nm

### **Autorizzazione alle emissioni**

L'impianto di Fumane ha 50 punti di emissione autorizzati, dotati di impianti di abbattimento, corrispondenti alle seguenti linee produttive:

- 1) frantumazione materie prime
- 2) macinazione crudo
- 3) silos omogeneizzazione
- 4) forno 1
- 5) forno 2
- 6) tramoggia scarico m.p cotto
- 7) molino cotto
- 8) molino cotto
- 9) trasporto cemento
- 10) elevatori carico silos
- 11) caldaia riscaldamento dell'olio diatermico
- 12) trasporto sacchi
- 13) insaccatrice

Nel seguito si farà riferimento ai camini n. 5 e 6 dei forni di cottura, dotati di sistema di monitoraggio in continuo delle emissioni (SME) e oggetto di specifica analisi da parte di ARPAV. In Tabella 2 sono riportati i valori di emissione autorizzati e quelli misurati dal sistema di monitoraggio in continuo alle emissioni (SME) dei camini dei forni 1 e 2 nell'anno 2007.

**Tabella 2: emissioni autorizzate e emissioni medie orarie misurate dallo SME ai camini dei forni 1 e 2 – anno di riferimento 2007**

	NO <sub>x</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )		SO <sub>2</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )		Polveri (mg/Nm <sup>3</sup> )	
	autorizzate	misurate	autorizzate	misurate	autorizzate	misurate
Forno 1	1650	640	400	8	25	9
Forno 2	1650	760	400	23	25	6

### **Analisi dei materiali utilizzati nel processo produttivo**

Nel processo di produzione del cemento vengono utilizzate, oltre alle materie prime quali marna e calcare, altri materiali derivati da altri processi produttivi quali gesso, ceneri e scaglie di laminazione. Sono stati, quindi, prelevati campioni di ogni materiale utilizzato nel processo di produzione del cemento e sono stati sottoposti ad analisi chimica per la determinazione del contenuto di elementi pesanti. I risultati sono riportati in Tabella 3.

**Tabella 3: concentrazione elementare (in mg/Kg) in campioni di materie prime utilizzate nel ciclo di produzione del cemento.**

Matrice	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	Hg	As
Calcare 0	< 0.1	6.0	< 0.1	10.0	3.5	45.0	<0.1	1.5
Marna ad alto titolo	< 0.1	12.0	6.0	15.0	4.0	40.0	< 0.1	1.1
Marna a basso titolo	< 0.1	34.5	25.0	35.0	6.5	85.0	< 0.1	1.3
Marna a basso titolo Piacenza	< 0.1	44.0	45.0	30.0	6.0	90.0	< 0.1	1.2
Ceneri pesanti	2.0	1744	150	120	120	2520	0.6	12.0
scaglie di laminazione	0.7	1410	90.0	1125	17.5	77.5	1.3	42.0
Fluor gesso polvere	< 0.1	18.5	10.0	20.0	55.0	42.5	< 0.1	1.1
Fluor gesso granulare	< 0.1	5.0	6.5	11.5	5.0	30.0	< 0.1	0.5
Gesso minerale	< 0.1	12.0	12.5	12.5	7.5	65.0	< 0.1	7.0

Marna e calcare contengono naturalmente piccole quantità di elementi quali rame, zinco, nichel, piombo, arsenico. Concentrazioni maggiori di questi elementi sono ovviamente presenti nelle ceneri e nelle scaglie di laminazione.

### **Analisi delle polveri emesse dal camino dei forni di cottura**

Nei giorni 30 e 31 maggio 2007 sono stati effettuati controlli delle emissioni al camino del forno 2 dell'impianto. I risultati sono riassunti nella tabella seguente.

**Tabella 4: valori di concentrazioni e flusso di massa misurate al camino del forno 2**

	mg/Nm <sup>3</sup>	g/h	t/a	Limite
Acetonitrile	1.00	95.5	0.8	5mg/Nm <sup>3**</sup>
Benzene	0.61	58.5	0.5	5mg/Nm <sup>3**</sup>
Acetone	0.24	23.0	0.2	
Altro COV	0.60	58.5	0.5	
Polveri	4.2	399.4	3.5	25mg/Nm <sup>3**</sup>
SO <sub>2</sub>	6,5	118	5	400 mg/Nm <sup>3**</sup>
NO <sub>x</sub>	1100	104604	920	1650 mg/Nm <sup>3**</sup>

(\*) Tab. A1 Cl. III All.1 alla Parte V del D.Lgs 152/06

(\*\*) Limite autorizzazione del DDSE n. 6196/05 del 10.11.05

Le polveri prelevate al camino n. 2 sono state analizzate per determinarne il contenuto di metalli e PCDD/PCDF. I risultati sono riportati nelle tabelle seguenti:

**Tabella 5: concentrazioni e flusso di massa di polveri e metalli prelevate al camino del forno 2 in data 31 maggio 2007.**

	Concentrazione ( $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ )	Flusso di massa (mg/h)
<b>Polveri</b>	<b>4.2 mg/m<sup>3</sup></b>	<b>399.4 g/h</b>
<b>Cadmio</b>	0.02	2.88
<b>Tallio</b>	0.08	7.67
<b>Mercurio</b>	3.13	366.15
<b>Antimonio</b>	< 0.56	< 53.7
<b>Piombo</b>	18.27	1790
<b>Rame</b>	0.95	202.24
<b>Vanadio</b>	13.53	1441.6
<b>Cromo</b>	0.21	24.92
<b>Nichel</b>	2.39	247.29
<b>Arsenico</b>	< 0.11	< 10.5
<b>Selenio</b>	< 1.12	< 107

**Tabella 6: concentrazioni di IPA, diossine e PCB sui campioni prelevati al camino del forno 2 in data 31 maggio 2007 – confronto con alcuni limiti normativi.**

	Concentrazione)	Limite normativo
<b>IPA</b>	3 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	100 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ (inceneritori 10 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ) *
<b>PCB tot.</b>	0.6 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	500 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ **
<b>PCDD/DF</b>	0.7 pg/ $\text{Nm}^3$	10 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ (inceneritori 100 pg/ $\text{Nm}^3$ ) (***)

(\*) Tab. A1 Cl. I All. 1 alla Parte V D.Lgs 152/06 (Limite valido solo per alcuni dei composti analizzati)

(\*\*) Tab. A2 Cl. II All. 1 alla Parte V D.Lgs 152/06

(\*\*\*) Tab. A2 Cl. I All. 1 alla Parte V D.Lgs 152/06

Sono state rivelate tracce di metalli quali vanadio, piombo, nichel. La concentrazione di diossine (PCDD/PCDF) è estremamente bassa, così come quella di PCB e IPA. In Tabella 6 sono riportati i valori limite alle emissioni per inceneritori: si noti come in particolare i valori di concentrazione di diossine sono risultati inferiori di 4 ordini di grandezza rispetto al limite previsto per gli inceneritori.

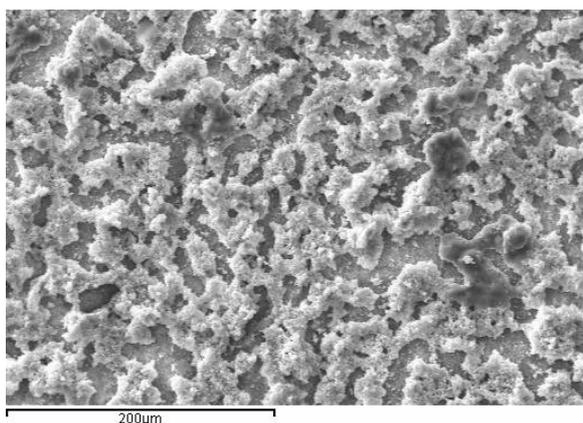
È stata, inoltre, effettuata un'analisi qualitativa della polvere depositata su filtro al microscopio elettronico a scansione con microanalisi a raggi X a dispersione di energia.

Il campione si presenta come uno spesso strato di polvere depositata sul filtro, per la maggior parte si tratta di granuli di S-K e Ca. Sono presenti numerosi agglomerati di Cl-K e Ca con dimensioni di circa 50-150  $\mu\text{m}$ . Si nota la presenza di particelle di Fe con dimensioni di circa 10  $\mu\text{m}$ . Sono state rilevate alcune rare particelle di Ba e particelle di Pb + V.

Si allegano alcune foto della polvere depositata e delle immagini ricavate con il rivelatore BSD. In questo tipo di immagini, le parti più chiare indicano la presenza di elementi di massa maggiore.

Di seguito alle immagini sono riportati anche alcuni spettri con le composizioni più significative dei granuli presenti.

**Foto 1: polvere depositata**



**Foto 2: la stessa con rivelatore BSD**

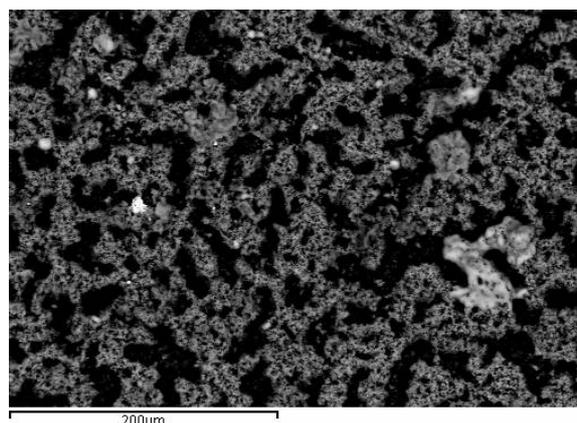
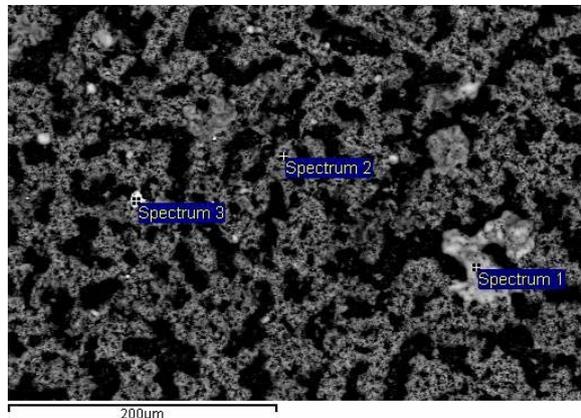
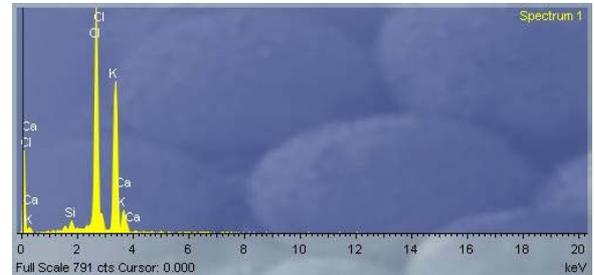


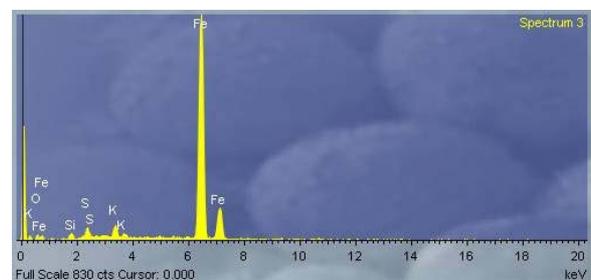
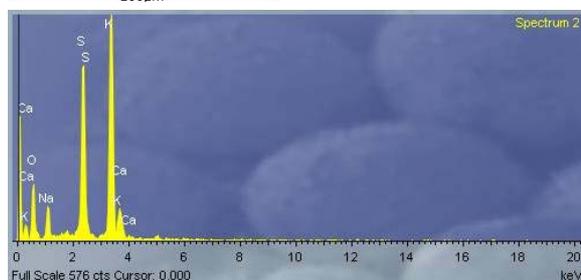
Foto 3 : la stessa con indicate le posizioni per le analisi spettrometriche



Agglomerati di Cl-K



Composizione della maggior parte delle polveri: S-K  
particella di Fe



### Analisi dei dati di misura della stazione di rilevamento anni 2004-2007

Presso le scuole medie di Fumane è attiva una stazione di rilevamento della qualità dell'aria gestita dal 2003 dal Dipartimento ARPAV di Verona. Gli inquinanti monitorati sono due: biossido di zolfo ( $\text{SO}_2$ ) e polveri totali sospese (PTS). A partire dal 1 novembre 2007 il rivelatore di polveri totali è stato sostituito da un campionatore biorario di  $\text{PM}_{10}$ . Vengono, inoltre, rilevate la velocità e la direzione del vento.

È stata condotta una analisi delle serie storiche di dati meteo climatici e dei dati di concentrazioni di inquinanti a partire da gennaio 2004 fino a dicembre 2007.

Ricordiamo che le PTS, ovverosia le polveri totali sospese, sono costituite da quelle particelle solide o liquide il cui diametro può variare da un valore minimo di  $0,005 \mu\text{m}$  fino ad un massimo di  $100 \mu\text{m}$ , mentre le  $\text{PM}_{10}$  sono le particelle il cui diametro risulta inferiore ai  $10 \mu\text{m}$ . Pertanto essendo queste ultime una frazione delle PTS si possono utilizzare tali concentrazioni per determinare i corrispettivi valori di  $\text{PM}_{10}$  pur non avendo a disposizione gli opportuni analizzatori. Si è, quindi, determinato il valore medio giornaliero del  $\text{PM}_{10}$  come 80% della concentrazione media giornaliera delle PTS misurate nella stazione di Fumane. Inoltre sono stati calcolati i valori medi del  $\text{PM}_{10}$  dedotto nonché i superamenti giornalieri della concentrazione media giornaliera di  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

In Tabella 7 sono riportate le stime relative ai valori medi di  $\text{PM}_{10}$  e ai superamenti del valore limite giornaliero di  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  previsto dal DM 60/02: mentre le concentrazioni medie annuali stimate sono risultate inferiori al limite di  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , il numero di superamenti del valore limite giornaliero è superiore al numero previsto dalla normativa, pari a 35 per anno. Nella stessa tabella sono riportati anche i valori di concentrazione e il numero di superamenti del limite giornaliero misurati presso la stazione di Verona-Cason, stazione di fondo urbano, che risultano sempre maggiori di quelli misurati a Fumane. La posizione della centralina, oltre a risentire della presenza delle fonti di pressione attive nella valle, è fortemente influenzata dal regime anemologico, come verrà chiarito dall'analisi seguente.

**Tabella 7: numero di superamenti del limite giornaliero di  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e concentrazioni medie annuali di  $\text{PM}_{10}$  stimate sulla base delle misure di polveri totali, negli anni 2004-2006.**

ANNO	Fumane		Cason -VR	
	Concentrazione $\text{PM}_{10}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Numero di superamenti	Concentrazione $\text{PM}_{10}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Numero di superamenti
2004	33	80	36	61
2005	32	61	46	131
2006	32	64	48	133
2007	32	60	47	128
<b>MEDIA</b>	<b>32</b>	<b>68</b>	<b>44</b>	<b>113</b>

### Regime anemologico

L'effetto di canalizzazione operato dalle valli che si aprono a Nord e a Nord - Ovest dell'abitato di Fumane fa sì che i venti provengano da due settori principali: il primo compreso tra NE e N ed il secondo tra SSE e S. Nelle figure seguenti sono riportate a titolo di esempio le rose dei venti e le distribuzioni in frequenza dell'intensità del vento degli anni 2006 e 2007. Gli anni precedenti, 2004 e 2005, mostrano un'analogia distribuzione sia della direzione che della velocità del vento. In particolare si noti come sia scarsa la presenza di calme di vento (velocità inferiori a 0.5 m/s) e sia significativa la presenza di venti con intensità superiori a 1.5 m/s provenienti con leggera prevalenza dai settori settentrionali. Tale regime anemologico differenzia nettamente il territorio della valle di Fumane da quello della pianura caratterizzato da numerose calme di vento (fino al 40%) e da venti provenienti in prevalenza dai settori orientali e occidentali.

Il periodo invernale (in Figura 7 la rosa dei venti e la distribuzione in frequenza riferite all'inverno 2006) è caratterizzato da un aumento delle calme di vento e da venti di intensità più debole. L'estate (in Figura 8 la rosa dei venti e la distribuzione in frequenza riferite all'estate 2005) vede una netta diminuzione delle calme di vento e venti di maggiore intensità in particolare provenienti dai settori settentrionali.

**Figura 5: rosa dei venti (a sx) riferita all'anno 2006 e distribuzione in frequenza (a dx) dell'intensità del vento misurato presso la stazione di rilevamento di Fumane – scuole medie.**

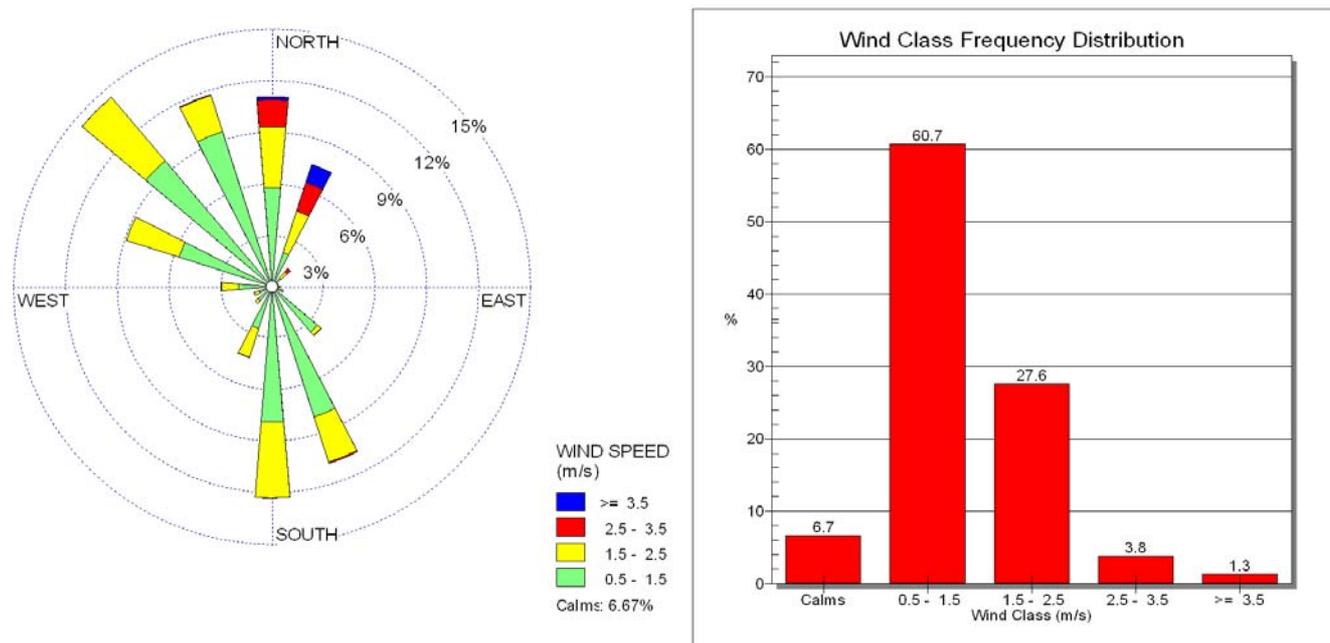


Figura 6: rosa dei venti (a sx) riferita all'anno 2007 e distribuzione in frequenza (a dx) dell'intensità del vento misurato presso la stazione di rilevamento di Fumane – scuole medie.

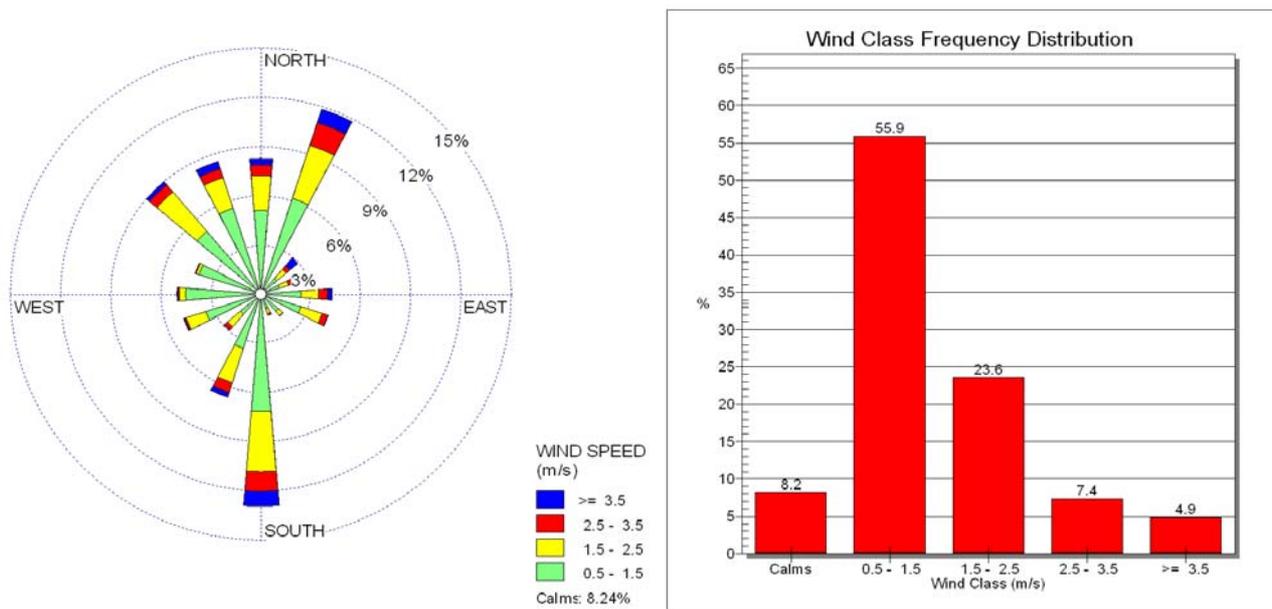
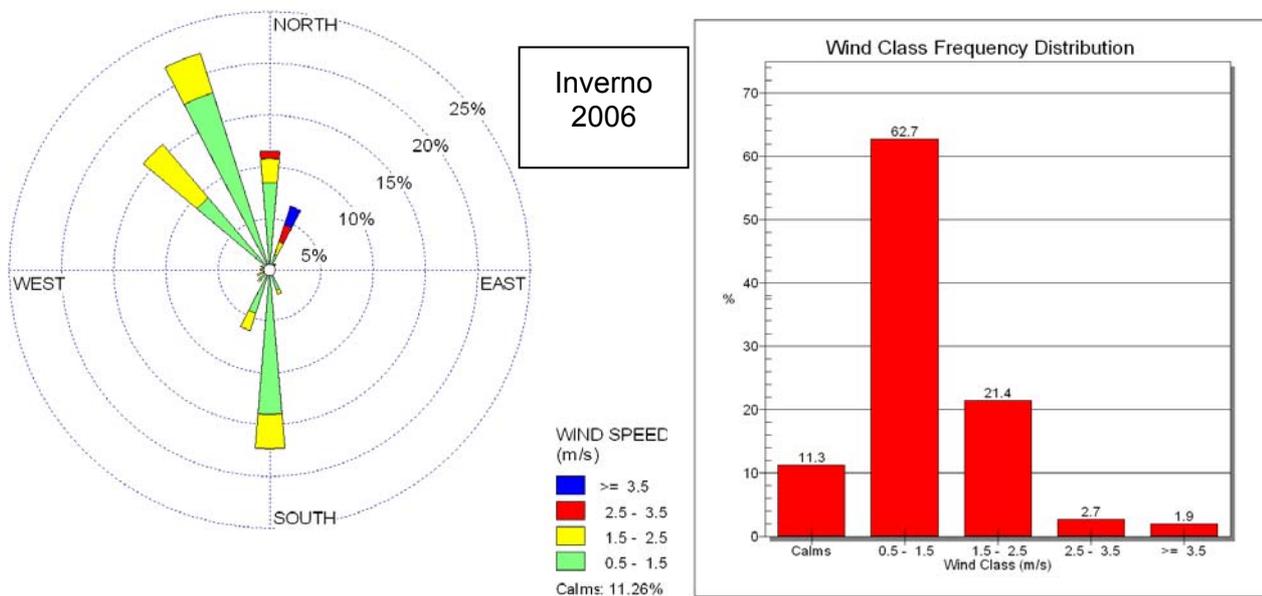
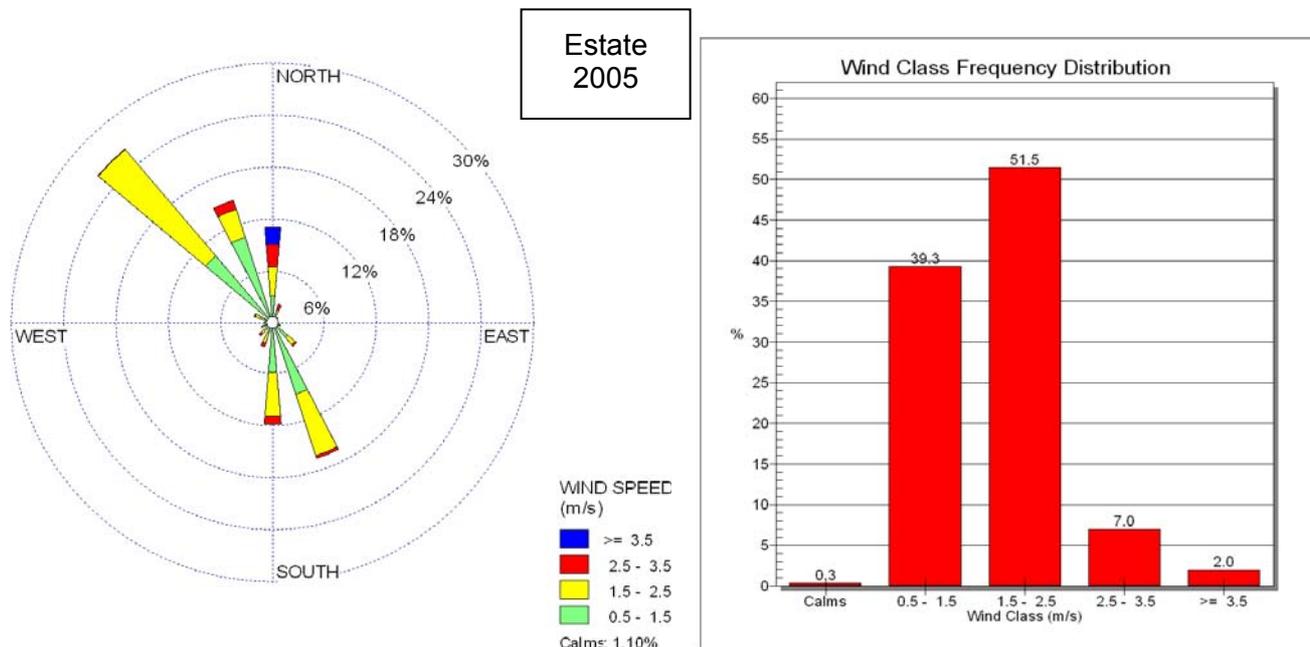


Figura 7: rosa dei venti (a sx) riferita ai mesi invernali 2006 (gennaio – marzo) e distribuzione in frequenza (a dx) dell'intensità del vento misurato presso la stazione di rilevamento di Fumane – scuole medie



**Figura 8: rosa dei venti (a sx) riferita ai mesi estivi 2005 (giugno-agosto) e distribuzione in frequenza (a dx) dell'intensità del vento misurato presso la stazione di rilevamento di Fumane – scuole medie**



La caratterizzazione meteorologica permette di interpretare l'andamento dei dati di concentrazione degli inquinanti, in particolare delle polveri sottili. La distribuzione nei bassi strati dell'atmosfera delle polveri sottili è fortemente legata alle dinamiche meteorologiche e alla composizione chimico fisica dell'aerosol. I principali meccanismi di rimozione dall'atmosfera sono la sedimentazione, che però è lenta e riguarda solamente le particelle di dimensioni maggiori di 10  $\mu\text{m}$ , e il dilavamento da parte delle piogge (*washout*), efficace per particelle maggiori di 2  $\mu\text{m}$ ; particelle di dimensioni ancora minori vengono rimosse per coagulazione in particelle di dimensioni maggiori, che possono poi subire uno dei due processi precedenti. I parametri meteorologici giocano un ruolo essenziale nell'andamento delle concentrazioni di particolato: la presenza di precipitazioni e il rimescolamento degli strati d'aria più vicini al suolo, operato da ventilazione di tipo termico (brezze) o dinamico (vento di gradiente), influiscono direttamente sui processi di diffusione e rimozione. Situazioni di calma dovuta a situazioni di blocco anticiclonico, cioè un prolungato periodo anche oltre ai 30 giorni caratterizzato da alta pressione, determinano condizioni di scarso rimescolamento e conseguente progressivo accumulo delle polveri ed inquinanti in genere.

Nei grafici di Figura 9 e Figura 10 viene riportato in corrispondenza della direzione media oraria di provenienza del vento il corrispettivo valore di concentrazione per gli anni 2006 e 2007/08, nel periodo in cui era già in funzione il campionatore di  $\text{PM}_{10}$ . Come si può notare, valori elevati di concentrazioni (superiori a 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) si hanno sia in corrispondenza dei settori meridionali che settentrionali del vento.

L'analisi statistica condotta sui dati degli anni 2004-2007 ha permesso di evidenziare come vi sia una prevalenza della direzione di provenienza del vento dai quadranti settentrionali e come vi sia una leggera prevalenza di episodi acuti di concentrazione di polveri con vento da Nord.

Nella figura seguente sono riportati i risultati dell'analisi relativa all'anno 2007: i dati di  $\text{PM}_{10}$  fino a novembre sono stati ricavati dai dati di PTS nell'ipotesi che l'80% della concentrazione sia costituita da polveri fini. Si sono selezionate le direzioni del vento comprese tra 315 e 45 gradi (direzione Nord), e tra 135 e 225 (direzione Sud). Il numero totale nell'anno 2007 di situazioni con vento da nord è stato 2511, quello con vento da sud 1346.

Figura 9: correlazione fra direzione del vento e concentrazione bioraria di PM<sub>10</sub> (stimata) nel periodo 1/01/06 – 31/12/06

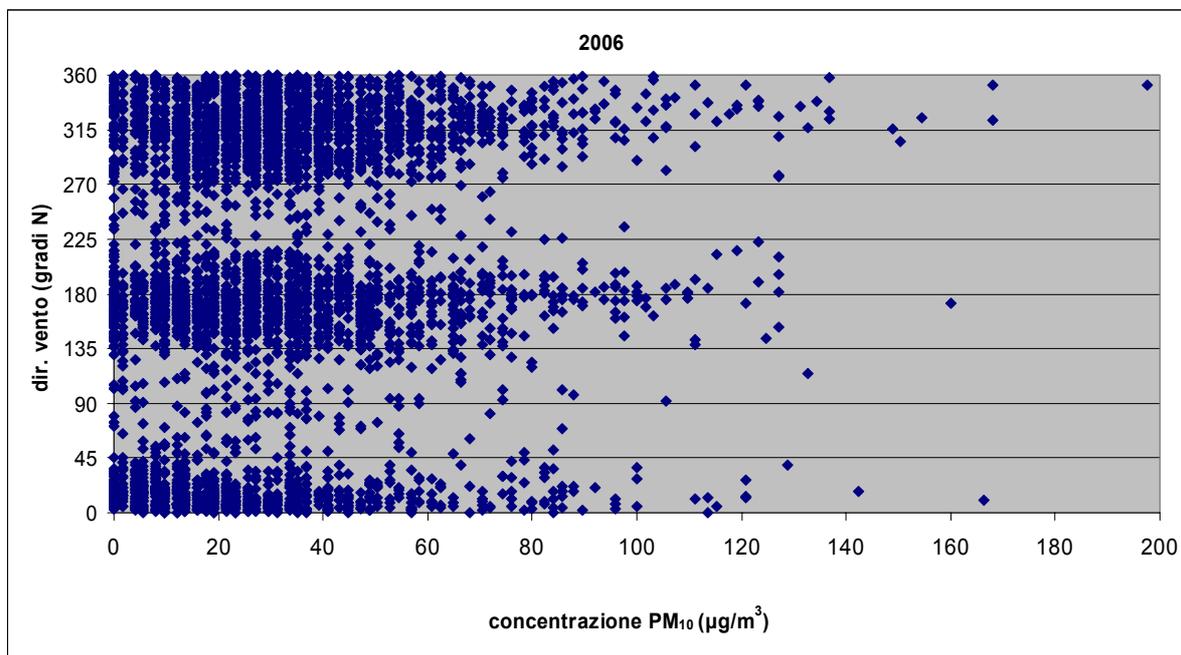
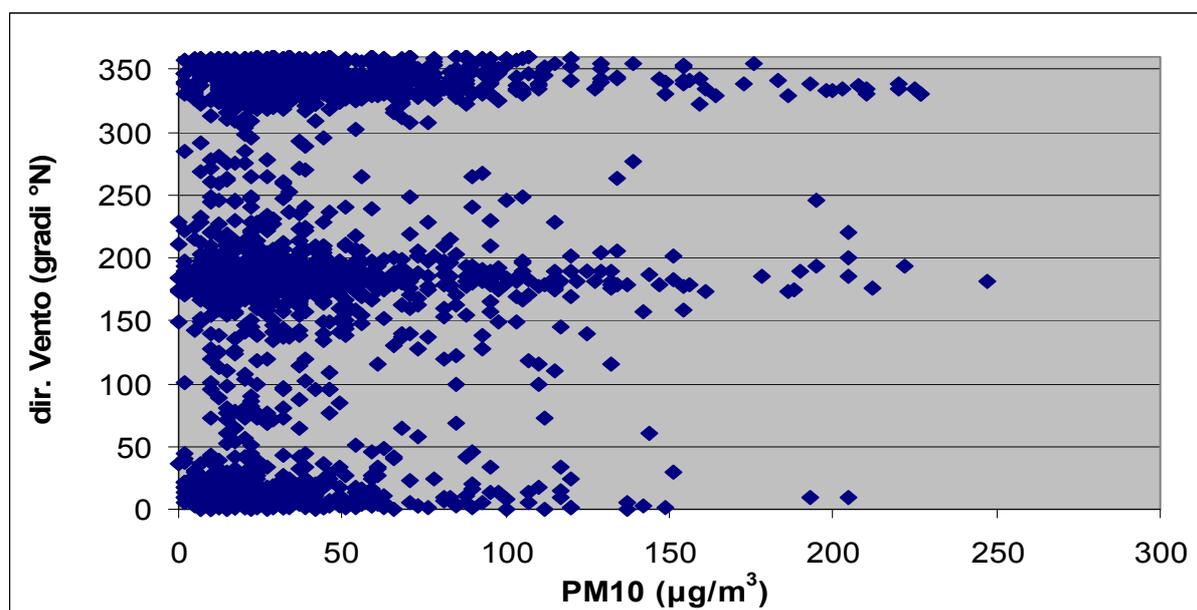
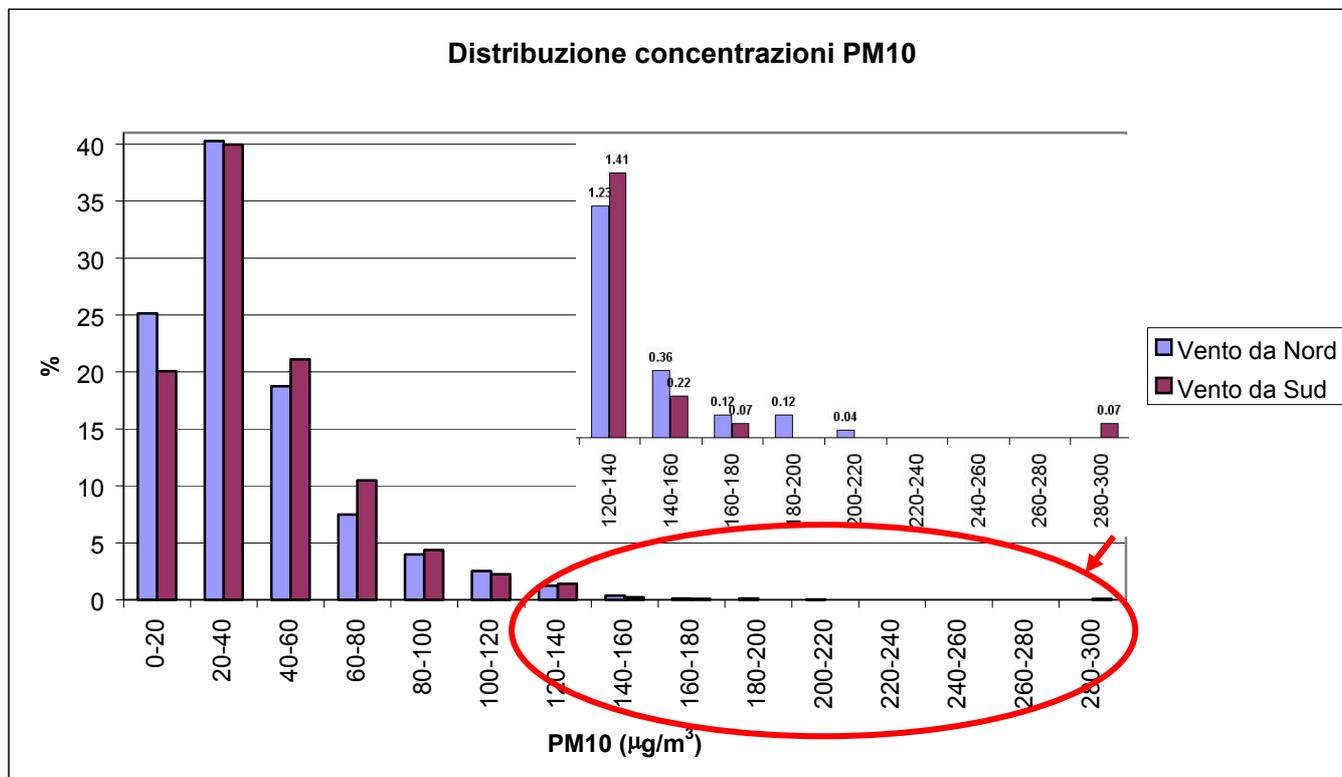


Figura 10: correlazione fra direzione del vento e concentrazione di PM<sub>10</sub> nel periodo 1/11/07 – 30/05/08



**Figura 11: distribuzione in frequenza delle concentrazioni di PM<sub>10</sub> rilevato presso la stazione di Fumane –scuole medie al variare della direzione di provenienza del vento**



Dal grafico di Figura 11 si vede che la distribuzione delle concentrazioni è simile per ambedue le direzioni di provenienza del vento e che la maggior parte degli episodi in entrambi i casi ricade nelle classi di concentrazione 0-20, 20-40, 40-60 µg/m<sup>3</sup>.

Anche per quanto riguarda le concentrazioni di polveri maggiori (> 120 µg/m<sup>3</sup>), non c'è sostanziale differenza fra le due distribuzioni.

Andando invece a valutare la frequenza con cui si presentano situazioni di vento particolarmente intenso nel corso dell'anno 2007, si trova una forte prevalenza delle direzioni appartenenti ai quadranti settentrionali (Tabella 8). Quando il vento proviene da Nord, l'unica sorgente importante di polveri risulta essere il cementificio, nel caso in cui il vento provenga da Sud, invece, è possibile che il vento trasporti a Fumane l'inquinamento proveniente dalla pianura. La figura di dispersione degli inquinanti provenienti dal cementificio in questi casi verrà analizzata nei paragrafi seguenti.

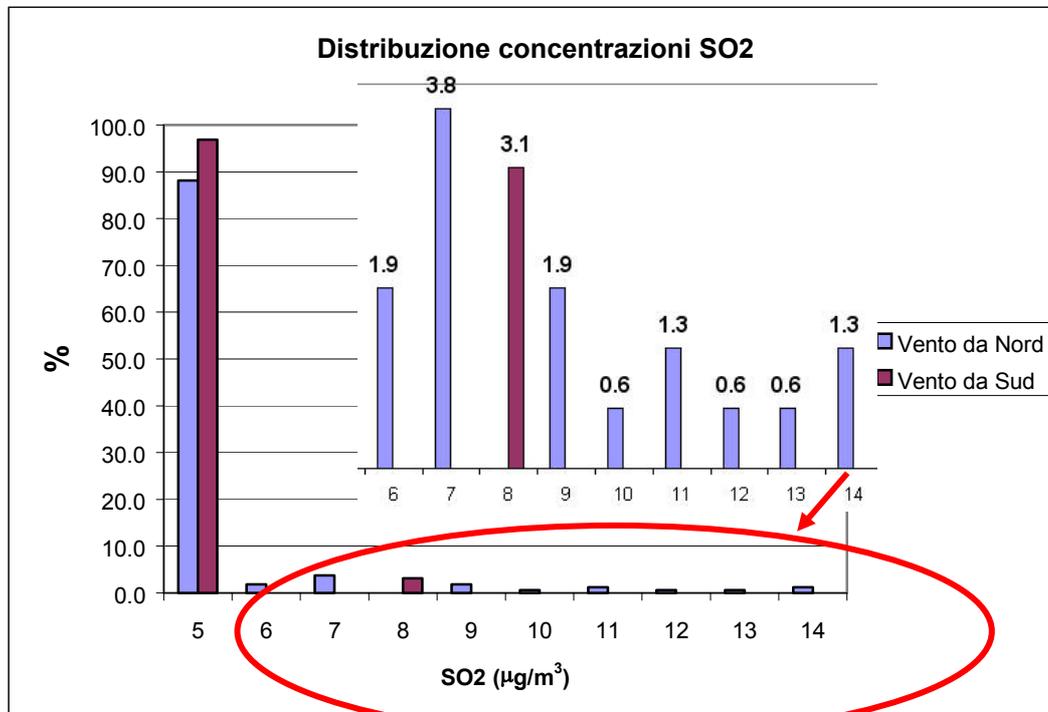
**Tabella 8: correlazione fra direzione di provenienza del vento e numero di casi con intensità del vento medie orarie superiori a 3 e 4 m/s**

Direzione vento (provenienza)	Velocità vento (m/s)	N° di casi anno 2007
NORD	>= 3	536
	>= 4	118
SUD	>= 3	15
	>= 4	0

Un'analisi simile a quella effettuata per le polveri è stata effettuata per il biossido di zolfo.

Dato che le concentrazioni di SO<sub>2</sub> solitamente si mantengono molto contenute (al limite della rilevabilità degli strumenti di misura), si è andati ad analizzare solamente i casi in cui sono state misurate concentrazioni superiori a 4 µg/m<sup>3</sup>. Il risultato ottenuto è riportato nel grafico di Figura 12.

**Figura 12: distribuzione in frequenza delle concentrazioni di SO<sub>2</sub> rilevato presso la stazione di Fumane –scuole medie al variare della direzione di provenienza del vento**



Da tale grafico si vede che nella quasi totalità delle situazioni con vento proveniente da Sud le concentrazioni di SO<sub>2</sub> si mantengono basse (5 µg/m<sup>3</sup>). Le concentrazioni più elevate, invece, si presentano quasi sempre con vento da nord.

In generale comunque i casi in cui si sono verificati livelli di concentrazione maggiori di 4 µg/m<sup>3</sup> associati a una velocità del vento di 3 o 4 m/s sono sempre associati alla direzione del vento da Nord, come si può vedere dalla tabella riassuntiva seguente.

**Tabella 9: correlazione fra direzione di provenienza del vento e numero di casi con concentrazioni medie orarie di SO<sub>2</sub> superiori a 4 µg/m<sup>3</sup> e intensità del vento medie orarie superiori a 3 e 4 m/s**

Direzione vento (provenienza)	Velocità vento (m/s)	N° di casi anno 2007
NORD	>= 3	26
	>= 4	8
SUD	>= 3	0
	>= 4	0

Da tali risultati si vede chiaramente che, pur rimanendo le concentrazioni ampiamente inferiori ai limiti normativi, la sorgente principale di biossido di zolfo è il cementificio: quando il vento soffia da nord la sostanza inquinante arriva all'abitato di Fumane.

In conclusione, si può affermare che l'analisi dei dati storici di concentrazione di PTS misurata presso la stazione di Fumane-scuole medie ha messo in luce un forte legame fra concentrazioni di inquinanti e orografia del territorio. L'analisi della correlazione fra direzione di provenienza del vento e valori di concentrazione mostra come valori elevati di PM<sub>10</sub> si misurano sia in corrispondenza di venti provenienti da Nord - Nord Ovest, sia in corrispondenza di venti provenienti da Sud, Sud-Est, suggerendo così un contributo alla concentrazione di polveri sia interno al comune, che esterno.

I valori medi di concentrazione di PM<sub>10</sub> stimati sono inferiori alle soglie di legge, non così il numero annuale di superamenti del limite giornaliero che supera i 35 ammessi dalla normativa.

### Campagne di misura con il laboratorio mobile

Nel periodo 18 luglio – 12 settembre 2007 sono state condotte campagne di monitoraggio della qualità dell'aria con il laboratorio mobile in tre postazioni del comune di Fumane, la cui localizzazione è riportata nella Figura 13. Nello stesso periodo un secondo laboratorio mobile è stato posizionato in località Breonio, tale misura ha fornito i valori di riferimento degli inquinanti in una località "remota", ossia relativamente lontana dalle fonti di inquinamento.

In Tabella 10 sono riportati i punti di misura e dei relativi periodi di monitoraggio.

**Tabella 10: località e periodo di monitoraggio delle campagne di misura della qualità dell'aria.**

Località	inizio	fine
Isola	18/07/2007	06/08/2007
Essiccatoio	07/08/2007	19/08/2007
Piazza Solinas	20/08/2007	12/09/2007
Breonio	18/07/2007	12/09/2007

I parametri misurati sono stati i seguenti:

Inquinante	Caratteristiche chimico-fisiche	Principali sorgenti
<b>PM<sub>10</sub></b>	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 PM <sub>10</sub> è dovuta a reazioni fotochimiche che avvengono in atmosfera fra i precursori, principalmente da SO <sub>2</sub> , ammoniaca e NO <sub>x</sub> .
<b>PM<sub>2,5</sub></b>	Particelle con diametro aerodinamico inferiore a 2.5 µm	Costituiscono la frazione fine del particolato sospeso e derivano dalle emissioni prodotte dal traffico veicolare, dalle attività industriali, dagli impianti di produzione di energia elettrica nonché a seguito di combustioni di residui agricoli.
<b>IPA</b>	Idrocarburi policiclici aromatici: sono costituiti da due o più anelli aromatici condensati	derivano dalla combustione incompleta di numerose sostanze organiche, nell'aerosol urbano sono generalmente associati alle particelle con diametro aerodinamico minore di 2 micron
<b>NO<sub>2</sub></b>	Inquinante secondario, si forma principalmente per ossidazione dell'NO. In atmosfera si trasforma in acido nitrico (HNO <sub>3</sub> )	Impianti di riscaldamento, traffico veicolare, centrali di potenza, attività industriali
<b>CO</b>	Inquinante primario. Gas inodore ed incolore leggermente più leggero dell'aria.	Combustione incompleta dei combustibili fossili. Traffico, impianti di riscaldamento e processi industriali quali produzione di acciaio e ghisa.
<b>SO<sub>2</sub></b>	Gas incolore di odore pungente. In atmosfera reagisce con l'umidità trasformandosi in acido solforico	Combustione di combustibili fossili contenenti zolfo: impianti di riscaldamento, centrali di potenza.
<b>Ozono</b>	Inquinante secondario. Gas di colore azzurro e odore pungente. Reagisce con tutti i composti ed i materiali che possono essere ossidati.	Si forma in seguito all'ossidazione dei composti organici volatili (COV) e monossido di carbonio (CO) in presenza di ossidi di azoto (NO <sub>x</sub> ) (che fungono da catalizzatori) e radiazione solare.
<b>Benzene</b>	Idrocarburo liquido molto stabile chimicamente, volatile, incolore di odore caratteristico	processi di combustione incompleta: veicoli a motore, emissioni industriali, incendi.

Figura 13: localizzazione dei punti di misura della qualità dell'aria.



## Analisi meteorologica

### Periodo 17/07/07 –7/08/07

La situazione meteorologica che ha interessato la nostra provincia ha visto la presenza di un anticiclone nord africano che ha determinato, specie nella seconda metà del mese di luglio, temperature massime elevate comprese tra i 30°C ed i 35°C, ciò ha favorito l'innescio di vivace ventilazione a regime di brezza. Anche i primi giorni di agosto sono stati caratterizzati da un regime anticiclonico eccetto il transito tra il 3 ed il 4 di una debole saccatura atlantica che ha apportato modeste precipitazioni. La ventilazione media è risultata attorno a 1.7 m/s.

### Periodo 7/08/07-19/08/07

Periodo caratterizzato da un campo prevalentemente anticiclonico eccetto l'influenza di un'onda depressionaria il giorno 13 e di una saccatura atlantica il 18 che hanno apportato precipitazioni temporalesche sulla zona. Nel campo di vento da segnalare una sostenuta avvezione settentrionale nei giorni 9 e 10. Il valore medio del vento nel periodo della campagna di misure è risultato di 1.6 m/s.

Le temperature sono risultate inferiori al periodo precedente con valori massimi attorno ai 30°C e valori minimi inferiori ai 20°C.

### Periodo 24/08/07-10/09/07

Dopo un iniziale periodo prettamente anticiclonico con temperature massime oltre i 30°C, il transito di una marcata saccatura atlantica apporta nella giornate del 30 e 31 attività temporalesca, localmente intensa con conseguente abbassamento termico che mantiene fino a fine periodo temperature massime sotto i 26°C. Nuovo peggioramento con debole precipitazione anche nei giorni 4 e 5 settembre. La ventilazione media risulta attorno a 1.5 m/s.

Figura 14: Andamento della temperatura massima, media, minima e precipitazioni a Fumane dal 17 luglio al 7 agosto 2007.

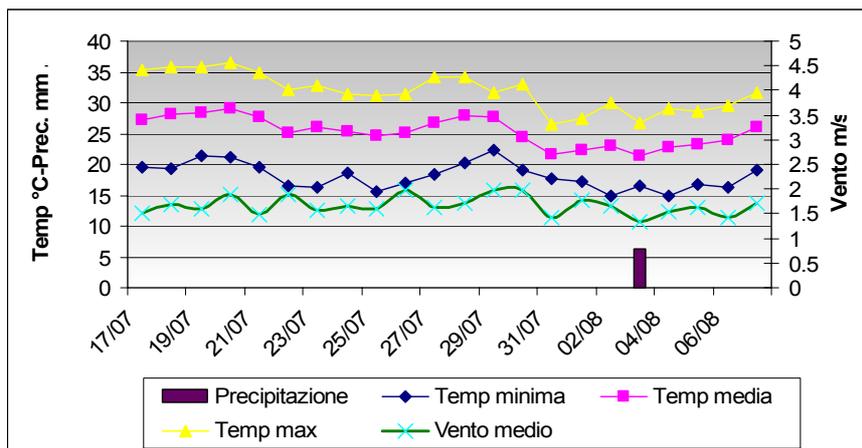


Figura 15: Andamento della temperatura massima, media, minima e precipitazioni a Fumane dal 7 agosto al 19 agosto 2007.

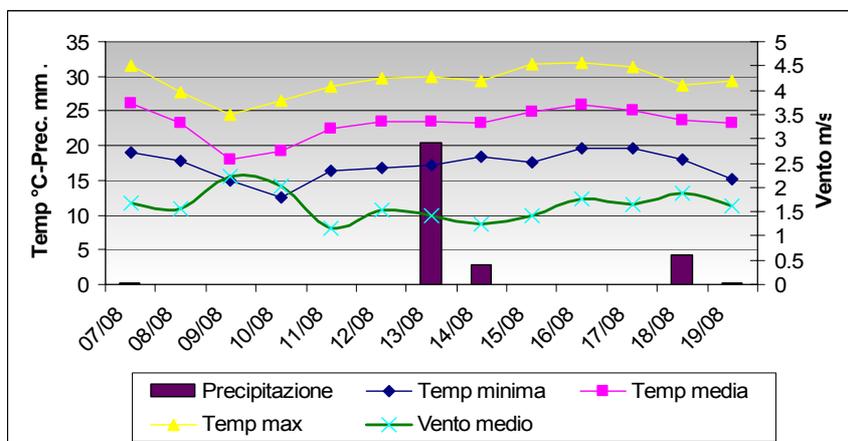
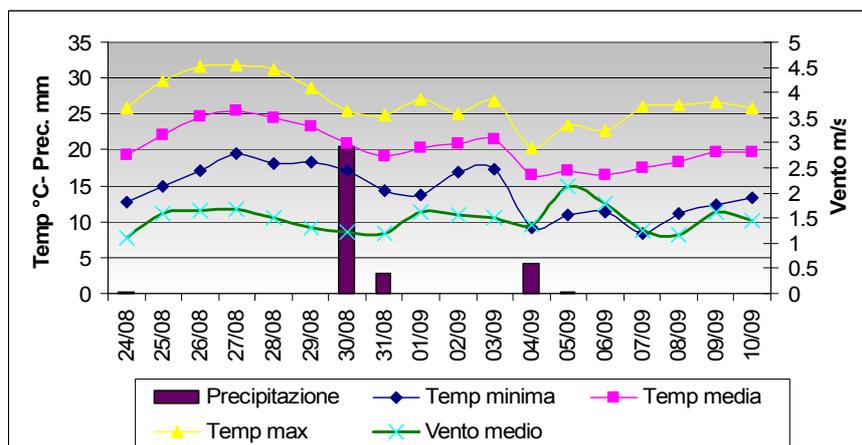


Figura 16 : Andamento della temperatura massima, media, minima e precipitazioni a Fumane dal 24 agosto al 10 settembre 2007



## Concentrazioni rilevate

### Polveri sottili (PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub>)

Presso tutte e tre le postazioni di misura di Fumane sono state rilevate le concentrazioni di PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub>. I valori misurati sono stati confrontati con i valori rilevati nello stesso periodo a Breonio e nelle stazioni di rilevamento fisse di Verona Cason e Verona Corso Milano. Durante l'intero periodo della campagna di monitoraggio non sono stati rilevati superamenti del valore limite giornaliero pari a 50 µg/m<sup>3</sup>. Le concentrazioni misurate a Fumane sono decisamente inferiori a quelle rilevate presso le stazioni di Verona, superiori però a quelle rilevate a Breonio. In Figura 17 sono riportati gli andamenti delle concentrazioni giornaliere di polveri sottili: come si può notare l'andamento delle concentrazioni è lo stesso in tutte le postazioni di misura, le concentrazioni di PM<sub>10</sub> rilevate a Fumane e quelle rilevate a Breonio sono molto simili.

Le polveri fini (PM<sub>2.5</sub>) rappresentano una percentuale compresa fra il 60 e il 70% delle polveri sottili, a Cason costituiscono invece il 45-60% del particolato (PM<sub>10</sub>) (Tabella 12).

È stato, inoltre, calcolato il giorno tipo delle concentrazioni di PM<sub>10</sub> rilevate presso le due località di Isola e via Vaio: il giorno tipo è dato dalla media delle concentrazioni orarie misurate alla stessa ora del giorno. Come si può notare dal grafico di Figura 18, in località Isola si ha un aumento nelle prime ore della mattina, probabilmente legato al traffico locale, nel resto della giornata le concentrazioni medie orarie rimangono pressoché costanti. In piazza Solinas l'andamento è simile, con un aumento delle concentrazioni nelle ore serali. Peculiare è l'andamento orario delle concentrazioni di PM<sub>10</sub> in via Vaio che segue l'andamento della direzione del vento: aumenta nelle ore serali e notturne quando il vento proviene da Nord e diminuisce nelle ore centrali della giornata, quando la direzione del vento cambia. Analogo andamento hanno rivelato le concentrazioni di biossido di azoto rilevate nella stessa campagna di misura che è stata oggetto di un'analisi approfondita tramite il modello di dispersione ADMS-Urban

**Tabella 11: concentrazioni di polveri sottili (PM<sub>10</sub>) misurate presso le tre postazioni del comune di Fumane e nello stesso periodo presso la stazione di Breonio, Verona-Cason e Verona Corso Milano.**

periodo	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )			
	Fumane	Breonio	Cason	Corso Milano
20/07 – 05/08	20	15	35	28
08/08 – 22/08	16	15	32	24
25/08 – 08/09	19	20*	30	26

\* mancano tre giorni di dati

**Tabella 12: concentrazioni di polveri sottili (PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub>) misurate presso le tre postazioni del comune di Fumane e presso la stazione di Verona-Cason, rapporto fra concentrazioni di PM<sub>2.5</sub> e PM<sub>10</sub> a Fumane e a Verona-Cason.**

località	Concentrazione PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Concentrazione PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Rapporto PM <sub>2.5</sub> /PM <sub>10</sub>	Concentrazione PM <sub>2.5</sub> Cason (µg/m <sup>3</sup> )	Rapporto PM <sub>2.5</sub> /PM <sub>10</sub> Cason
Isola	20	15	72%	19	46%
Via Vaio	16	10	60%	18	56%
Piazza Solinas	19	14	74%	20	57%

**Figura 17: andamento delle concentrazioni di PM<sub>10</sub> rilevate a Fumane (Vaio e Isola), e nello stesso periodo a Breonio e a Verona**

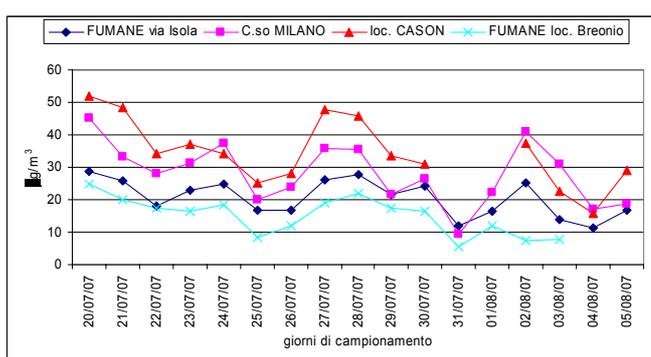
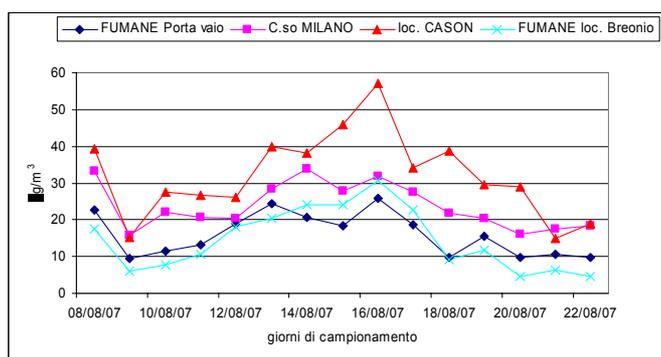
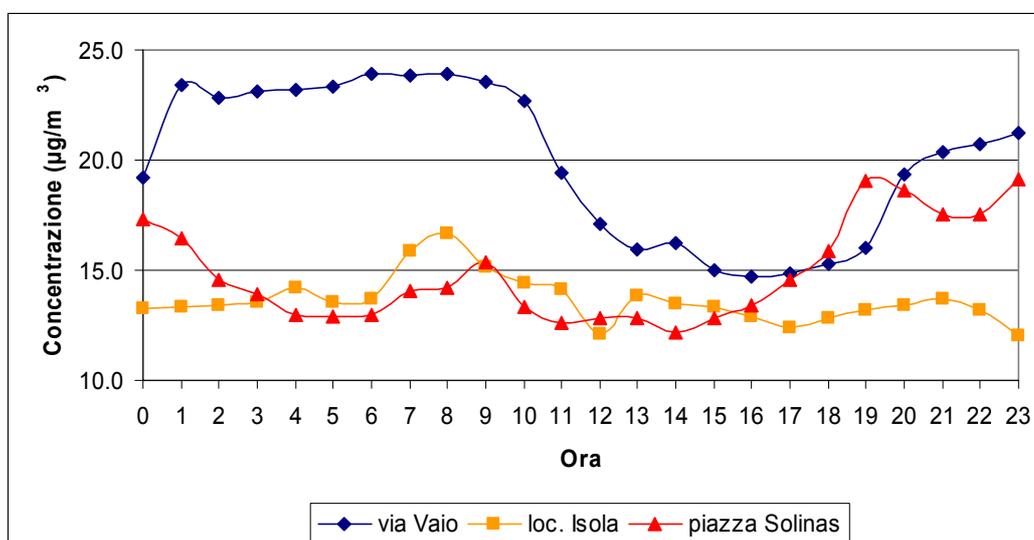


Figura 18 giorno tipo delle concentrazioni di PM<sub>10</sub> misurate in località Isola, via Vaio e in piazza Solinas



#### Biossido di azoto (NO<sub>2</sub>)

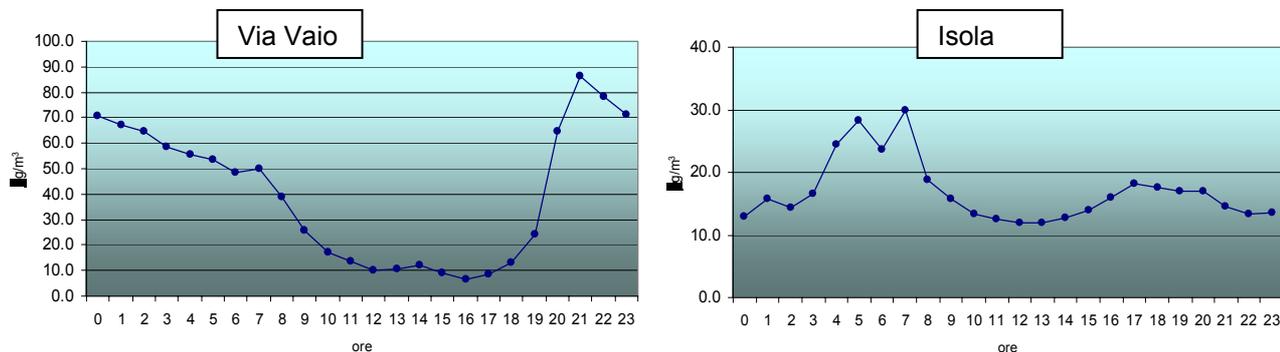
I valori di biossido di azoto misurati nel centro abitato di Fumane risultano mediamente inferiori a quelli misurati a Verona, presso le stazioni di Corso Milano e Cason. Vi sono però da segnalare valori superiori alla media del periodo registrata a Verona, in via Vaio. Le concentrazioni di NO<sub>2</sub> misurate nella prima parte del mese di agosto in via Vaio risultano, infatti, superiori sia a quelle misurate nelle altre campagne condotte nel comune di Fumane sia a quelle misurate nello stesso periodo presso le stazioni di rilevamento di Verona. Non si segnalano, comunque superamenti delle soglie di attenzione previste dalla normativa. I valori rilevati nello stesso periodo a Breonio non si discostano dalla media.

Tabella 13: concentrazioni medie e massime (98° percentile) di biossido di azoto (NO<sub>2</sub>) misurate presso le tre postazioni del comune di Fumane e nello stesso periodo presso la stazione di Breonio, Verona-Cason e Verona Corso Milano.

periodo	NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )							
	Fumane		Breonio		Cason		Corso Milano	
	Media	Max	Media	Max	Media	Max	Media	Max
20/07 – 05/08	17	47	14	33	26	67	28	75
08/08 – 22/08	40	114	10	18	20	53	21	45
25/08 – 08/09	19	50	13	43	24	59	31	63

È stato, inoltre, calcolato il giorno tipo delle concentrazioni di NO<sub>2</sub> rilevate in località Isola e in via Vaio: l'andamento è simile a quello del giorno tipo delle concentrazioni di PM<sub>10</sub>. Nel monitoraggio condotto in via Vaio si nota una forte escursione fra i valori orari medi serali e notturni e quelli delle ore centrali della giornata. È stata, di conseguenza, effettuata un'analisi approfondita utilizzando il modello di dispersione ADMS-Urban, considerando l'apporto di tutte le principali fonti di emissione presenti presso il centro abitato di Fumane per spiegare tale andamento. Tale analisi è riportata nell'ultimo paragrafo della relazione

Figura 19: giorno tipo delle concentrazioni di NO<sub>2</sub> misurate in località Isola e via Vaio



### Biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>)

I valori di biossido di zolfo misurati sono estremamente bassi, superano di poco la soglia di rilevazione della strumentazione: nella Tabella 14 sono riportate le concentrazioni medie e massime. A Breonio e presso le stazioni fisse di Verona le concentrazioni rilevate sono spesso al di sotto della soglia di rilevazione, per questo motivo le concentrazioni medie sono state riportate in corsivo.

Tabella 14: concentrazioni medie e massime (98° percentile) di biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>) misurate presso le tre postazioni del comune di Fumane e nello stesso periodo presso la stazione di Breonio, Verona-Cason e Verona Corso Milano.

periodo	SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )							
	Fumane		Breonio		Cason		Corso Milano	
	Media	Max	Media	Max	Media	Max	Media	Max
20/07 – 05/08	5	8	2	5	2	3	2	4
08/08 – 22/08	6	12	2	4	2	2	2	4
25/08 – 08/09	6	14	3	9	2	2	2	2

### Metalli ed elementi in tracce

Durante ogni campagna di misura sono state campionate sia le polveri fini (PM<sub>10</sub>) che la componente più sottile (PM<sub>2.5</sub>). I campioni sono stati sottoposti ad analisi tramite fluorescenza X per determinarne la concentrazione di metalli e 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; ed 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/cm<sup>2</sup>. 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 15. La concentrazione di nichel, vanadio, piombo, cloro, arsenico, cadmio e cromo nel PM<sub>10</sub> è risultata al di sotto della soglia di rilevazione: è stata rilevata la presenza di tracce di alcuni di questi elementi solo nel sito di via Vaio. La campagna di monitoraggio in questo sito è stata caratterizzata da condizioni meteorologiche particolari che hanno contribuito all'aumento della concentrazione di alcuni inquinanti, come l'analisi modellistica ha evidenziato.

I risultati ottenuti sono in accordo con quanto hanno rilevato le analisi delle materie prime utilizzate nel processo produttivo e delle polveri prelevate al camino del forno 2. Il cadmio è presente solo in tracce nelle scaglie di laminazione e nelle ceneri pesanti, altri elementi come l'arsenico, sono presenti in concentrazioni molto basse nelle materie prime, e sono assenti nelle polveri emesse a camino e così nelle polveri aereodisperse. Elementi quali il piombo presenti in quantità dell'ordine delle decine di mg/Kg nelle materie prime, sono presenti in quantità dell'ordine dei µg/m<sup>3</sup> nelle polveri a camino e in quantità pari a qualche ng/m<sup>3</sup> solo nel PM<sub>10</sub> prelevato in via Vaio. Il Fe ha origine naturale, ma può essere anche collegato alla presenza di attività industriali: la maggiore concentrazione di ferro nelle polveri di via Vaio e di loc. Isola rispetto alle polveri prelevate in piazza Solinas e a Breonio può far supporre un contributo delle emissioni del cementificio nella determinazione complessiva della quantità rilevata. Un'analoga considerazione può valere per lo zolfo e il calcio. Le concentrazioni di metalli nel PM<sub>2.5</sub> sono nettamente inferiori rispetto a quelle rilevate nel PM<sub>10</sub>: questo significa che le particelle metalliche costituiscono la parte più grossolana delle polveri sottili. Un'eccezione è rappresentata dallo zolfo che è presente in

concentrazioni pari o addirittura superiori nel  $PM_{2.5}$ : questo significa che lo zolfo e i suoi composti costituiscono la parte più fine del particolato. La presenza significativa di zolfo nel  $PM_{10}$  campionato a Breonio implica che buona parte di questo elemento proviene da sorgenti esterne al comune. Calcio e silicio sono presenti in concentrazioni maggiori nella parte più grossolana del  $PM_{10}$ .

**Tabella 15: concentrazione di metalli e elementi in tracce (in  $ng/m^3$ ) nelle polveri sottili ( $PM_{10}$ ) prelevate nei tre siti di misura di Fumane. Confronto con le concentrazioni determinate nel  $PM_{10}$  prelevato a Breonio.**

	loc. Isola	via Vaio	piazza Solinas	Breonio
elemento	$ng/m^3$	$ng/m^3$	$ng/m^3$	$ng/m^3$
Si	921	638	820	506
S	1166	1240	768	945
K	328	467	221	129
Ca	1950	1559	1069	492
Fe	331	209	327	184
Ti	24	16	25	14.5
Mn	10	8	10	6
Cu	18	12	16	3.8
Zn	27	14	32	19
Ni	< 2	3	< 2	< 2
V	3	6	< 3.5	< 3.5
Pb	< 11	13	12	< 11
Cl	< 17	55	< 17	< 17
As	< 2	< 2	< 2	< 2
Cd	< 2	< 2	< 2	< 2
Cr	< 4	< 4	< 4	< 4

**Tabella 16: concentrazione di metalli e elementi in tracce (in  $ng/m^3$ ) nelle polveri sottili ( $PM_{2.5}$ ) prelevate nei tre siti di misura di Fumane.**

	loc. Isola	via Vaio	piazza Solinas
elemento	$ng/m^3$	$ng/m^3$	$ng/m^3$
Si	127	47	168
S	1183	785	791
K	207	208	116
Ca	158	109	193
Fe	51	35	64
Ti	2.8	< 3	4
Zn	18	4.8	16
V	< 3.6	< 3	< 3.5
Pb	< 4.5	< 4	< 11
Mn	< 1.6	< 1.5	4
Ni	< 2	< 2	
Cu	2	< 1.5	3.6
As	< 2	< 1.8	< 2
Cd	< 2	< 2	< 2
Cr	< 11	< 11	< 4
Cl	< 18	< 17	< 17

### **Biomonitoraggio della qualità dell'aria tramite bioaccumulo dei muschi trapiantati**

Un bioaccumulatore è considerato un “biomonitor” perchè permette di estrapolare informazioni quantitative sui livelli degli inquinanti presenti nell'aria.

Nel presente lavoro è stata sfruttata la capacità della specie di muschio *Hypnum cupressiforme* di bioaccumulare i metalli pesanti. I muschi possono rilevare i livelli di inquinamento all'interno di aree limitate, come zone industriali, città, paesi, strade ad elevato traffico, ecc .

Nell'area del comune di Fumane sono stati posizionati muschi trapiantati, moss bags, per ottenere informazioni riguardanti le deposizioni atmosferiche di metalli pesanti. Il muschio utilizzato è stato raccolto in zone non contaminate e poi esposto dal 7/11/07 fino al 27/12/07 ad una altezza di 1,5-2 metri dal suolo ed in aree ben esposte evitando coperture di alberi, edifici, ecc.. La concentrazione dei metalli è stata determinata con la tecnica analitica spettrofotometrica di assorbimento atomico effettuata previa mineralizzazione dei campioni. Gli elementi presenti solo in tracce sono risultati cromo, mercurio, arsenico e cadmio. È stato rilevato un assorbimento significativo di piombo, nichel, rame, zinco, manganese e alluminio. La concentrazione di metalli trovata nei muschi trapiantati rispecchia la concentrazione rilevata nelle polveri emesse a camino: il cromo è presente solo in tracce nel campione esposto presso la piscina del cementificio. Valori più significativi di concentrazioni sono stati ottenuti per il nichel e il piombo. In particolare merita un approfondimento la stazione di via Volta, in cui si è riscontrato un valore di concentrazione di 121 mg/Kg di piombo. Alluminio e manganese sono costituenti della crosta terrestre e si trovano infatti in quantità relativamente omogenee in tutti i muschi esposti. Dall'analisi modellistica emerge come il punto di esposizione di via Bertarole sia quello meno interessato dalle emissioni del cementificio fra quelli presi in considerazione: questo sembra confermato anche dai valori di concentrazione di metalli assorbiti dal muschio. Per facilitare l'interpretazione del dato in Tabella 18 vengono riportate le concentrazioni di alcuni metalli in muschi della stessa specie esposti in un'area compresa fra i comuni di San Giovanni Lupatoto, Verona, Zevio e San Martino Buon Albergo, prima dell'entrata in funzione del termovalorizzatore di Ca' del Bue. Si tratta di una zona fortemente antropizzata ed interessata da traffico intenso e da numerose attività produttive: i valori rilevati possono essere considerati quindi un esempio di valori massimi.

**Tabella 17: concentrazione di metalli e elementi in tracce (in mg/Kg di peso del muschio) nelle nei muschi trapiantati.**

Stazione	Cr	Pb	Hg	As	Cd	Ni	Cu	Zn	Mn	Al
	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
<b>Piscina Cementi Rossi</b>	0,25	5,30	<0,1	0,27	0,04	2,50	6,50	43,00	22,00	818,00
<b>Via Volta Az. Agricola</b>	<0,1	121,08	<0,1	0,06	0,13	1,94	10,89	45,78	31,44	459,67
<b>Via Progni Colorificio</b>	<0,1	11,72	0,05	0,04	0,06	0,66	9,11	20,63	8,05	448,26
<b>Via Bertarole</b>	<0,1	5,80	<0,1	0,01	0,03	1,07	3,79	25,14	21,64	464,43
<b>Via Flaminio Pellegrini</b>	<0,1	7,05	<0,1	0,08	0,07	0,83	9,08	26,33	31,17	572,17

**Tabella 18: Intervallo di concentrazioni di metalli (mg kg<sup>-1</sup> peso secco) presenti in *Hypnum cupressiforme* esposto nella zona Est di Verona**

Cadmio	Rame	Cromo	Nichel	Piombo	Zinco	Mercurio	Manganese
0.43-0.71	8 – 16.4	1.59 - 4	2.8 – 5.5	16.5 - 38	60.3 - 127	0.28 – 1.36	212 -380

## Stima modellistica della dispersione degli inquinanti in aria

Per calcolare la figura di dispersione degli inquinanti emessi dalle principali sorgenti presenti sul territorio di Fumane, è stato utilizzato il modello di dispersione ADMS-Urban.

L'applicazione di tale modello ha permesso in primo luogo di individuare le postazioni in cui posizionare il laboratorio mobile durante le campagne di monitoraggio. A tal fine sono state effettuate delle simulazioni per individuare la tipica distribuzione spaziale delle massime ricadute delle emissioni prodotte dal cementificio in periodi analoghi a quelli in cui sono stati effettuati i monitoraggi.

Sono state, inoltre, effettuate delle simulazioni nei periodi corrispondenti alle campagne di monitoraggio e sono stati confrontati i valori misurati dai mezzi mobili con quelli calcolati dal modello. In questo modo è stato possibile verificare se il calcolo modellistico ben riproduceva i valori misurati dai laboratori mobili.

Successivamente è stato fatto uno studio finalizzato ad individuare la dispersione media annuale, invernale ed estiva dovuta alle emissioni del cementificio e del traffico stradale e a calcolare i contributi alle emissioni totali delle varie fonti di pressione considerate.

Infine si sono individuate delle situazioni particolarmente avverse per l'impatto delle emissioni dal cementificio sull'abitato di Fumane e si è valutata la frequenza con cui esse si presentano nell'arco di un anno e quanto tali situazioni si discostano dalla media.

### Sorgenti principali

Le sorgenti emissive considerate in input al modello sono state il cementificio e il traffico stradale.

Le emissioni dei camini dei forni di cottura del cementificio vengono misurate in continuo: sono stati quindi utilizzati i suddetti dati misurati come valori di input per il modello.

Per gli altri punti di emissione del cementificio, invece, sono stati considerati i valori massimi di emissione autorizzati.

Per quanto riguarda il traffico stradale, sono stati considerati i flussi di traffico della SP33 (viale Verona), di via Progni e di via Ponte Vaio.

La SP33 rappresenta la principale via di accesso all'abitato di Fumane, via Progni, invece, collega il centro abitato di Fumane con il cementificio.

I dati relativi ai flussi di traffico provengono da misure effettuate dall'ARPA nei periodi delle campagne di monitoraggio con il mezzo mobile, e da dati forniti dal comune di Fumane e relativi a misure effettuate durante maggio 2007.

Tali flussi di traffico sono stati utilizzati per effettuare una stima delle emissioni attraverso la metodologia COPERT III sviluppata dall'EEA (COPERT III Methodology ed emission factors Version n. 2.1 - EEA/Technical Report n.49)

### Confronto tra output del modello e misure sperimentali

Al fine di verificare la taratura del modello in relazione al tipo di situazione che si è andati ad indagare, e valutare quanto i valori di immissione calcolati da ADMS-Urban ben riproducano le concentrazioni misurate dai mezzi mobili ARPAV, sono state effettuate delle simulazioni relative ai periodi di monitoraggio eseguiti in loc. Isola e in via Ponte Vaio.

Come precedentemente anticipato, contemporaneamente alle misure di concentrazione di inquinanti sono state effettuate delle misure di flussi di traffico con strumento radar doppler. Tali misure sono state eseguite in via Progni, durante la campagna di monitoraggio in loc. Isola, e in Viale Verona, durante la campagna di via Vaio.

I flussi di traffico misurati sono riportati in Tabella 19:

**Tabella 19: flusso medio orario di mezzi pesanti e leggeri in transito nei giorni feriali, prefestivi e festivi.**

Strada	N° mezzi	Giorno feriale	Giorno prefestivo	Giorno festivo	Totale periodo
Via Progni	N° mezzi leggeri	102	108	124	106
	N° mezzi pesanti	8	0	0	4
Viale Verona	N° mezzi leggeri	264	236	258	258
	N° mezzi pesanti	4	0	0	2

Tali flussi di traffico sono stati utilizzati per calcolare le emissioni attraverso la metodologia COPERT III, considerando un parco macchine per la provincia di Verona aggiornato all'anno 2004 e fornito dall'ACI.

I valori di emissione così calcolati sono stati forniti in input ad ADMS-Urban al fine di calcolare la diffusione degli inquinanti prodotti dal traffico stradale.

Come anticipato in precedenza, le emissioni dei forni di cottura del cementificio vengono monitorate in continuo: sono stati, quindi, utilizzati come valori di input al modello le medie dei valori misurati durante i periodi delle campagne di monitoraggio, modulando le emissioni dei forni stessi a seconda del giorno della settimana e dell'ora della giornata.

Per gli altri punti di emissione, invece, sono stati presi come riferimento i valori massimi di emissione autorizzati.

Si riportano di seguito i valori medi complessivi di emissione dei forni sull'intero periodo relativo alle campagne di monitoraggio in loc. Isola e via Vaio, e i valori massimi di emissione autorizzati per tutte le altre sorgenti del cementificio.

**Tabella 20: valori medi di emissione dei camini del cementificio Rossi nel periodo in esame e valori massimi di emissione autorizzati per le altre sorgenti.**

SORGENTE	NOx (mg/m <sup>3</sup> )	SO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	POLVERI (mg/m <sup>3</sup> )
Forno 1	623	11	5
Forno 2	748	15	5
Altre sorgenti cementificio	301	513	24

Si riportano nelle successive tabelle (Tabella 21 e Tabella 22) i risultati delle simulazioni su lungo periodo per le concentrazioni di PM<sub>10</sub> e SO<sub>2</sub>, in corrispondenza delle postazioni dei mezzi mobili e relative ai due periodi di monitoraggio condotti in località Isola e in via Vaio.

Le concentrazioni calcolate dal modello sono state confrontate con la media delle concentrazioni misurate dalle centraline ARPA: in generale si è ottenuto un buon accordo fra concentrazioni misurate e stimate.

**Tabella 21: valori di concentrazione di PM<sub>10</sub> e SO<sub>2</sub> misurati in località Isola e stimati tramite il modello di dispersione ADMS-Urban.**

**Dal 17/07/07 al 07/08/07**

	Valori misurati (µg)		Valori stimati (µg)	
	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>
Postazione loc. Isola	14	5	16 -17	6 - 8
Postazione via Vaio	/	/	16 - 17	8 - 9

**Tabella 22: valori di concentrazione di PM<sub>10</sub> e SO<sub>2</sub> misurati in via Vaio e stimati tramite il modello di dispersione ADMS-Urban.**

**Dal 07/08/07 al 19/08/07**

	Valori misurati (µg)		Valori stimati (µg)	
	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>
Postazione loc. Isola	/	/	18 -21	10-13
Postazione via Vaio	19	6	18- 21	10 -15

## Individuazione ed analisi della dispersione media

La dispersione di sostanze inquinanti in atmosfera è fortemente influenzata dalle condizioni meteorologiche e in generale dalla capacità dispersiva dell'atmosfera.

Generalmente tale capacità dispersiva risulta essere minore durante il periodo invernale, mentre aumenta nei mesi estivi. Questo implica che in media l'inquinamento emesso dalle varie sorgenti resta confinato vicino alla zona di emissione durante la stagione fredda, provocando valori di concentrazione maggiormente elevati, mentre è soggetto a maggior dispersione durante i mesi estivi. In quest'ultimo caso quindi l'inquinamento emesso va ad interessare una porzione di territorio maggiore, avendo però concentrazioni inferiori.

Al fine di individuare come la concentrazione delle sostanze inquinanti si distribuisce mediamente sull'area in esame nell'arco di un intero anno, durante i mesi invernali e durante i mesi estivi, sono state fatte tre simulazioni: la prima relativa all'intero anno 2007, la seconda relativa ai mesi da dicembre 2006 a febbraio 2007, la terza relativa ai mesi di giugno, luglio e agosto 2007.

Il modello ha stimato i valori di concentrazione sia sull'intero dominio di integrazione sia in corrispondenza di alcuni punti specifici distribuiti nel comune di Fumane.

Le mappe di distribuzione ottenute tramite il modello di dispersione sono riportate integralmente nell'appendice II. Nel testo sono state inserite solo le mappe di dispersione per il  $PM_{10}$  e l' $SO_2$  relative alla simulazione annuale. Sulle mappe sono riportate anche le posizioni della centralina fissa presso le scuole di Fumane, dei laboratori mobili in loc. Isola e via Vaio, e alcune delle stazioni di biomonitoraggio di muschi e licheni.

Le scale utilizzate sono le medesime per la simulazione annuale, invernale ed estiva, al fine di rendere più immediato il confronto tra le mappe.

Da tali mappe si vede come, guardando l'intero dominio di integrazione, le concentrazioni di  $PM_{10}$  e  $NO_2$  siano in media maggiori durante l'inverno rispetto all'estate. Questo è dovuto principalmente ai valori di background che si vanno a sommare a quanto emesso dalle sorgenti in esame: tale background è maggiore durante i mesi invernali, mentre diminuisce durante quelli estivi. La mappa relativa all'intero anno presenta una situazione intermedia tra quella invernale ed estiva.

Tale fenomeno non è così evidente per l' $SO_2$ , in quanto i valori di background non sono soggetti a particolari variazioni durante l'anno.

Non si notano infine sostanziali differenze nell'ampiezza e nei valori di concentrazione delle aree interessate dai massimi di dispersione. In alcuni casi addirittura le concentrazioni in estate sono maggiori rispetto all'inverno. Questo è dovuto da una parte al fatto che ADMS-Urban non riesce a simulare le situazioni di calma di vento, dall'altra al fatto che vi è un regime di brezza costantemente presente durante l'anno. Come conseguenza si ha che le differenze che solitamente caratterizzano i regimi meteorologici invernale ed estivo non si applicano all'area in esame, dove invece tali differenze vengano smussate.

Figura 20: livelli di concentrazione di PM<sub>10</sub> - anno 2007

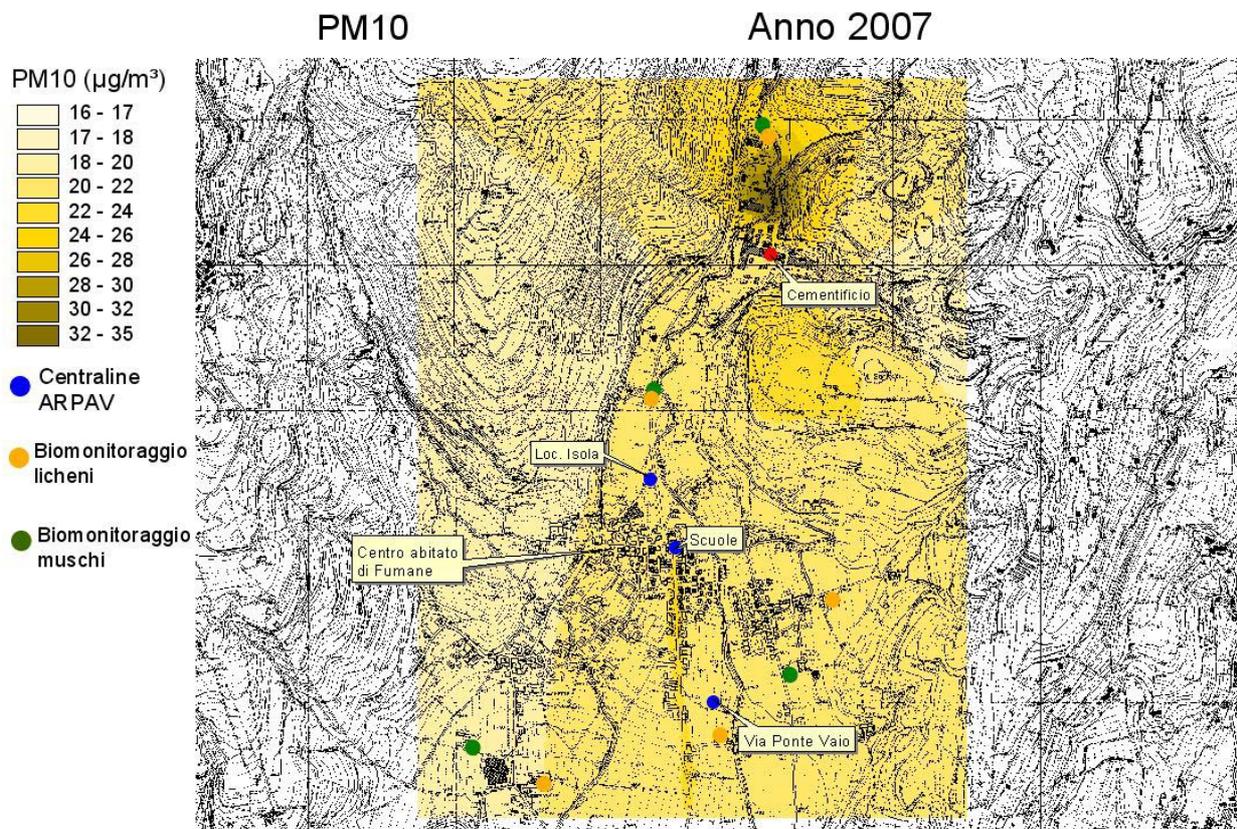
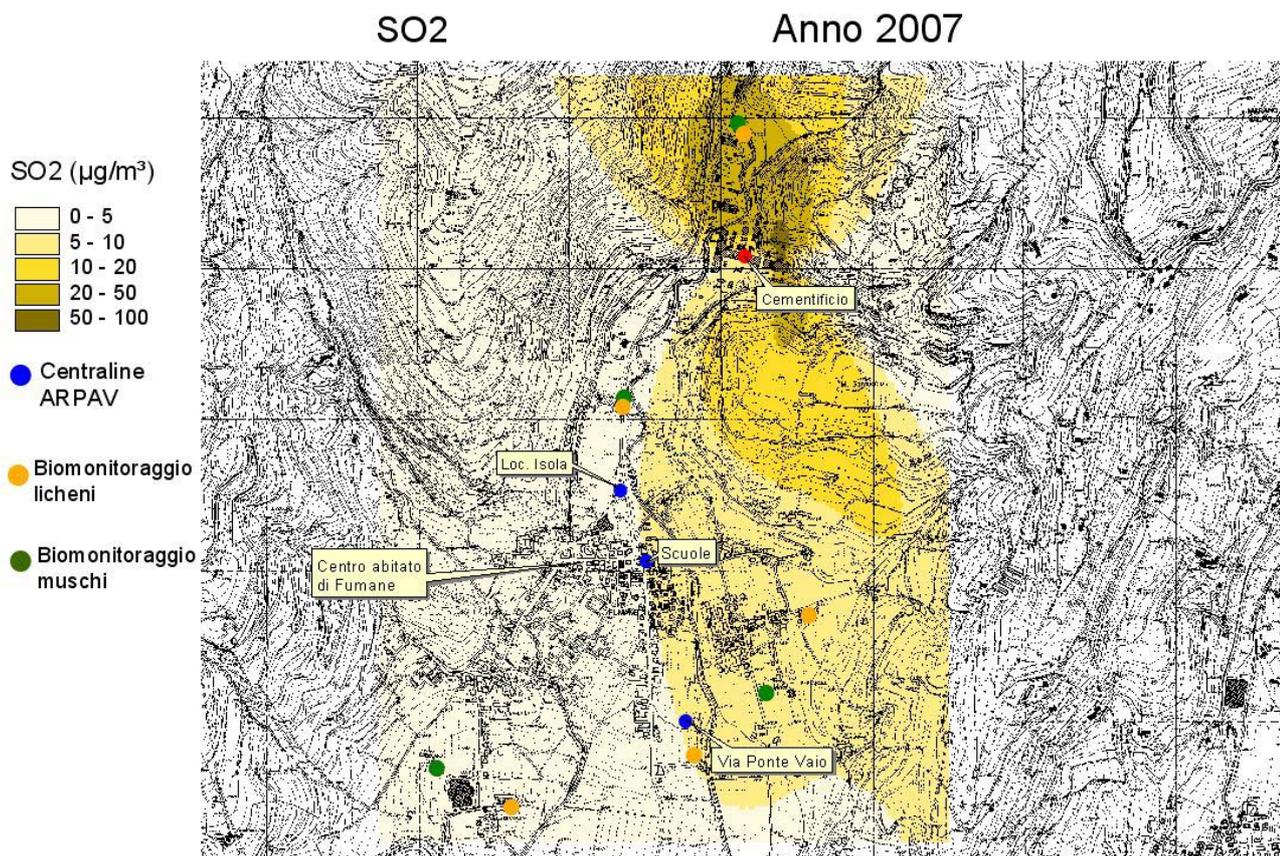
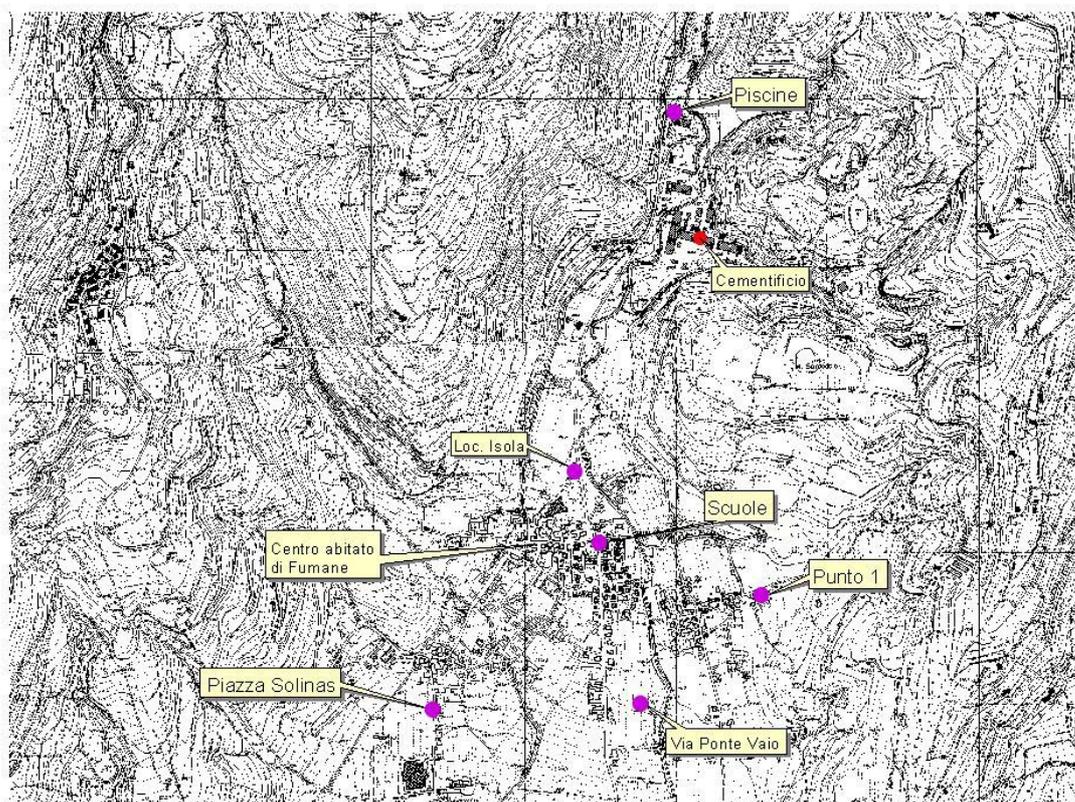


Figura 21: livelli di concentrazione di SO<sub>2</sub> - anno 2007



Al fine di valutare i contributi alle concentrazioni totali delle sorgenti considerate nelle simulazioni (cementificio e traffico stradale), si sono calcolate le concentrazioni prodotte dalle varie sorgenti in corrispondenza di alcuni punti specifici. Tali concentrazioni sono state rapportate alle concentrazioni totali. Si riporta di seguito una mappa con i punti presi in considerazione.

Figura 22: localizzazione dei punti di controllo nel territorio di Fumane



I risultati ottenuti nella simulazione annuale sono riportati nella tabella seguente.

Tabella 23: contributo delle singole sorgenti nei punti di controllo alla concentrazione totale stimata di PM<sub>10</sub> e NO<sub>2</sub>: periodo di riferimento 01.01 – 31.12.2007

PM <sub>10</sub>					
Ricettore	Tot (µg/m <sup>3</sup> )	Cementificio (µg/m <sup>3</sup> )	Traffico (µg/m <sup>3</sup> )	Cementificio (%)	Traffico (%)
Piscine	26.23	6.45	0.02	24.6	0.1
Loc.Isola	20.71	0.57	0.37	2.8	1.8
Scuole	21.17	0.76	0.64	3.6	3.0
via Ponte Vaio	20.86	0.79	0.24	3.8	1.1
piazza Solinas	20.00	0.23	0.01	1.1	0.1
Punto 1	20.83	1.04	0.01	5.0	0.1

NO <sub>2</sub>					
Ricettore	Tot (µg/m <sup>3</sup> )	Cementificio (µg/m <sup>3</sup> )	Traffico (µg/m <sup>3</sup> )	Cementificio (%)	Traffico (%)
Piscine	28.28	13.22	0.29	46.8	1.0
Loc.Isola	20.63	2.15	4.25	10.4	20.6
Scuole	23.23	3.38	5.83	14.6	25.1
via Ponte Vaio	22.40	3.87	3.99	17.3	17.8
piazza Solinas	16.82	1.74	1.06	10.3	6.3
Punto 1	17.98	2.76	1.29	15.4	7.1

Da tali dati si vede come il contributo del cementificio alle concentrazioni di PM<sub>10</sub> resti abbastanza contenuto, ad esclusione del punto in corrispondenza delle piscine dove si ha un contributo del 24.6%. Il contributo del traffico resta invece sempre molto contenuto e i valori maggiori (da 1.1 a 3.0%) si trovano in corrispondenza dei punti più prossimi alle strade.

Per quanto riguarda l'NO<sub>2</sub>, invece, in prossimità delle strade il contributo del traffico è maggiore di quello del cementificio.

Il contributo maggiore del cementificio si ha presso le piscine (46.8%).

### Individuazione di situazioni critiche

Nel periodo 08/08/2007 – 19/08/2007 sono state misurate concentrazioni di biossido di azoto, mediamente più alte che nei periodi precedenti. Per valutare l'incidenza delle emissioni dei camini dei forni del cementificio sulle concentrazioni rilevate nella campagna di monitoraggio sono state effettuate diverse stime di dispersione di breve periodo nei giorni in cui il fenomeno è stato più accentuato.

In Tabella 24 sono riportate a titolo esemplificativo le concentrazioni di NO<sub>2</sub> misurate in via Vaio, alle ore 18 e alle ore 20 del giorno 17 agosto: come si può notare è stata rilevata una notevole differenza fra i valori di concentrazione corrispondenti alle ore centrali della giornata e quelli relativi alle ore serali e notturne. Si veda a tale proposito l'andamento del giorno tipo delle concentrazioni di NO<sub>2</sub> riportato in Figura 19. Tale differenza può essere attribuita alle emissioni del cementificio e alla direzione del vento che nelle ore centrali della giornata spira da Sud e nelle ore serali e notturne proviene da Nord. Alle ore 18.00 la principale fonte emissiva è costituita dall'arteria stradale, alle ore 20.00 diventa significativo il contributo del cementificio.

Come si può notare dalla Tabella 25, nei giorni precedenti, in cui le emissioni dei singoli camini del cementificio sono comprese fra 600 e 800 mg/m<sup>3</sup>, il contributo del cementificio alla concentrazione misurata rimane significativo, ma decisamente più contenuto.

**Tabella 24: concentrazioni di biossido di azoto misurate e stimate in località via Vaio nel giorno 17 agosto alle ore 18 e alle ore 20.**

NO <sub>2</sub>					
Data	Ora	Valore misurato (µg)	Valore di fondo (µg)	Valore misurato - valore di fondo (µg)	Contributo del cementificio - stimato (µg)
17/08/07	18.00	6*	/	0	0.5 - 1.0
	20.00	98	10	88	50 - 80

\*valore comparabile con il valore di fondo

**Tabella 25: concentrazioni di biossido di azoto misurate e stimate in località Isola nel giorno 28 luglio alle ore 8 e alle ore 12.**

NO <sub>2</sub>					
Data	Ora	Valore misurato (µg)	Valore di fondo (µg)	Valore misurato - valore di fondo (µg)	Contributo del cementificio - stimato (µg)
28/07/07	8.00	21	8	13	10 - 25
	12.00	16	15	1	0.0 - 1.0

Nei giorni 17-19 agosto le emissioni di uno dei forni del cementificio sono state superiori alla media (circa 1100 mg/m<sup>3</sup>), pur rimanendo all'interno dei valori autorizzati, inoltre anche le condizioni meteorologiche hanno favorito la dispersione degli inquinanti verso Sud.

Le rose dei venti riportate in Figura 23 mostrano la differenza anemologica fra i due periodi di monitoraggio: a luglio i venti provenienti da Nord sono stati più deboli e meno frequenti, al contrario nel mese di agosto i venti da Nord hanno intensità maggiore e si presentano con maggiore frequenza.

Aumento delle emissioni e differenza nell'andamento anemologico hanno determinato un aumento delle concentrazioni di NO<sub>2</sub> in particolare nella zona Est dell'abitato come si può vedere dalle mappe di dispersione di Figura 25.

Figura 23: rose dei venti relative al periodo 17/07-07/08 a sx, al periodo 7/08 – 19/08 a dx

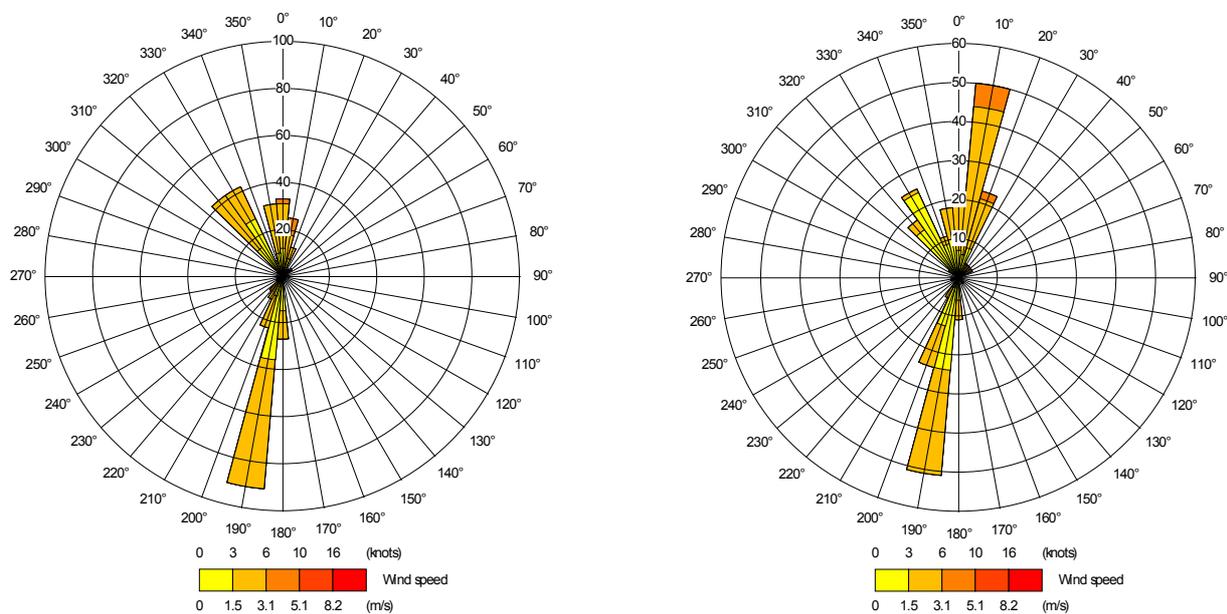


Figura 24: stima delle concentrazioni di NO<sub>2</sub> alle ore 18 del giorno 17 agosto.

17/08/07 ore 18.00

NO<sub>2</sub>

- cementificio
- sorgente stradale
- punti di misura

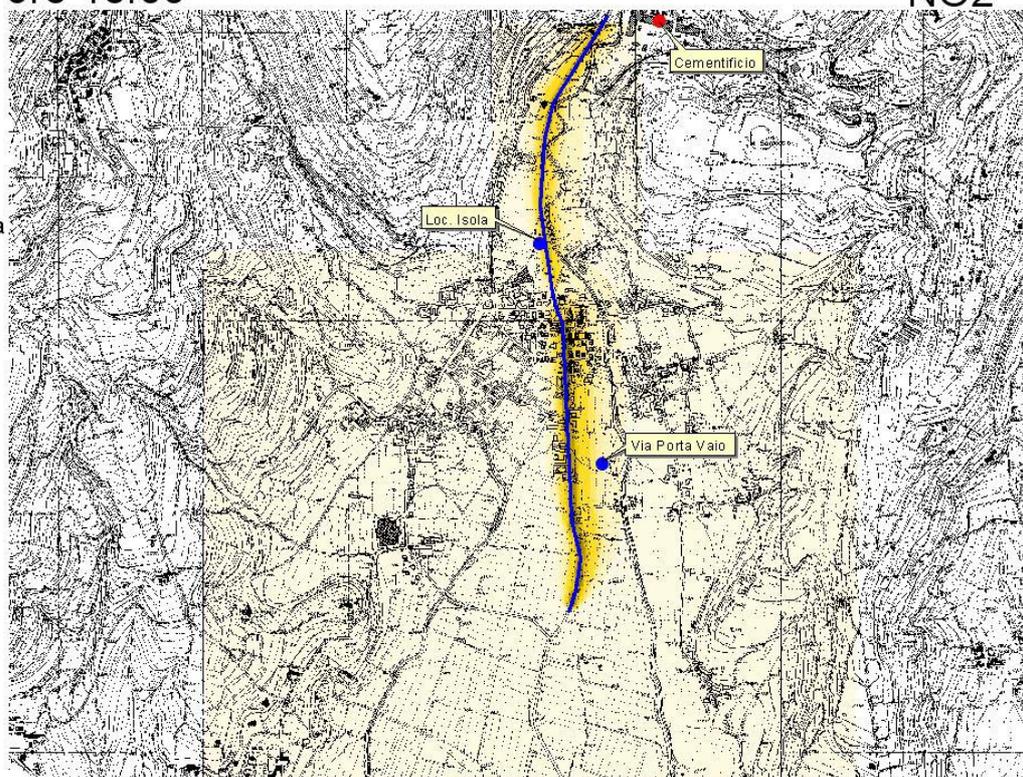
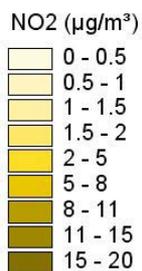
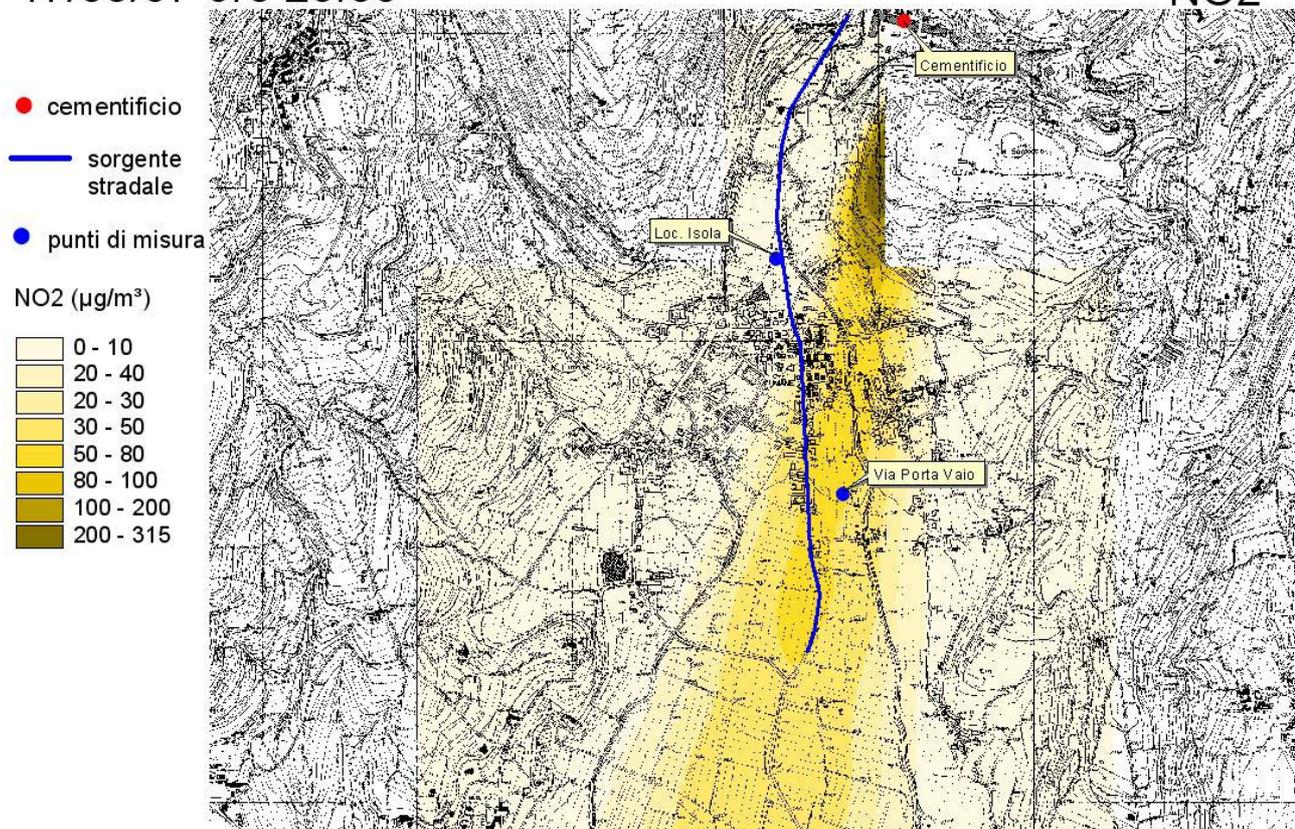


Figura 25: stima delle concentrazioni di NO<sub>2</sub> alle ore 20 del giorno 17 agosto.

17/08/07 ore 20.00

NO<sub>2</sub>



Dall'analisi statistica precedentemente effettuata e dall'analisi di questa situazione particolare manifestatasi in agosto 2007 emerge che, per quanto riguarda gli ossidi di azoto, di cui il cementificio risulta essere nell'area in esame la principale sorgente, le situazioni particolarmente critiche per il centro abitato di Fumane si manifestano con vento intenso proveniente da Nord.

Si è quindi andati a valutare con che frequenza si presentano in un anno tali situazioni critiche e quanto esse si discostano dalla situazione media annuale precedentemente presentata. L'analisi è stata effettuata sui dati orari dell'anno 2007.

Si riporta di seguito una tabella con la frequenza con cui si presentano le situazioni critiche che stiamo indagando (vento superiore a 3 m/s, proveniente da Nord). Si riporta per completezza anche il numero di eventi caratterizzati da vento superiore a 3 m/s proveniente da Sud.

Tabella 26: frequenza degli episodi con velocità del vento maggiore o uguale a 3 m/s - anno 2007

Velocità del vento (m/s)	Frequenza – vento da Nord	Frequenza – vento da Sud
3	418	15
4	83	0
5	23	0
6	8	0
7	4	0
<b>Somma</b>	<b>536</b>	<b>15</b>

Da tali risultati si vede che le ore in cui la velocità del vento è maggiore o uguale a 3 m/s sono caratterizzate per la quasi totalità da vento proveniente da Nord. Solo in 15 casi la direzione di provenienza del vento è stata il Sud. Per entrambe le direzioni di provenienza il maggior numero di eventi è associato ad una velocità del vento di 3 m/s.

Per verificare come la dispersione delle sostanze inquinanti (del biossido di azoto, nello specifico) si distribuisce sul territorio di Fumane, si è andati ad individuare delle giornate nell'anno 2007 caratterizzate da vento particolarmente intenso proveniente da nord. Per tali giornate si sono effettuate delle simulazioni long term e short term.

I giorni individuati ricadono uno nel periodo freddo dell'anno, l'altro nel periodo estivo. Nello specifico i giorni individuati sono: il 10/07/2007 e il 15/11/2007.

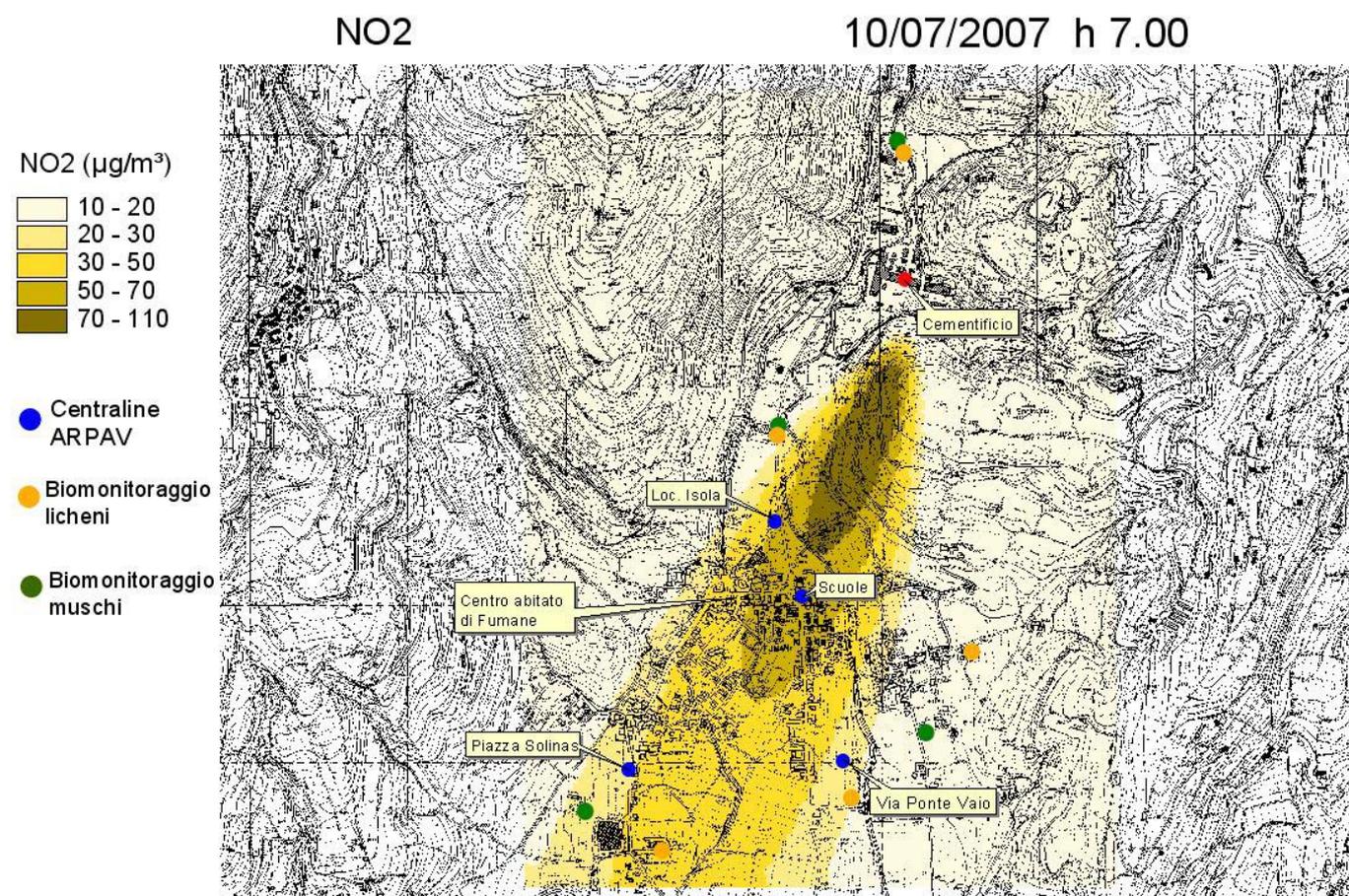
Il giorno di novembre è stato caratterizzato da un vento costantemente proveniente da nord e con intensità relativamente elevata. Si sono raggiunti i 6-7 m/s nelle prime ore della mattina.

Il giorno di luglio, invece, è stato caratterizzato da vento proveniente da nord, ad eccezione delle ore pomeridiane caratterizzate da vento da Sud.

Si sono effettuate le seguenti mappe relative all' $\text{NO}_2$ : per il giorno 15/11/2007 mappa della simulazione long term e short term per le ore 8 e 13 (vento da nord rispettivamente a 7 e 3 m/s); per il giorno 10/07/2007 mappa della simulazione long term e short term per le ore 7 e 12 (vento da Nord rispettivamente a 5 e 3 m/s). Nelle mappe è rappresentato il contributo del cementificio e del background.

Si riporta di seguito una mappa esemplificativa. Le altre sono riportate in Allegato II.

Figura 26: stima delle concentrazioni di  $\text{NO}_2$  alle ore 7.00 del giorno 10 luglio.



Sia nelle ore specifiche analizzate sia nelle simulazioni long term che riproducono la situazione media del giorno, si vede che la dispersione degli inquinanti prodotti dal cementificio interessa il centro abitato di Fumane.

A seconda della velocità del vento la zona di massimo investe in misura maggiore o minore la zona abitata: alle velocità più basse le concentrazioni massime interessano l'area compresa tra il cementificio e l'inizio della zona abitata, all'aumentare della velocità la zona di massimo interessa sempre di più il centro abitato, fino ad arrivare

alle velocità più elevate in cui i valori di concentrazione sull'abitato di Fumane diminuiscono in quanto le sostanze inquinanti tendono ad essere trasportate oltre il paese.

Presso ricettori specifici distribuiti nell'area del comune di Fumane (vedi Figura 26), si è andati a valutare il contributo del cementificio rispetto alla concentrazione totale di NO<sub>2</sub> e il suo incremento rispetto alla situazione annuale media.

I risultati ottenuti sono riportati in Tabella 27:

**Tabella 27: NO<sub>2</sub> - contributo del cementificio nelle situazioni critiche**

<b>NO<sub>2</sub></b>	<b>Ricettore</b>	<b>Totale (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Contributo cementificio (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Contributo cementificio (%)</b>
	loc.Isola	33.70	22.11	65.6
10/07/2007 - LT	scuole	42.80	30.78	71.9
	via Ponte Vaio	26.86	14.72	54.8
	piazza Solinas	22.65	11.63	51.3
	loc.Isola	52.34	40.91	78.2
10/07/2007 - h. 7	scuole	63.71	52.70	82.7
	via Ponte Vaio	24.52	13.52	55.1
	piazza Solinas	28.78	17.74	61.7
	loc.Isola	28.72	17.44	60.7
15/11/2007 - LT	scuole	43.63	32.80	75.2
	via Ponte Vaio	28.70	17.78	62.0
	piazza Solinas	22.13	11.41	51.5
	loc.Isola	18.86	7.78	41.2
15/11/2007 - h. 8	scuole	38.29	27.57	72.0
	via Ponte Vaio	32.63	21.92	67.2
	piazza Solinas	13.91	3.19	22.9
	<b>loc.Isola</b>	<b>20.63</b>	<b>2.15</b>	<b>10.4</b>
<b>media annuale - 2007</b>	<b>scuole</b>	<b>23.23</b>	<b>3.38</b>	<b>14.6</b>
	<b>via Ponte Vaio</b>	<b>22.40</b>	<b>3.87</b>	<b>17.3</b>
	<b>piazza Solinas</b>	<b>16.82</b>	<b>1.74</b>	<b>10.3</b>

Dalla precedente tabella si vede che in tutte le situazioni critiche analizzate il contributo del cementificio è maggiore rispetto alla situazione media: nella situazione media esso è compreso tra il 10 e il 17%, mentre nelle situazioni critiche analizzate varia tra il 23 e l'82%.

Dunque confrontando il contributo del cementificio nelle situazioni critiche con il contributo medio annuale al valore totale di concentrazione di PM<sub>10</sub>, si vede che tale contributo aumenta da 2 a 7 volte.

## Biomonitoraggio dei licheni

Il biomonitoraggio si basa sostanzialmente 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.

La tecnica di biomonitoraggio che utilizza come indicatori biologici i licheni epifiti (che crescono sulla corteccia degli alberi) 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.

Le alterazioni indotte dall'inquinamento atmosferico sui licheni epifiti si possono manifestare a tre differenti livelli:

- fisiologico:
  - depressione generale della fotosintesi a causa del danneggiamento della clorofilla;
  - riduzione della respirazione cellulare a causa delle alterazioni a livello di membrana cellulare con conseguente modificazione della permeabilità agli ioni;
  - riduzione della fissazione del carbonio durante il processo fotosintetico;
  - evidente riduzione della fertilità;
- morfologico: l'esposizione continua alle sorgenti inquinanti provoca un progressivo peggioramento delle condizioni di salute con riduzione del tallo lichenico;
- ecologico: generale diminuzione della copertura di specie ed alterazione della composizione della comunità lichenica.

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).

Per il rilievo dei licheni epifiti è previsto il posizionamento sul tronco dell'albero di un reticolo di campionamento costituito da 4 subunità, ciascuna formata da una serie lineare di cinque quadrati di 10x10 cm, che devono essere disposte verticalmente sul tronco e orientate sui 4 punti cardinali. La frequenza delle specie rilevate permette la definizione del valore di BLs da cui, utilizzando una scala di interpretazione (scala di naturalità/alterazione), 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 28: 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

Nell'area studiata, a causa della carenza di forofiti, non sempre è stato possibile individuare 3 o 4 alberi con caratteristiche idonee per i rilievi lichenici. Sono stati quindi monitorati gli alberi disponibili ed 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. Il valore di BL può essere usato per verificare, a distanza di tempo, se sono intervenuti fattori in grado di modificare la comunità delle specie licheniche e non può essere confrontato con la scala di naturalità/alterazione.

## Risultati

- **Stazione n. 1** Comune: Marano di Valpolicella, Località Due Molini  
Data biomonitoraggio: 27/12/07  
Valore di Biodiversità Lichenica (BL) del forofita: 37

**Commento:** nel sito individuato è stato monitorato un solo albero per mancanza di altri forofiti idonei. La specie lichenica dominante è *Opegrapha atra* che generalmente si trova in ambito boschivo o in ambienti umidi per le sue esigenze igriche, come in questo caso.

Il risultato è stato espresso come “Valore di Biodiversità Lichenica (BL)” e non come Indice di Biodiversità Lichenica (BLs) poiché è stato monitorato un solo albero. Tale valore può comunque essere utilizzato per verificare se a distanza di tempo sono intervenuti fattori in grado di modificare la comunità delle specie licheniche.

- **Stazione n. 2** Comune: Fumane, Località Piscine Cementirosi  
Data biomonitoraggio: 27/12/07  
Indice di Biodiversità Lichenica (BLs) del sito: 58.33

**Commento:** nel sito individuato sono stati monitorati tre alberi.

La maggior parte delle specie licheniche individuate in questa stazione fa parte dell'unità vegetazionale dello Xanthorion che è comune in ambienti antropizzati.

In questa stazione si è potuto definire l'Indice di Biodiversità Lichenica (BLs) per disponibilità di alberi idonei. Il risultato ottenuto si colloca nel 5° livello della scala di naturalità/alterazione corrispondente ad un giudizio di **naturalità media**.

- **Stazione n. 3** Comune Fumane, Via A. Volta -Villa  
Data biomonitoraggio: 03/03/08  
Indice di Biodiversità Lichenica (BLs): 52

**Commento:** anche in questa stazione si è potuto definire l'Indice di Biodiversità Lichenica (BLs) per disponibilità di alberi idonei e, come nel caso della stazione precedente, la maggior parte dei licheni rilevati fa parte dell'unità vegetazionale dello Xanthorion, tipica degli ambienti antropizzati. L'Indice di Biodiversità Lichenica ottenuto si colloca nel 5° livello della scala di naturalità/alterazione corrispondente ad un giudizio di **naturalità media**.

- **Stazione n. 4** Comune Fumane, Enoteca  
Data biomonitoraggio: 26/02/08  
Indice di Biodiversità Lichenica (BLs): 75.66

**Commento:** nel sito individuato sono stati monitorati tre alberi e quindi anche in questo caso si è potuto definire l'Indice di Biodiversità Lichenica (BLs). Le specie individuate sono per la maggior parte appartenenti all'unità vegetazionale dello Xanthorion, frequente negli ambienti antropizzati.

Si evidenzia comunque un Indice di Biodiversità Lichenica che si colloca tra il 6° e il 7° livello della scala di naturalità/alterazione corrispondenti rispettivamente ad un giudizio di **naturalità medio alta** e **naturalità alta**. L'elevato valore di BLs è da attribuire non tanto al numero di specie licheniche rilevate, che risulta simile a quello delle altre stazioni, ma alla percentuale di copertura che in questa stazione è risultata essere la più alta.

- **Stazione n. 5** Comune Fumane, Via Ponte Vaio  
Data biomonitoraggio: 31/03/06  
Valore di Biodiversità Lichenica (BL) del sito: 64

**Commento:** in questa stazione sono stati monitorati soltanto due alberi e si è potuto definire il Valore di Biodiversità Lichenica (BL), ma non l'Indice di Biodiversità Lichenica (BLs), per mancanza di altri forofiti idonei. Si può comunque ritenere che il dato rilevato sia indicativo di una situazione di naturalità medio alta visto che i valori di BL trovati per i due alberi sono quasi uguali. In ogni caso i rilievi effettuati possono essere utilizzati per verificare se a distanza di tempo siano intervenuti fattori in grado di modificare la comunità delle specie licheniche.

- **Stazione n. 6** Comune Fumane, Ferramenta-Colorificio  
Data biomonitoraggio: 18/02/08  
Indice di Biodiversità Lichenica (BLs) del sito: 38.5

**Commento:** in questa stazione si è potuto definire l'Indice di Biodiversità Lichenica per disponibilità di alberi idonei. Il risultato ottenuto si colloca nel 4° livello della scala di naturalità/alterazione corrispondente ad un giudizio di **alterazione bassa/ naturalità bassa**. E' doveroso segnalare che molto probabilmente tale valore è da attribuire al

movimento veicolare che interessa il cortile del punto vendita. Infatti i forofiti monitorati sono influenzati dal sollevamento di polveri che si genera al transito degli automezzi.

Si riportano in Allegato III le schede IBL relative alle stazioni di monitoraggio.

## Conclusioni

Complessivamente si può dire che le stazioni ritenute significative per il monitoraggio sono la n.2, la n.3, la n. 4 e la n. 5. Due di queste stazioni (n.2, n.3) si collocano nel 5° livello della scala di naturalità/alterazione corrispondente ad uno stato di **naturalità media**; per quanto riguarda la stazione n.5, anche se non è stato definito l'Indice ma solo il Valore di Biodiversità Lichenica per presenza di soli forofiti, il risultato ottenuto è in linea con quanto emerso nelle stazioni n.2 e n.3 ed è ragionevole dedurre, vista la buona ripetibilità dei rilievi dei due alberi, che anche per questo sito valgano le condizioni di naturalità media. La stazione n.4 ha avuto l'Indice di Biodiversità Lichenica più elevato di tutta l'area studiata e si colloca tra il 6° e il 7° livello della scala di naturalità/alterazione corrispondenti a **naturalità medio alta** e **naturalità alta**.

Il dato ottenuto dai rilievi effettuati sulla stazione n.1 non è significativo in quanto relativo ad un solo forofita situato al limite del bosco e a ridosso di un'altura e pertanto ritenuto non idoneo.

La stazione n.6, nella quale sono stati rilevati 4 forofiti, ha dato l'Indice di Biodiversità Lichenica più basso corrispondente al 4° livello della scala di naturalità/alterazione con un giudizio di **alterazione bassa/ naturalità bassa**. Da osservazioni fatte sul luogo si ritiene che il dato relativo a questa stazione sia fortemente influenzato dal movimento dei veicoli aziendali perciò questo indice non viene considerato rappresentativo.

**Tabella 29: abbondanza percentuale delle specie licheniche**

Specie	abbondanza
<i>Amandinea punctata</i>	0.46
<i>Arthonia radiata</i>	1.26
<i>Caloplaca cerinella</i>	0.34
<i>Caloplaca pyracea</i>	0.46
<i>Candelaria concolor</i>	28.31
<i>Candelariella reflexa</i>	0.34
<i>Candelariella xanthostigma</i>	0.46
<i>Crostoso spp</i>	0.11
<i>Grapis scripta</i>	0.34
<i>Hyperphyscia adglutinata</i>	9.70
<i>Lecania cyrtella</i>	3.31
<i>Lecanora chlarotera</i>	0.11
<i>Lecanora gr. carpinea</i>	0.34
<i>Lecidella elaeochroma</i>	1.37
<i>Opegrapha atra</i>	2.17
<i>Opegrapha spp</i>	1.37
<i>Parmelia caperata</i>	0.11
<i>Pertusaria spp</i>	0.91
<i>Phaeophyscia chloantha</i>	5.59
<i>Phaeophyscia hirsuta</i>	0.34
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>	27.97
<i>Physcia adscendens</i>	7.88
<i>Physconia grisea</i>	0.11
<i>Xanthoria fallax</i>	0.46
<i>Xanthoria parietina</i>	6.16

Nella tabella a fianco sono riportate le abbondanze delle specie licheniche rinvenute nell'area studiata, espresse in percentuale calcolata in riferimento al totale delle frequenze di tutti i rilievi.

Le specie più abbondanti sono *Candelaria concolor* e *Phaeophyscia orbicularis* che normalmente si insediano su substrati neutro-basici ed eutrofizzati.

Si è cercata una correlazione tra quanto emerso dal biomonitoraggio dei licheni e la dispersione media annuale dell'inquinamento da biossido di azoto.

Si riporta di seguito una mappa riportante la figura di dispersione dell'NO<sub>2</sub> ottenuta dalla simulazione sull'intero anno 2007 e la posizione di alcune delle stazioni in cui è stato eseguito il biomonitoraggio dei licheni, colorate a seconda del risultato ottenuto e in relazione alla scala dell'indice BL sopra riportata.

Si riporta inoltre una tabella contenente, oltre all'indice di biodiversità lichenica relativo a ciascuna stazione considerata, anche i valori di concentrazione di NO<sub>2</sub> e PM<sub>10</sub> ottenuti dalla simulazione.

Figura 26: indice di biodiversità lichenica correlato alla dispersione media annuale di NO<sub>2</sub>

## Biomonitoraggio dei licheni

## NO<sub>2</sub>

## Anno 2007

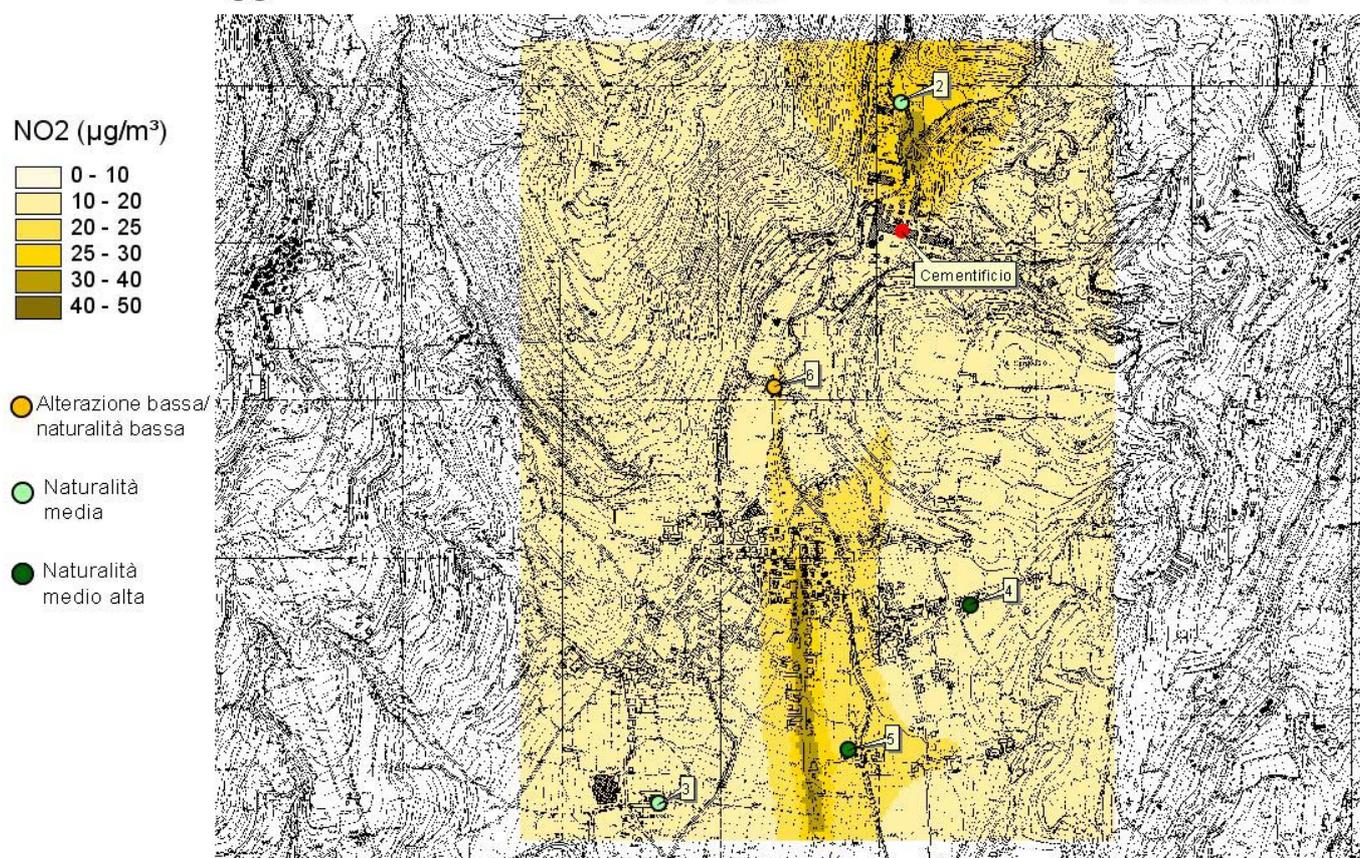


Tabella 30: indice di biodiversità lichenica correlato alla dispersione media annuale di NO<sub>2</sub>

Stazione di biomonitoraggio	BL	BL stazione	Giudizio	NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
2	46 – 60	58.33	Naturalità media	29.7	26.9
3	46 – 60	52.00	Naturalità media	17.4	20.1
4	61- 75	75.67	Naturalità medio alta	17.9	20.9
5	61- 75	63.5	Naturalità medio alta	23.4	21.0
6	31- 45	38.5	Alterazione bassa/ naturalità bassa	21.0	20.8

Si precisa che il valore ottenuto per la stazione di biomonitoraggio 5 risulta essere solamente indicativo, in quanto ricavato mediando il risultato del monitoraggio su due soli alberi.

I valori di biodiversità lichenica ottenuti sembrano rispecchiare bene la distribuzione dei principali inquinanti gassosi sul territorio. Se si esclude il punto n. 6 (colorificio) il cui valore è molto probabilmente alterato da emissioni dovute alla movimentazione di mezzi pesanti, l'indice di biodiversità lichenica delle altre stazioni è ben correlato con i valori di concentrazione di biossido di azoto e PM<sub>10</sub> ottenuti dall'analisi modellistica. La stazione n. 4 (loc. Osan) ha l'indice BL più elevato e si trova infatti su un lato della valle poco interessato dalle emissioni del cementificio, la stazione n. 2 (piscine) è direttamente interessata dalle ricadute del cementificio e mostra infatti uno degli indici più bassi, la stazione n. 5 (via Bertarole) ha un valore BL intermedio fra la n. 4 e la n. 2 e si colloca infatti in una zona interessata dalle emissioni del cementificio, anche se in misura minore rispetto alle piscine. Il valore relativamente basso di indice BL trovato nella stazione n. 3 può essere legato sia all'attività agricola sia alla presenza di un'ulteriore fonte di pressione, la ditta Exide.

### **Analisi della contaminazione fogliare da metalli pesanti**

Nella prima metà del mese di luglio, sono stati effettuati campionamenti di foglie delle specie coltivate maggiormente presenti nel territorio di Fumane e sono state sottoposte ad analisi per determinarne la concentrazione di metalli.

La concentrazione elementare nelle piante non è un dato statico, ma bensì dinamico, in quanto mostra delle variazioni che dipendono dall'organo della pianta, dalla sua età, dall'epoca fenologica in cui il tessuto fogliare è stato raccolto ed anche da fattori spaziali, quali ad esempio l'esposizione alle radiazioni luminose. La presenza di elevate concentrazioni di alcuni elementi nei tessuti di foglie o aghi può essere indicativa di tossicità e dell'eccessiva immissione dell'elemento nell'ecosistema.

La ricerca effettuata non può, quindi, essere considerata esaustiva, ma solo indicativa della presenza o meno di alcuni composti.

**Tabella 31: concentrazione elementare (in mg/Kg) in campioni di foglie di essenze diverse prelevate sul territorio del comune di Fumane**

matrice	Luogo di campionamento	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	As	Co	Mn
olivo	exide	< 0.1	3.39	< 0.1	0.39	3.06	31.90	<0.1	<0.1	11.7
ciliegio	Via Vaio	< 0.1	391.0	0.29	1.47	< 0.1	9.12	< 0.1	< 0.1	8.82
vite	cementificio	< 0.1	208	< 0.1	0.83	0.28	13.06	<0.1	<0.1	15.56
noce	piscine	< 0.1	10.60	< 0.1	0.88	< 0.1	5.59	<0.1	<0.1	31.18
ciliegio	Campi sportivi	< 0.1	98.80	< 0.1	0.63	< 0.1	10.0	<0.1	<0.1	14.38
fico	Valle dei progni	< 0.1	12.70	< 0.1	0.68	< 0.1	3.24	<0.1	<0.1	10.28

Solo alcuni elementi chimici possono essere assunti dalla pianta a livello fogliare, in particolare: carbonio, zolfo, ossigeno, azoto, fluoro. Altri elementi possono essere adsorbiti dalla superficie fogliare, l'assunzione dipende dalle caratteristiche chimiche della sostanza, dalla pianta e può essere modulata da fattori ambientali. I contaminanti legati alle particelle, come metalli pesanti e composti organici non volatili, si depositano sulla superficie e possono essere adsorbiti alla cuticola, inglobati in essa o assunti attraverso di essa. Elementi come cromo, rame, ferro, mercurio, nichel e piombo si accumulano nella cuticola, non così elementi come magnesio, potassio, calcio, cadmio e zinco.

Nei campioni esaminati non sono state trovate concentrazioni significative di cadmio (Cd), arsenico (As) e cobalto (Co).

In tutti i campioni sono state trovate concentrazioni significative di rame (Cu), anche nelle foglie di essenze normalmente non trattate con poltiglia bordolese o altri fungicidi a base di rame, quali noce e fico, a causa del diffuso uso di questo tipo di prodotti in agricoltura. Il manganese è un costituente naturale del terreno, la differenza di concentrazione fra le diverse essenze è quindi probabilmente legata al diverso tipo di metabolismo.

Il piombo è presente solo in due campioni, prelevati presso la ditta Exide e presso il cementificio: la presenza di piombo nell'ambiente può essere legata a diversi fattori quali la presenza di attività industriali che utilizzano il piombo, l'uso di alcuni rodicidi e insetticidi.

Nichel (Ni) e zinco (Zn) sono presenti in tutti i campioni analizzati.



Agenzia Regionale per la Prevenzione  
e Protezione Ambientale del Veneto



REGIONE DEL VENETO

### **Considerazioni finali**

L'utilizzo di diversi metodi di indagine, dal monitoraggio con laboratorio mobile all'analisi statistica dei dati storici di misura, dall'analisi del processo produttivo al biomonitoraggio, ha permesso di individuare e circoscrivere il contributo delle principali fonti di pressione all'inquinamento atmosferico rilevato nella valle di Fumane.

Episodi critici di concentrazione di polveri sottili in aria sono stati individuati e studiati, l'analisi del particolare regime anemologico presente nella valle ha poi permesso di quantificare il contributo delle sorgenti esterne al comune, poste a Sud, da quelle interne, situate a Nord dell'abitato.

Particolare attenzione è stata dedicata alla presenza di metalli ed altre elementi in tracce in diverse matrici ambientali: nelle polveri aerodisperse, nei muschi trapiantati e nelle foglie dei principali forofiti. La maggior parte degli elementi è presente in tracce, inoltre il confronto fra i dati di concentrazione di metalli relativi al PM<sub>10</sub> e quelli relativi al PM<sub>2.5</sub> ha permesso di circoscrivere alla frazione più grossolana delle polveri sottili (quella compresa fra 10 e 2.5 µm) la presenza della maggior parte degli elementi indagati.

Dalla valutazione della biodiversità lichenica è emerso come la maggior parte delle stazioni situate in valle, e quindi più direttamente interessate dalle emissioni del cementificio, si trova in uno stato di naturalità media, la stazione meno interessata dalle emissioni sia di traffico che del cementificio si trova fra lo stato di naturalità medio alta e quello di naturalità alta.

Un elemento di possibile criticità è emerso dai risultati del biomonitoraggio nella zona posta immediatamente a Sud e a Nord della ditta Exide: tali dati puntuali non permettono di trarre conclusioni in merito all'impatto di questa industria sul territorio circostante. Una valutazione di questo tipo richiederebbe ulteriori indagini mirate.

## Allegato I - Normativa

Si fa riferimento al Decreto Ministeriale 2 aprile 2002, n. 60, entrato in vigore il 28 aprile 2002, per PM<sub>10</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, benzene e SO<sub>2</sub>.

Nella fase transitoria del DM 60/02, fino alla data di entrata in vigore del valore limite non aumentato 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'NO<sub>2</sub>.

**Tabella 32** – Limiti di legge relativi all'esposizione acuta.

Inquinante	Tipologia	Valore	Riferimento legislativo
SO <sub>2</sub>	Soglia di allarme*	500 µg/m <sup>3</sup>	DM 60/02
SO <sub>2</sub>	Limite orario da non superare più di 24 volte per anno civile	350 µg/m <sup>3</sup>	DM 60/02
SO <sub>2</sub>	Limite di 24 h da non superare più di 3 volte per anno civile	125 µg/m <sup>3</sup>	DM 60/02
NO <sub>2</sub>	Soglia di allarme*	400 µg/m <sup>3</sup>	DM 60/02
NO <sub>2</sub>	Limite orario da non superare più di 18 volte per anno civile	1 gennaio 2005: 250 µg/m <sup>3</sup> 1 gennaio 2006: 240 µg/m <sup>3</sup> 1 gennaio 2007: 230 µg/m <sup>3</sup> 1 gennaio 2008: 220 µg/m <sup>3</sup> 1 gennaio 2009: 210 µg/m <sup>3</sup> 1 gennaio 2010: 200 µg/m <sup>3</sup>	DM 60/02
PM <sub>10</sub> Fase 1	Limite di 24 h da non superare più di 35 volte per anno civile	1 gennaio 2005: 50 µg/m <sup>3</sup>	DM 60/02
CO	Massimo giornaliero della media mobile di 8 h	1 gennaio 2005: 10 mg/m <sup>3</sup>	DM 60/02
O <sub>3</sub>	Soglia di informazione Media 1 h	180 µg/m <sup>3</sup>	D.lgs. 183/03
O <sub>3</sub>	Soglia di allarme Media 1 h	240 µg/m <sup>3</sup>	D.lgs. 183/03
Fluoro	Media 24 h	20 µg/m <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup>	DPCM 28/03/83

- misurato per 3 ore consecutive in un sito rappresentativo della qualità dell'aria in un'area di almeno 100 Km<sup>2</sup>, oppure in un'intera zona o agglomerato nel caso siano meno estesi.

**Tabella 33** - Limiti di legge relativi all'esposizione cronica.

Inquinante	Tipologia	Valore	Riferimento legislativo	Note
NO <sub>2</sub>	98° percentile delle concentrazioni medie di 1h rilevate durante l'anno civile	200 µg/m <sup>3</sup>	DPCM 28/03/83 e succ.mod.	In vigore fino al 31/12/2009
NO <sub>2</sub>	Valore limite annuale per la protezione della salute umana Anno civile	1 gennaio 2005: 50 µg/m <sup>3</sup> 1 gennaio 2006: 48 µg/m <sup>3</sup> 1 gennaio 2007: 46 µg/m <sup>3</sup> 1 gennaio 2008: 44 µg/m <sup>3</sup> 1 gennaio 2009: 42 µg/m <sup>3</sup> 1 gennaio 2010: 40 µg/m <sup>3</sup>	DM 60/02	
O <sub>3</sub>	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 <sup>3</sup>	D.lgs. 183/03	In vigore dal 2010. Prima verifica nel 2013
O <sub>3</sub>	Obiettivo a lungo termine per la protezione della salute Media su 8 h massima giornaliera	120 µg/m <sup>3</sup>	D.lgs. 183/03	
PM <sub>10</sub> Fase 1	Valore limite annuale Anno civile	1 gennaio 2005: 40 µg/m <sup>3</sup>	DM 60/02	
Piombo	Valore limite annuale per la protezione della salute umana Anno civile	1 gennaio 2005: 0.5 µg/m <sup>3</sup>	DM 60/02	
Fluoro	Media delle medie di 24 h rilevate in 1 mese	10 µg/m <sup>3</sup>	DPCM 28/03/83	
Benzene	Valore limite annuale per la protezione della salute umana Anno civile	1 gennaio 2005: 10 µg/m <sup>3</sup> 1 gennaio 2006: 9 µg/m <sup>3</sup> 1 gennaio 2007: 8 µg/m <sup>3</sup> 1 gennaio 2008: 7 µg/m <sup>3</sup> 1 gennaio 2009: 6 µg/m <sup>3</sup> 1 gennaio 2010: 5 µg/m <sup>3</sup>	DM 60/02	
B(a)pirene	Obiettivo di qualità Media mobile annuale	1 ng/m <sup>3</sup>	D.lgs. 152/07	

**Tabella 34** -Limiti di legge per la protezione degli ecosistemi.

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



Agenzia Regionale per la Prevenzione  
e Protezione Ambientale del Veneto



REGIONE DEL VENETO

Dipartimento Provinciale ARPAV di Verona  
Via Dominutti,8  
37138 Verona  
Italy  
Tel. +39 045 8016 906  
Fax +39 045 8016 888  
e-mail: [dapvr@arpa.veneto.it](mailto:dapvr@arpa.veneto.it)

giugno 2008



Agenzia Regionale per la Prevenzione  
e Protezione Ambientale del Veneto



REGIONE DEL VENETO