



**Indagine epidemiologica sullo stato di salute respiratoria della
popolazione residente in due comuni della fascia pedemontana
veronese: Fumane e Mezzane di Sotto.**

*Associazione tra livelli giornalieri di inquinamento e
assenze scolastiche nel comune di Fumane*

data: 11/11/2011

Indice

Introduzione.....	3
Materiali e metodi.....	5
• I dati sulle assenze scolastiche.....	5
• Controllo qualitativo dei dati di assenza scolastica.....	6
• I dati sull'inquinamento atmosferico.....	6
• Potenziali confondenti.....	7
• Analisi statistica.....	8
• Potenza statistica dello studio.....	10
Risultati.....	11
• L'inquinamento atmosferico nel comune di Fumane.....	11
• Le assenze scolastiche.....	11
• Analisi di associazione tra inquinamento e assenze scolastiche.....	12
• Considerazioni sull'adattamento dei modelli.....	13
Conclusioni.....	14
Tabelle.....	17
Figure.....	24
Bibliografia.....	27

Introduzione

L'inquinamento atmosferico può determinare molteplici effetti negativi sulla salute dei soggetti esposti. Per la sua natura ubiquitaria l'inquinamento coinvolge fasce molto ampie della popolazione. Gli effetti dell'inquinamento atmosferico sulla salute possono andare da semplici irritazioni oculari e disturbi olfattivi, all'incremento della prevalenza e incidenza di sintomi e malattie respiratorie e cardiovascolari, alla riduzione della funzionalità polmonare, fino all'aumento del rischio di mortalità [1]. Gli effetti dell'inquinamento atmosferico sulla salute sono convenzionalmente suddivisi in cronici e acuti. Gli effetti cronici si manifestano dopo una esposizione prolungata a livelli di concentrazione anche modeste. Gli effetti acuti sono generalmente dovuti all'esposizione di breve durata a concentrazioni elevate di inquinanti, che possono essere causate da improvvisi aumenti nell'emissione degli stessi (per esempio a causa di un incendio o di un incidente industriale) oppure da condizioni atmosferiche sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti stessi.

Diversi studi hanno analizzato gli effetti a breve termine dell'inquinamento atmosferico utilizzando le ospedalizzazioni e la mortalità per cause respiratorie o cardiache come principali outcomes [2-7]. In una recente meta-analisi, aumenti di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nella concentrazione di PM_{10} sono stati associati significativamente ad un aumento del rischio di ricovero per asma (+1,7%), oltre che alla comparsa di sibili e tosse (+6,3% e +2,6% rispettivamente), al ricorso a farmaci per l'asma (+3,3%) e al decremento della funzionalità polmonare (-0,27 L/min) nei bambini asmatici [8]. Andersen et al. hanno evidenziato una associazione significativa tra l'aumento dei livelli di inquinanti correlati al traffico veicolare (CO , NO_x e PM_{10}) e ricoveri per sintomi asmatiformi nella popolazione pediatrica tra i 5 e i 18 anni [9].

Le assenze scolastiche sono considerate un indicatore indiretto della morbosità a breve termine associata all'inquinamento. Uno studio condotto nelle scuole di una città americana [10] riporta

aumenti del 3,8% e del 13,0% di assenze all'aumentare di 1,0 ppm di CO e 50 ppb di O₃ rispettivamente, ma una correlazione negativa con il PM₁₀ (-1,5% all'aumentare di 1 µg/m³). In uno studio su sei scuole nella Utah Valley, Ransom riporta un aumento del 2% di assenze per un aumento di 100µg/m³ di PM₁₀ [11]. Un terzo studio condotto su tutte le classi di una scuola in Taiwan [12] ha rilevato che all'aumentare di 10 ppb di NO_x e di SO₂ il rischio di assenze scolastiche aumenta del 11% e del 4%, rispettivamente.

Il comune di Fumane, in provincia di Verona, ospita nel suo territorio una delle quattro unità produttive dell'industria Cementi Giovanni Rossi SpA. Le emissioni atmosferiche legate ai processi di produzione del cemento includono polveri, gas (NO_x, SO₂, CO₂, CO), metalli (che aderiscono alle polveri), e in misura minore idrocarburi policiclici aromatici, furani e diossine [13, 14]. Studi sui lavoratori dell'industria del cemento hanno evidenziato che le polveri e gli altri inquinanti emessi durante la lavorazione del cemento hanno un effetto irritante sulle mucose degli occhi, delle vie respiratorie e della pelle e sono associati a dispnea, rinosinusite, bronchite, sintomi asmatici, asma, e bronco-pneumopatia cronico ostruttiva [15-19]. I pochi studi sulla popolazione generale hanno confermato gli effetti irritanti a livello dell'apparato respiratorio e degli occhi, sia negli adulti [20] che nei bambini [21], rilevando inoltre un aumento del rischio di parto prematuro [22] e di sintomi neurovegetativi [23] nella popolazione che risiede in prossimità degli impianti.

Non vi sono, tuttavia, studi che valutino gli effetti a breve termine dell'inquinamento atmosferico in aree potenzialmente soggette all'inquinamento industriale di un cementificio. L'obiettivo di questo studio è valutare l'associazione tra la frequenza di assenze scolastiche dei bambini tra i 3 e i 14 anni che frequentavano le scuole nel capoluogo di Fumane negli anni scolastici dal 2004-05 al 2009-10 e la concentrazione di inquinanti atmosferici sul territorio nello stesso periodo.

Materiali e metodi

I dati sulle assenze scolastiche

L'Istituto comprensivo scolastico di Fumane (<http://www.fumanescuola.it>) è costituito da una scuola dell'infanzia, una scuola primaria e una secondaria (di primo grado) situate a poca distanza tra loro nel centro di Fumane. I dati sulle assenze scolastiche delle tre scuole sono stati raccolti dai registri delle presenze degli alunni e inseriti in formato elettronico dal personale dell'Istituto e coprono 6 anni scolastici dal 9 settembre 2004 al 1 luglio 2010. I registri delle presenze sono compilati manualmente dagli insegnanti nel corso dell'anno scolastico. Solo nelle scuole secondarie, però, la registrazione delle assenze è obbligatoria per legge.

Nel periodo compreso tra gli anni scolastici 2004/05 e 2009/10 la scuola dell'infanzia ha accolto mediamente 110 bambini dai 2 ai 6 anni, divisi in quattro sezioni con frequenza dal lunedì al venerdì. La scuola primaria ha ospitato in media 210 alunni di età 5-11 anni, suddivisi in 10 classi, con frequenza dal lunedì al sabato. La scuola secondaria è stata frequentata da una media di 274 studenti all'anno, di età dai 10 ai 14 anni, suddivisi in 12 classi. Nelle scuole secondarie la frequenza va dal lunedì al sabato, tranne che per una sezione (sezione D, da 1 a 3 classi) che negli anni scolastici tra il 2007/2008 e il 2009/2010 ha sperimentato la settimana corta dal lunedì al venerdì. Il numero totale di bambini frequentanti le tre scuole è aumentato negli anni scolastici presi in considerazione, passando da un minimo di 495 bambini del 2004 ad un massimo di 580 bambini nel 2010. In totale sono stati raccolti i dati relativi a:

- Scuola dell'infanzia: 1102 giorni di scuola;
- Scuola primaria: 1217 giorni di scuola;
- Scuola secondaria: 1217 giorni di scuola.

Controllo qualitativo dei dati di assenza scolastica

Un controllo qualitativo sui dati sulle assenze scolastiche è stato eseguito confrontando un campione dei dati registrati in formato elettronico con i dati dei registri scolastici. Per la scuola dell'infanzia sono stati oggetto del controllo di qualità i dati sulle assenze di 31 giorni (mesi di Dicembre e Gennaio) in 3 anni scolastici (a.s. 04/05, a.s. 06/07, a.s. 08/09) per 4 classi, per un totale complessivo di 372 giorni-classe controllati, ed è stata riscontrata una percentuale di errore di imputazione del 20,4% (76/372). Nelle scuole primarie e secondarie sono stati analizzati i dati delle assenze nel mese di Dicembre in 2 anni scolastici (a.s. 04/05, a.s. 06/07) per tutte le classi, per un totale di 966 giorni-classe, riscontrando una percentuale di errore di imputazione del 6,2% nella scuola primaria e del 7,0% nella scuola secondaria. Le principali cause di errore rilevate sono state l'errore nella somma delle assenze giornaliere e la trascrizione di un giorno senza assenze (0 assenze) come dato mancante, o viceversa.

I dati sull'inquinamento atmosferico

I dati sull'inquinamento atmosferico sono stati forniti dall'Unità Operativa Agenti Fisici del Dipartimento ARPAV di Verona. I dati provengono dalla stazione fissa di monitoraggio della qualità dell'aria collocata presso la scuola secondaria di Fumane e facente parte della rete di rilevamento della qualità dell'aria del Veneto.

Nel periodo dello studio sono risultati disponibili i dati relativi al particolato totale (PTS, da Gennaio 2004 a Ottobre 2007), al particolato fine (PM₁₀, da Novembre 2007 a Dicembre 2010) e al biossido di zolfo (SO₂, da Gennaio 2004 a Dicembre 2010). Per ciascuno dei giorni del periodo in esame è stata utilizzata come misura di esposizione la media sulle 24 ore delle concentrazioni degli inquinanti. Sono stati riscontrati valori di SO₂ inferiori al limite di misurabilità (4 µg/m³) in 962

(83,7% del totale) giorni del periodo di osservazione. Tali valori sono stati reimpostati a $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (valore intermedio tra 0 e 4).

Potenziali confondenti

In accordo con la letteratura riguardante l'analisi delle serie temporali [5, 12, 24, 25, 26, 27], come potenziali confondenti sono state prese in considerazione le seguenti variabili:

1) variabili non meteorologiche

- giorno della settimana;
- epidemia influenzale (presente nei giorni in cui l'incidenza di influenza era maggiore al 2% a livello nazionale, secondo il sito ministeriale www.influ.net; assente negli altri giorni);

2) variabili meteorologiche (misurate dalla stazione di San Pietro in Cariano, a circa 2 Km da Fumane)

- temperatura media giornaliera;
- umidità media giornaliera;
- precipitazione cumulata giornaliera;
- direzione vento prevalente, codificato come
 - **NORD:** 0- 45° e 315-360°;
 - **SUD:** 125-225°;
 - **ALTRO:** restanti direzioni del vento.

Nell'analisi finale sono state incluse solo le variabili associate in modo statisticamente significativo con le assenze scolastiche.

Analisi statistica

A seguito del controllo di qualità, i dati relativi alle scuole d'infanzia non sono stati presi in considerazione data l'elevata percentuale d'errore.

Analisi descrittiva

A seconda del tipo di variabile analizzata, i dati sono stati presentati con opportune statistiche descrittive: media, deviazione standard, mediana, scarto interquantile e range per le variabili quantitative; percentuali per le variabili categoriche. Le percentuali di assenza scolastica giornaliera sono state calcolate per ogni classe e per ogni scuola (primaria o secondaria) facendo il rapporto tra il numero di assenti ed il numero di alunni totali in quella classe o scuola. Sono state rappresentate graficamente le serie temporali di assenza scolastica (**figura 1**). Le classi scolastiche che riportavano, in un determinato giorno, una percentuale di assenze superiore all'80% sono state considerate "outliers" ed escluse dall'analisi. In tal modo sono state esclusi 2 giorni-classe per la scuola primaria e 8 giorni-classe per la scuola secondaria.

Analisi di associazione tra inquinamento atmosferico e assenze scolastiche

L'associazione tra occorrenza di assenze scolastiche e livelli di inquinamento è stata studiata mediante modelli GAM (Generalized additive model) per la scuola primaria e secondaria separatamente, e poi in un'analisi unica (scuola primaria + secondaria). Le assenze sono state modellate da un processo non stazionario di Poisson con fattore di sovra dispersione. Il modello GAM permette di catturare eventuali relazioni non lineari tra variabile dipendente e una o più variabili esplicative. Il modello GAM utilizzato ha la seguente forma:

$$\log\left(\frac{E(Y | x)}{offset}\right) = a + \sum_{i=1}^k \beta X_i + S(Z)$$

dove Y è la variabile dipendente (numero di assenze), a una costante, β è la matrice dei parametri stimati dalle k variabili indipendenti X_i (concentrazioni degli inquinanti, giorno della settimana, indicatore di influenza, temperatura), Z è la variabile che indica il giorno di calendario e $S(.)$ è la funzione non parametrica di lisciamento (smoothing) basata su LOESS, (Local wEighted regreSSion) che tiene conto dei trend di medio/lungo periodo. Come termine di aggiustamento *offset* è stato inserito il numero totale di alunni in ogni giornata di osservazione. Sono state condotte sia analisi corrette esclusivamente per il trend di medio/lungo periodo, sia analisi corrette anche per i potenziali confondenti.

Il processo di stima del modello è stato condotto in 3 step [24, 26]. Nel *primo step* è stata stimata la funzione di lisciamento necessaria per eliminare l'effetto sulle assenze del trend di lungo periodo e della stagionalità. A tale scopo, analogamente a quanto fatto nello studio APHEA [26], si è scelto di modellare finestre temporali comprese tra 60 e 180 giorni, corrispondenti a un grado di lisciamento (detto anche span) compreso tra 0,05 (60/1217) e 0,15 (180/1217). La scelta del valore ottimale per il parametro di lisciamento è stata effettuata in modo da minimizzare una funzione di autocorrelazione tra i residui del modello [24, 25, 26]. Nel *secondo step* sono stati inseriti nel modello i potenziali confondenti risultati significativamente associati alla variabile dipendente nell'analisi univariata. Infine, nel *terzo step* sono state inserite anche le concentrazioni degli inquinanti (in tre modelli distinti). L'associazione tra inquinamento e assenze scolastiche è stata stimata tramite il rischio relativo (RR), prodotto dal modello GAM.

L'effetto di ciascun inquinante è stato studiato a diversi *lag* temporali (da 0 a 4 giorni). Questo tipo di analisi si basa sull'assunzione che l'eventuale effetto sull'outcome dell'aumento dei livelli di un determinato inquinante in un certo giorno si espliciti nell'arco dello stesso giorno (*lag* 0) oppure di un giorno immediatamente successivo (*lag* 1-4). Tuttavia, è ragionevole pensare che gli effetti avversi degli aumenti dell'inquinamento in un determinato giorno possano protrarsi per un periodo di più giorni. Per questo motivo è stato anche valutato l'effetto dell'aumento medio dei livelli di

inquinamento del giorno stesso e dei 4 giorni precedenti (media dell'inquinamento a *lag* 0-4) sulle assenze scolastiche.

Potenza statistica dello studio

Il calcolo di potenza dello studio è stato fatto considerando le scuole secondarie. Considerati i 1217 giorni per i quali erano disponibili sia i dati di assenza che i dati dell'SO₂, e posto l'errore alfa al 5%, lo studio aveva una potenza pari a 93,8% di rilevare una correlazione superiore a 0,10 tra le assenze scolastiche e le concentrazioni di SO₂. Per il PTS (668 giorni di osservazione) e il PM₁₀ (549 giorni di osservazione) la potenza era invece pari a 75,3% e 65,1%, rispettivamente.

Risultati

L'inquinamento atmosferico nel comune di Fumane

Nel periodo studiato, le concentrazioni medie giornaliere di PTS, SO₂ e PM₁₀ sono state pari a 39,5, 2,7 e 34,8 µg/m³ rispettivamente (**tabella 1**). Per il PM₁₀ si sono registrati in totale 167 superamenti del valore limite di 50 µg/m³ (Dl.gs 155/2010). Negli anni solari 2008 e 2009 le concentrazioni medie di PM₁₀ sono state pari a 34,3 e 33,7 µg/m³ (a fronte di un limite di legge di 40 µg/m³, Dl.gs 155/2010) mentre i superamenti giornalieri del limite di 50 µg/m³ sono stati 58 e 55, rispettivamente (a fronte di un numero massimo di superamenti annuali pari a 35, Dl.gs 155/2010).

Le assenze scolastiche

La percentuale media di assenze è stata del 4,0% nella scuola primaria e del 5,2% nella scuola secondaria (**tabella 2**) e ha mostrato un andamento ciclico nei vari anni (**figura 1**), con un minimo all'inizio dell'anno scolastico (mese di settembre) e un picco a gennaio (**tabella 2**).

Tra i potenziali confondenti studiati, sono risultati significativamente associati ($p < 0.001$) alle assenze il giorno della settimana, gli episodi di epidemia influenzale e la temperatura e sono stati quindi inclusi nelle successive analisi come potenziali confondenti (**tabella 2**). La percentuale di assenze scolastiche è stata maggiore il lunedì, il venerdì e il sabato rispetto agli altri giorni della settimana. Le assenze sono state più frequenti nei giorni più freddi. I periodi di epidemia influenzale sono stati associati a un aumento delle assenze pari al 100% nella scuola primaria e all'80% nella scuola secondaria. La direzione del vento prevalente, l'umidità e le precipitazioni non sono risultate associate in modo statisticamente significativo alle assenze scolastiche.

Analisi di associazione tra inquinamento e assenze scolastiche

I risultati ottenuti dall'analisi grezza aggiustando solo per la componente di medio/lungo periodo (**figura 2** e **tabella 3**) indicano che nella scuola secondaria l'aumento di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di PTS corrisponde a un aumento modesto di assenze scolastiche, aumento statisticamente significativo a *lag 2* (*lag 2*: RR 1,016, IC 95% [1,003;1,030]). L'aumento di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di PM_{10} corrisponde ad un aumento significativo del rischio di assenze dal giorno successivo (*lag 1*) fino al quarto giorno successivo all'aumento dell'inquinante, con RR compresi tra 1,018 e 1,026. Sempre nella scuola secondaria viene riscontrata una associazione significativa tra aumento di $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di SO_2 e assenze a *lag 4* (RR 1,193, IC 95% [1,059;1,342]). Correggendo anche per i potenziali confondenti, si sono ottenute stime (RR) simili ma sono risultate statisticamente significative solo le associazioni tra assenze scolastiche e PM_{10} a *lag* temporali 1-4, con aumenti medi di assenze per aumenti di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dell'inquinante compresi tra il 1,8% e il 2,9%, e tra assenze scolastiche e aumento di $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di SO_2 a *lag 4* (RR 1,189, IC 95% [1,034;1,369]) (**tabella 4**).

Nella scuola primaria è stata riscontrata un'associazione negativa tra l'aumento nelle concentrazioni di PTS ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e le assenze scolastiche a *lag 0* (RR 0,971, IC 95% [0,956;0,985]), a *lag 1* (RR 0,976, IC 95% [0,962;0,991]) e a *lag 4* (RR 0,983, IC 95% [0,968;0,997]) (**tabella 3**). La concentrazione di SO_2 è risultata associata negativamente all'aumento di assenze scolastiche nella scuola primarie, con RR statisticamente significativi compresi tra 0,813 (95% IC [0,703;0,940]) a *lag 2* e 0,846 (95% IC [0,739;0,969]) a *lag 0*. Nessuna di queste associazioni è stata confermata dall'analisi corretta per i potenziali confondenti (**tabella 4**).

Per avere maggiore potenza statistica le analisi sono state ripetute dopo aver unito i dati delle scuole primaria e secondaria (**tabella 5**). Queste analisi hanno confermato l'associazione tra assenze scolastiche e PM_{10} a *lag* temporale pari a 2: il valore di RR statisticamente significativo, corretto per le variabili confondenti, è pari a 1.022.

È stata infine valutata l'associazione tra livello medio di inquinamento a *lag* 0-4 e assenze scolastiche, per le scuole primaria e secondaria congiuntamente. Queste analisi confermano la presenza di un'associazione staticamente significativa tra aumento di assenze e i livelli di PM₁₀ nelle scuole primarie e secondarie insieme (**tabella 6**; RR 1,016 IC 95% [1,003; 1,029]).

Considerazioni sull'adattamento dei modelli

I modelli GAM hanno mostrato un discreto adattamento alle serie storiche considerate, con valori di R² compresi tra 0,30 e 0,50 (dati non riportati). In **figura 3** viene mostrato come esempio l'adattamento ai dati della scuola secondaria del modello che includeva il trend di medio/lungo periodo e i potenziali confondenti.

Conclusioni

Le concentrazioni degli inquinanti dell'aria possono subire degli aumenti improvvisi in determinati giorni o periodi dell'anno a causa di particolari condizioni meteorologiche che ne impediscono la dispersione in atmosfera o di aumenti nelle emissioni da parte di insediamenti produttivi, traffico veicolare o riscaldamento domestico [27-29]. Questi eccessi di inquinamento possono comportare effetti anche immediati sullo stato di salute della popolazione che li subisce [6,7,28,29].

Il capoluogo di Fumane, situato nella fascia pedemontana veronese, ospita – tra l'altro – un impianto per la produzione del cemento, che si trova a circa 1,5 Km in direzione Nord dal centro abitato e dalle scuole di Fumane. La popolazione di Fumane è quindi potenzialmente esposta, oltre che alle fonti di inquinamento atmosferico tipiche di una zona rurale (per esempio riscaldamento domestico – anche a legna – e traffico veicolare), all'inquinamento emesso da questi impianti e al traffico pesante che la presenza dell'insediamento industriale induce. L'obiettivo dello studio è stato quello di determinare se aumenti delle concentrazioni di inquinanti atmosferici avessero delle ripercussioni a breve termine sullo stato di salute dei bambini, utilizzando le assenze scolastiche come indicatore indiretto di morbosità.

Nel periodo considerato dallo studio, i superamenti del valore limite di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (previsto dalla normativa Dl.gs 155/2010) per il PM_{10} sono stati complessivamente 167. Negli anni solari 2008 e 2009 i superamenti sono stati 58 e 55 rispettivamente, a fronte di un limite massimo di legge di 35 superamenti per anno solare.

Lo studio ha evidenziato che l'andamento delle assenze scolastiche, oltre a essere influenzato da fattori quali il giorno di scuola, i periodi di epidemia influenzale e la temperatura media, è influenzato in maniera statisticamente significativa anche dalla concentrazione di polveri sottili (PM_{10}) nell'aria. In particolare, ad un aumento medio di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nella concentrazione di PM_{10}

corrisponde un aumento nel rischio di assenza scolastica stimabile nel 1,6% (IC 95% [0,3%-2,9%]), indipendentemente dai potenziali confondenti. L'associazione tra livelli di PM_{10} e assenze scolastiche viene confermata sia dall'analisi riguardante le scuole secondarie, sia quando quest'ultime sono accorpate alle primarie.

Le associazioni tra la concentrazione di PTS e la percentuale di assenze scolastiche non sono risultate consistenti nelle diverse analisi effettuate. Va sottolineato che per questo inquinante erano disponibili dati per la metà del periodo esaminato (3 anni scolastici). Inoltre, la discrepanza nei risultati ottenuti per il PTS rispetto al PM_{10} può essere almeno in parte attribuita al fatto che le relative associazioni con le assenze scolastiche sono state valutate in periodi diversi. È comunque noto che gli effetti sulla salute del PM_{10} sono più importanti di quelli del PTS, dato il maggiore potere penetrativo del PM_{10} nell'albero bronchiale.

Non sorprende l'assenza di associazione positiva tra la concentrazione di SO_2 e le assenze scolastiche, date le concentrazioni estremamente basse di SO_2 misurate nel periodo in esame (al di sotto del limite di misurabilità di $4 \mu g/m^3$ per 962 giorni, 83,7% del totale).

Tra le principali limitazioni di questo studio vi è la mancanza di un sistema automatizzato per la precisa registrazione delle assenze scolastiche, che vengono invece annotate manualmente da parte degli insegnanti. La registrazione manuale delle assenze e il successivo trasferimento dei dati in formato elettronico da parte del personale scolastico hanno generato errori di inserimento dei dati. Nonostante la scelta di escludere i dati delle scuole d'infanzia, che avevano una percentuale d'errore troppo elevata ($> 40\%$), un certo grado di inaccuratezza persiste anche nei dati analizzati. Tuttavia non c'è motivo di pensare che l'errore sia correlato ai livelli di inquinamento atmosferico. Conseguentemente è molto improbabile che questo errore possa avere distorto in maniera rilevante le nostre stime. Infine, è opportuno segnalare la potenziale limitazione relativa alla mancanza di dati sulle concentrazioni di ossidi di azoto (NO_x) e ozono (O_3), che non sono stati monitorati dalla

stazione fissa di monitoraggio della qualità dell'aria installata a Fumane nel periodo tra il 2004 e il 2010. Gli NO_x sono il principale inquinante prodotto dal cementificio, e l'O₃ è un inquinante secondario che deriva dalla interazione tra radiazione solare e sostanze chimiche, quali idrocarburi e NO₂, che avviene in particolare nei mesi estivi. Tali inquinanti sono fortemente associati con l'insorgenza di patologie dell'apparato respiratorio e cardiocircolatorio [5, 30-32]. Non è stato inoltre possibile, in questa fase dello studio, acquisire dati sulle assenze scolastiche di altri comuni con analoghe caratteristiche, relativamente ai livelli di inquinamento, al fine di valutare la presenza di un eventuale effetto indipendente del comune di residenza.

I maggiori punti di forza di questa indagine epidemiologica sono il basso costo di realizzazione e il fatto che lo studio comprenda le assenze scolastiche in tutte le scuole presenti nel centro di Fumane in un periodo di 6 anni scolastici.

In conclusione, l'analisi delle assenze scolastiche ha rilevato l'esistenza di un'associazione positiva e statisticamente significativa tra la percentuale giornaliera di assenze scolastiche nei bambini delle scuole primaria e secondaria di Fumane e il valore giornaliero di concentrazione atmosferica di PM₁₀, che nel comune di Fumane ha superato la soglia prevista dalla legge per 167 volte nel periodo dello studio (**tabella 1**). Negli anni solari 2008 e 2009, il limite di legge è stato superato rispettivamente 58 e 55 volte, a fronte dei 35 superamenti/anno previsti dalla normativa. Anche a questi livelli di inquinamento, generalmente inferiori a quelli riscontrati nei grandi centri urbani della pianura padana, risultano quindi opportuni interventi di prevenzione primaria atti a ridurre le concentrazioni di inquinanti atmosferici, con l'obiettivo di diminuire l'incidenza degli eventi morbosi acuti associati a un incremento delle assenze scolastiche. Tali interventi di prevenzione primaria dovranno altresì integrare quelli di carattere generale e strutturale previsti dai piani di risanamento, laddove siano identificate fonti specifiche in grado di determinare incrementi non trascurabili delle concentrazioni degli inquinanti di cui sopra.

Tabelle

Tabella 1. Distribuzione delle concentrazioni giornaliere di SO₂, PTS e PM₁₀ nel capoluogo di Fumane rilevate dalla stazione di monitoraggio fissa.

	SO₂	PTS	PM₁₀
Periodo	Da 15/09/2004 al 1/07/2010	Da 15/09/2004 al 19/11/2007	Da 20/11/2007 al 1/07/2010
Media (d.s.) (µg/m³)	2,7 (2,0)	39,5 (24,0)	34,8 (23,4)
Mediana (IQR) (µg/m³)	2,4 (2,7)	35,0 (30,0)	28,9 (24,1)
Range (µg/m³)	0,0 – 17,0	1,0 -143,0	4,0 – 183,0
Limite massimo media giornaliera (µg/m³) /numero massimo di superamenti consentiti per anno*	125/3	150/-	50/35
Numero totale di superamenti del limite di legge *	0	0	167

* Dl.gs 155/2010.

Tabella 2. Distribuzione delle percentuali di assenza scolastica nelle scuole primaria e secondaria, per mese dell'anno, giorno della settimana, periodo influenzale e caratteristiche meteorologiche.

	Scuola primaria	Scuola secondaria
Numero di giorni di scuola	1217	1217
Media (d.s.)	4,0 (3,9)	5,2 (5,6)
Mediana (IRQ)	3,2 (3,3)	4,5 (3,2)
Range	0,0 - 44,7	0,0 - 40,8
Mese (media (D.S.))		
<i>Settembre</i>	1,3 (1,1)	2,5 (1,3)
<i>Ottobre</i>	2,4 (3,2)	3,7 (3,7)
<i>Novembre</i>	4,6 (7,4)	4,6 (4,3)
<i>Dicembre</i>	4,2 (2,8)	6,2 (3,5)
<i>Gennaio</i>	6,5 (4,6)	6,7 (3,0)
<i>Febbraio</i>	5,4 (3,5)	6,8 (3,6)
<i>Marzo</i>	4,2 (2,2)	5,7 (4,0)
<i>Aprile</i>	3,1 (1,8)	5,1 (2,5)
<i>Maggio</i>	3,6 (1,9)	5,2 (2,6)
<i>Giugno</i>	4,2 (2,0)	4,8 (3,1)
<i>p-value*</i>	<0,001	<0,001
Giorno della settimana (media (D.S.))		
Lunedì	4,1 (3,7)	5,6 (3,8)
Martedì	3,8 (3,9)	4,7 (2,8)
Mercoledì	3,6 (4,0)	4,7 (3,1)
Giovedì	3,6 (3,8)	4,6 (2,9)
Venerdì	3,8 (3,9)	5,3 (4,5)
Sabato	5,1 (4,4)	6,5 (3,7)
<i>p-value*</i>	<0,001	<0,001
Epidemia influenzale (media (D.S.))		
<i>si</i>	6,2 (5,9)	6,9 (4,0)
<i>no</i>	3,0 (2,1)	4,5 (3,1)
<i>p-value*</i>	<0,001	<0,001

(continua)

Tabella 2: (continua)

Direzione vento prevalente (media (D.S.))		
<i>NORD</i>	3,6 (2,6)	5,0 (3,1)
<i>SUD</i>	3,7 (2,4)	4,8 (3,2)
<i>ALTRO</i>	4,3 (4,8)	5,4 (3,9)
<i>p-value*</i>	0,64	0,71
Temperatura (quartili, °C) (media (D.S.))		
<i>(0-6,3]</i>	5,3 (3,9)	6,4 (4,1)
<i>(6,3-13,1]</i>	4,2 (5,2)	5,3 (3,8)
<i>(13,1-19,7]</i>	2,8 (2,0)	4,3 (2,6)
<i>(19,7-29,7]</i>	2,7 (1,9)	4,0 (2,5)
<i>p-value*</i>	<0,001	<0,001
Umidità (quartili, U.R %) (media (D.S.))		
<i>(0-45]</i>	4,0 (3,6)	5,4 (4,0)
<i>(45-64]</i>	4,5 (4,9)	5,4 (3,8)
<i>(64-78]</i>	3,8 (3,5)	5,0 (3,3)
<i>(78-100]</i>	3,7 (3,6)	5,1 (3,3)
<i>p-value*</i>	0,134	0,465
Precipitazioni (media (D.S.))		
<i>Assenza</i>	3,8 (3,4)	5,2 (3,6)
<i>Giorno di Pioggia (mm>=1)</i>	4,4 (5,5)	5,0 (3,2)
<i>p-value*</i>	0,328	0,854

* kruskal-wallis o wilcoxon test

Tabella 3. Rischio relativo (RR) con intervallo di confidenza al 95% (IC95%) per l'associazione tra assenze scolastiche e un incremento di 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per PTS/PM₁₀ e di 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per SO₂ a diversi *Lag* temporali, per la scuola primaria (a) e secondaria (b). Analisi corrette per trend di medio/lungo periodo. In grassetto le associazioni significative.

		<i>Lag 0</i>	<i>Lag 1</i>	<i>Lag 2</i>	<i>Lag 3</i>	<i>Lag 4</i>
a) Scuola primaria						
PTS (+10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	RR	0,971	0,976	0,987	0,985	0,983
	IC 95%	0,956	0,962	0,973	0,971	0,968
		0,985	0,991	1,001	1,000	0,997
PM₁₀ (+10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	RR	0,985	0,991	1,007	0,997	0,993
	IC 95%	0,964	0,971	0,988	0,978	0,974
		1,006	1,011	1,026	1,016	1,012
SO₂ (+1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	RR	0,846	0,875	0,813	0,894	0,867
	IC 95%	0,739	0,762	0,703	0,778	0,752
		0,969	1,004	0,940	1,027	1,001
b) RR – Scuola secondaria						
		<i>Lag 0</i>	<i>Lag 1</i>	<i>Lag 2</i>	<i>Lag 3</i>	<i>Lag 4</i>
PTS (+10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	RR	1,006	1,010	1,016	1,009	1,006
	IC 95%	0,993	0,996	1,003	0,995	0,993
		1,019	1,024	1,030	1,023	1,020
PM₁₀ (+10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	RR	1,014	1,020	1,026	1,020	1,018
	IC 95%	0,998	1,006	1,012	1,006	1,003
		1,029	1,036	1,040	1,035	1,032
SO₂ (+1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	RR	0,977	0,992	0,955	1,048	1,193
	IC 95%	0,869	0,881	0,844	0,930	1,059
		1,099	1,118	1,080	1,181	1,342

Tabella 4. Rischio relativo (RR) con intervallo di confidenza al 95% (IC95%) per l'associazione tra assenze scolastiche e un incremento di 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per PTS/PM₁₀ e di 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per SO₂ a diversi *Lag* temporali, per la scuola primaria (a) e secondaria (b). Analisi corrette per trend di medio/lungo periodo e per i potenziali confondenti^o. In grassetto le associazioni significative

		<i>Lag 0</i>	<i>Lag 1</i>	<i>Lag 2</i>	<i>Lag 3</i>	<i>Lag 4</i>
a) Scuola primaria						
PTS (+10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	RR	0,977	0,978	0,989	0,984	0,977
	IC 95%	0,953	0,953	0,965	0,961	0,953
		1,002	1,003	1,014	1,008	1,001
PM₁₀ (+10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	RR	0,986	0,992	1,009	0,997	0,994
	IC 95%	0,962	0,970	0,987	0,975	0,972
		1,010	1,015	1,031	1,020	1,016
SO₂ (+1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	RR	0,880	0,885	0,880	0,912	0,873
	IC 95%	0,743	0,740	0,735	0,764	0,727
		1,042	1,059	1,025	1,088	1,047
b) Tassi RR – Scuola secondaria						
		<i>Lag 0</i>	<i>Lag 1</i>	<i>Lag 2</i>	<i>Lag 3</i>	<i>Lag 4</i>
PTS (+10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	RR	1,007	1,005	1,007	0,997	0,997
	IC 95%	0,990	0,988	0,990	0,980	0,980
		1,024	1,023	1,025	1,014	1,015
PM₁₀ (+10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	RR	1,015	1,023	1,029	1,021	1,018
	IC 95%	0,997	1,006	1,012	1,005	1,001
		1,033	1,041	1,046	1,038	1,035
SO₂ (+1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	RR	1,023	1,010	0,982	1,063	1,189
	IC 95%	0,898	0,885	0,860	0,931	1,034
		1,165	1,153	1,121	1,213	1,369

^o giorno della settimana, presenza di epidemia influenzale, temperatura.

Tabella 5. Rischio relativo (RR) con intervallo di confidenza al 95% (IC95%) per l'associazione tra assenze scolastiche e un incremento di 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per PTS/PM₁₀ e di 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per SO₂ a diversi *Lag* temporali per la scuola primaria e secondaria assieme. (a) Analisi corrette per trend di medio/lungo periodo e (b) analisi corrette per trend di medio/lungo periodo e per i potenziali confondenti^o. In grassetto le variazioni significative.

		<i>Lag 0</i>	<i>Lag 1</i>	<i>Lag 2</i>	<i>Lag 3</i>	<i>Lag 4</i>
a) Analisi corretta per trend						
PTS (+10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	RR	0,991	0,997	1,005	1,000	0,998
	IC 95%	0,981	0,986	0,994	0,989	0,987
		1,002	1,008	1,016	1,011	1,009
PM₁₀ (+10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	RR	1,003	1,010	1,019	1,012	1,009
	IC 95%	0,988	0,996	1,005	0,998	0,995
		1,018	1,024	1,033	1,026	1,023
SO₂ (+1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	RR	0,950	0,964	0,923	1,003	1,084
	IC 95%	0,857	0,868	0,828	0,903	0,976
		1,052	1,070	1,029	1,114	1,205
b) Analisi corretta per trend e confondenti^o						
		<i>Lag 0</i>	<i>Lag 1</i>	<i>Lag 2</i>	<i>Lag 3</i>	<i>Lag 4</i>
PTS (+10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	RR	0,996	0,995	1,001	0,992	0,990
	IC 95%	0,981	0,980	0,986	0,978	0,975
		1,010	1,010	1,015	1,007	1,004
PM₁₀ (+10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	RR	1,004	1,012	1,022	1,013	1,009
	IC 95%	0,988	0,997	1,007	0,997	0,994
		1,021	1,028	1,037	1,028	1,024
SO₂ (+1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	RR	0,991	0,980	0,948	1,016	1,086
	IC 95%	0,880	0,868	0,838	0,902	0,962
		1,116	1,105	1,071	1,144	1,226

^o giorno della settimana, presenza di epidemia influenzale e temperatura.

Tabella 6. Rischio relativo (RR) con intervallo di confidenza al 95% (IC95%) per l'associazione tra assenze scolastiche e un incremento medio tra *Lag* 0 e *Lag* 4 (calcolato sul giorno indice e sui 4 giorni precedenti) di 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per PTS/PM₁₀ e di 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per SO₂. Analisi corrette per trend di medio/lungo periodo e per i potenziali confondenti^o. In grassetto le variazioni significative.

Media dell'inquinante a Lag 0-4			
	RR	IC 95%	
PTS (+10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,990	0,979	1,001
PM ₁₀ (+10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1,016	1,003	1,029
SO ₂ (+1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,944	0,852	1,046

^o giorno della settimana, presenza di epidemia influenzale e temperatura.

Figure

Figura 1. Andamento temporale delle percentuali di assenza scolastica nelle scuole primaria e secondaria. Ogni cerchio corrisponde a un giorno di osservazione. Gli spazi vuoti tra gruppi di osservazioni corrispondono alle vacanze estive.

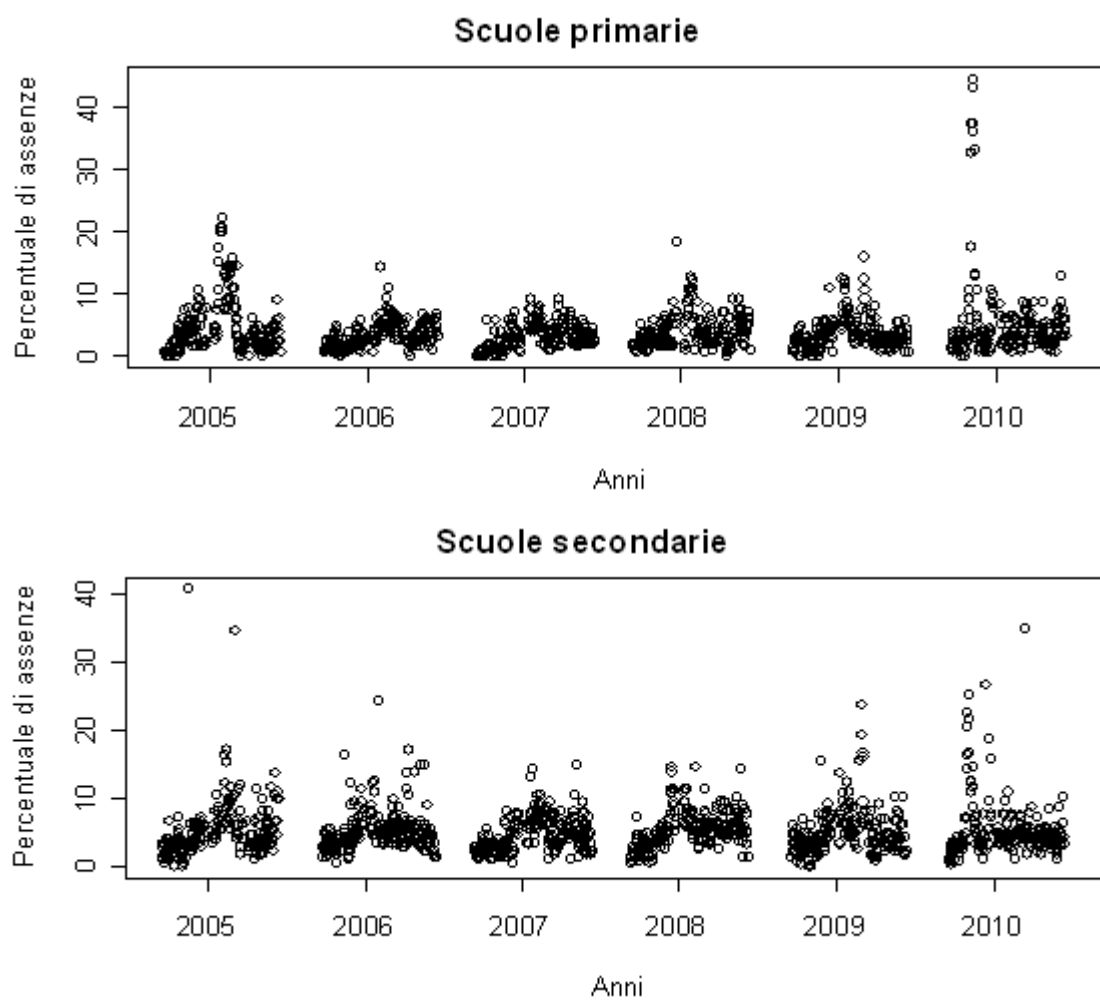
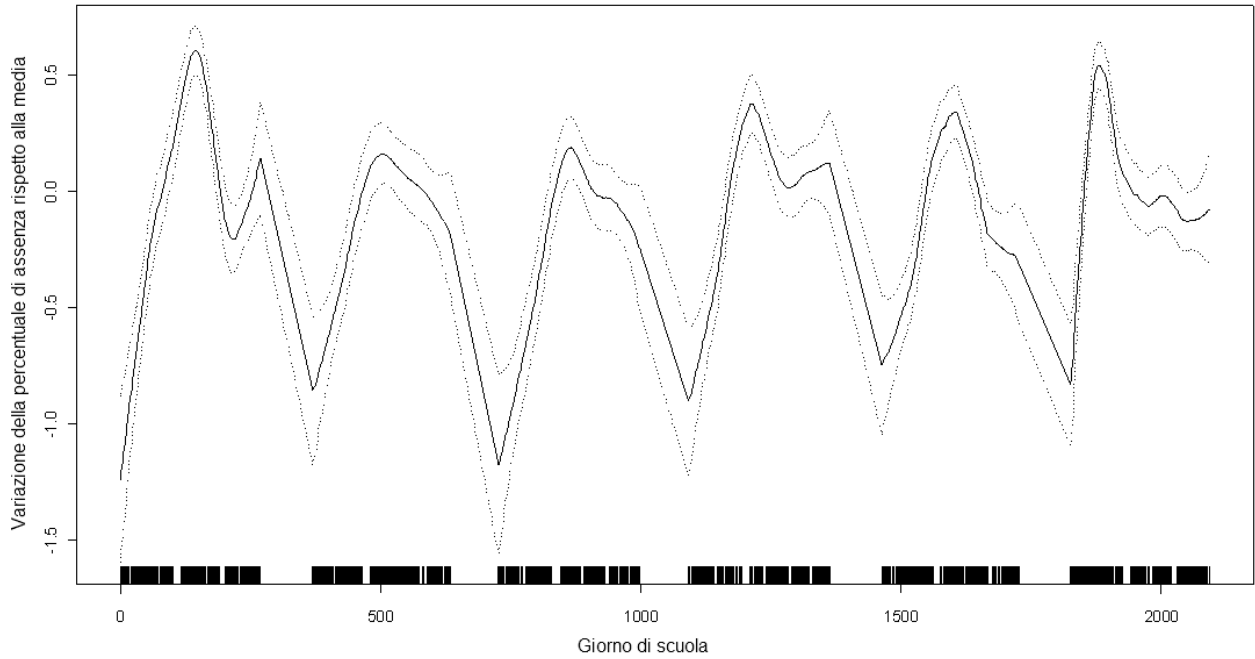
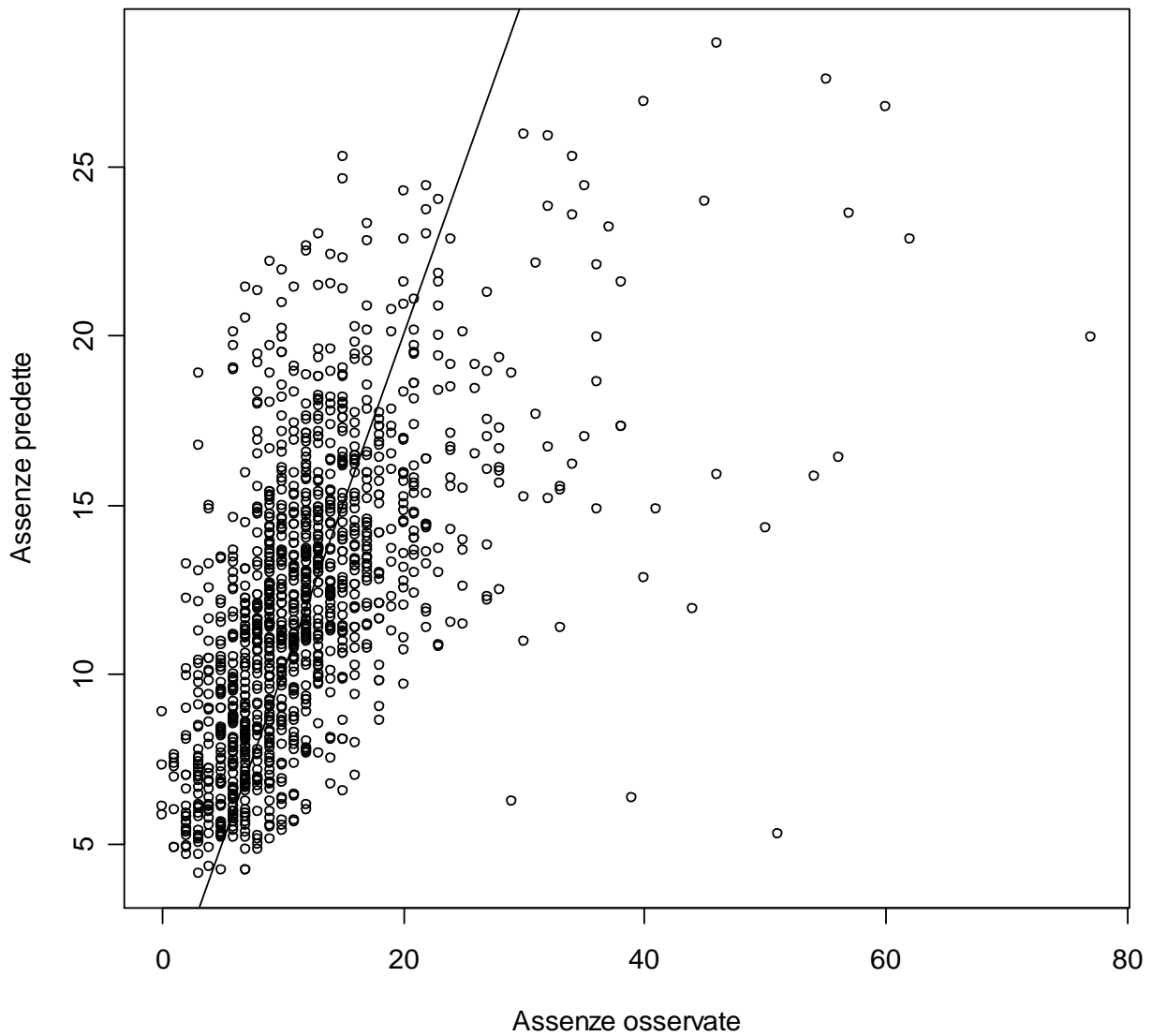


Figura 2. Stima della funzione di trend di medio/lungo periodo mediante funzione LOESS per la scuola secondaria. Il grado di lisciamento dello span nella funzione LOESS è pari a 0,07
($0,07 \cdot 1217 = 85$ giorni)



° trend di medio/lungo periodo, giorno della settimana, presenza di epidemia influenzale e temperatura.

Figura 3. Distribuzione delle assenze predette dal modello (corrette per trend di medio/lungo periodo e potenziali confondenti^o) rispetto ai valori reali osservati, per le scuole secondarie (adjusted $R^2 = 33,9\%$).



^o trend id medio/lungo periodo, giorno della settimana, presenza di epidemia influenzale e temperatura.

Bibliografia

1. AMERICAN THORACIC SOCIETY 2000, What constitutes an adverse health effect of air pollution?; *Am J Respir Crit Care Med*; 161:665-673.
2. Ostro B, Feng WY, Broadwin R, Green S, Lipsett M. The Effects of Components of Fine Particulate Air Pollution on Mortality in California: Results from CALFINE. *Environ Health Perspect* 2007; 114: 13–19.
3. Gryparis A, Forsberg B, Katsouyanni K, Analitis A, Touloumi G, Schwartz J, Siamoli E, Medina S, Anderson HR, Niciu EM, Wichmann HE, Kriz B, Kosnik M, Skorkovsky J, Vonk JM, Dörtbudak Z. Acute Effects of Ozone on Mortality from the “Air Pollution and Health: A European Approach” Project. *Am J Respir Crit Care Med* 2004; 170: 1080–1087.
4. Anderson HR, Spix C, Medina S, Schouten JP, Castellsague J, Rossi G, Zmirou D, Touloumi G, Wojtyniak B, Ponka A, Bacharova L, Schwartz J, Katsouyanni K. Air pollution and daily admissions for chronic obstructive pulmonary disease in 6 European cities: results from the APHEA project. *Eur Respir J* 1997; 10: 1064–1071.
5. Biggeri A, Bellini P, Terracini B. Meta-analysis of the Italian Studies on Short term Effects of Air Pollution-MISA 1996-2002. *Epidem Prev* 2004; 28(4-5): 4-100.
6. Dominici F, Peng RD, Bell ML, Pham L, McDermott A, Zeger SL, Samet JM. Fine particulate air pollution and hospital admission for cardiovascular and respiratory diseases. *JAMA* 2006; 295: 1127-1134.
7. Medina-Ramón M, Zanobetti A, Schwartz J. The effect of ozone and PM10 on hospital admissions for pneumonia and chronic obstructive pulmonary disease: a national multicity study. *Am J Epidemiol* 2006;163: 579-588.

8. Romeo E, De Sario M, Forastiere F, Compagnucci P, Stafoggia M, Bergamaschi A, Perucci CA. PM10 exposure and asthma exacerbations in pediatric age: a meta-analysis of panel and time-series studies. *Epidemiol Prev* 2006; 30(4-5): 245-254.
9. Andersen ZJ, Wahlin P, Raaschou-Nielsen O, Ketzel M, Scheike T, Loft S. Size distribution and total number concentration of ultrafine and accumulation mode particles and hospital admissions in children and the elderly in Copenhagen, Denmark. *Occup Environ Med* 2008; 65(7): 458-466.
10. Chen L, Jennison BL, Yang W, Omaye ST. Elementary school absenteeism and air pollution. *Inhal Toxicol*. 2000 Nov;12(11):997-1016.
11. Ransom MR, Pope CA 3rd. Elementary school absences and PM10 pollution in Utah Valley. *Environ Res*. 1992 Aug;58(2):204-19.
12. Hwang JS, Chen YJ, Wang JD, Lai YM, Yang CY, Chan CC. Subject-domain approach to the study of air pollution effects on schoolchildren's illness absence. *Am J Epidemiol*. 2000 Jul 1;152(1):67-74.
13. Schuhmacher M, Domingo JL, Garreta J. Pollutants emitted by a cement plant: health risks for the population living in the neighborhood. *Environ Res*. 2004 Jun;95(2):198-206.
14. Predicatori F, Intini B, Frontero P, Martinelli C, Culmone LR, Brunelli S, Salomoni A, Mosconi C, Mattiolo G. Influence of a cement industry on the fine and ultrafine particles composition in a rural area. *Radiat Prot Dosimetry*. 2009 Dec;137(3-4):288-93.
15. Meo SA. Health hazards of cement dust. *Saudi Med J*. 2004 Sep;25(9):1153-9. Review.
16. Mwaiselage J, Moen B, Bråtveit M. Acute respiratory health effects among cement factory workers in Tanzania: an evaluation of a simple health surveillance tool. *Int Arch Occup Environ Health*. 2006 Jan;79(1):49-56.

17. Al-Neaimi YI, Gomes J, Lloyd OL. Respiratory illnesses and ventilatory function among workers at a cement factory in a rapidly developing country. *Occup Med (Lond)*. 2001 Sep;51(6):367-73.
18. Neghab M, Choobineh A. Work-related respiratory symptoms and ventilatory disorders among employees of a cement industry in Shiraz, Iran. *J Occup Health*. 2007 Jul;49(4):273-8.
19. Mwaiselage J, Bråtveit M, Moen BE, Mashalla Y. Respiratory symptoms and chronic obstructive pulmonary disease among cement factory workers. *Scand J Work Environ Health*. 2005 Aug;31(4):316-23.
20. Legator MS, Singleton CR, Morris DL, Philips DL. The health effects of living near cement kilns; a symptom survey in Midlothian, Texas. *Toxicol Ind Health*. 1998 Nov-Dec;14(6):829-42.
21. Ginns SE, Gatrell AC. Respiratory health effects of industrial air pollution: a study in east Lancashire, UK. *J Epidemiol Community Health*. 1996 Dec;50(6):631-5.
22. Yang CY, Chang CC, Tsai SS, Chuang HY, Ho CK, Wu TN, Sung FC. Preterm delivery among people living around Portland cement plants. *Environ Res*. 2003 May;92(1):64-8.
23. Brockhaus A, Dolgner R, Ewers U, Krämer U, Soddemann H, Wiegand H. Intake and health effects of thallium among a population living in the vicinity of a cement plant emitting thallium containing dust. *Int Arch Occup Environ Health*. 1981;48(4):375-89.
24. Touloumi G, Samoli E, Quenel P, Paldy A, Anderson RH, Zmirou D, Galan I, Forsberg B, Schindler C, Schwartz J, Katsouyanni K. Short-term effects of air pollution on total and cardiovascular mortality: the confounding effect of influenza epidemics. *Epidemiology*. 2005 Jan;16(1):49-57.

25. Dominici F, McDermott A, Zeger SL, Samet JM. On the use of generalized additive models in time-series studies of air pollution and health. *Am J Epidemiol.* 2002 Aug 1;156(3):193-203.
26. Peng R, Dominici F. *Statistical Methods for Environmental Epidemiology with R*, Springer, NY 2008.
27. Piraino F, Aina R, Palin L, Prato N, Sgorbati S, Santagostino A, Citterio S. Air quality biomonitoring: assessment of air pollution genotoxicity in the Province of Novara (North Italy) by using *Trifolium repens* L. and molecular markers. *Sci Total Environ.* 2006 Dec 15;372(1):350-9.
28. Le ND, Sun L, Zidek JV. Air pollution. *Chronic Dis Can.* 2010;29(Suppl 2):144-63.
29. Cirera L, Rodríguez M, Giménez J, Jiménez E, Saez M, Guillén JJ, Medrano J, Martínez-Victoria MA, Ballester F, Moreno-Grau S, Navarro C. Effects of public health interventions on industrial emissions and ambient air in Cartagena, Spain. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2009 Mar;16(2):152-61.
30. Colais P, Serinelli M, Faustini A, Stafoggia M, Randi G, Tessari R, Chiusolo M, Pacelli B, Mallone S, Vigotti MA, Cernigliaro A, Galassi C, Berti G, Forastiere F; Gruppo collaborativo EpiAir. Air pollution and urgent hospital admissions in nine Italian cities. Results of the EpiAir Project. *Epidemiol Prev.* 2009 Nov-Dec;33(6 Suppl 1):77-94
31. Galán I, Tobías A, Banegas JR, Aránguez E. Short-term effects of air pollution on daily asthma emergency room admissions. *Eur Respir J.* 2003 Nov;22(5):802-8.
32. Weinmayr G, Romeo E, De Sario M, Weiland SK, Forastiere F. Short-term effects of PM10 and NO2 on respiratory health among children with asthma or asthma-like symptoms: a systematic review and meta-analysis. *Environ Health Perspect.* 2010 Apr;118(4):449-57.

Si ringraziano il prof. Giovanni Viviani, preside dell'Istituto comprensivo di Fumane, e il personale scolastico per aver fornito i dati sulle assenze scolastiche e il Dipartimento ARPAV di Verona per aver fornito i dati di monitoraggio degli inquinanti atmosferici.

La pianificazione e l'esecuzione dell'analisi statistica e la preparazione del report sono stati curati dal gruppo di lavoro di Epidemiologia Ambientale della Sezione di Epidemiologia e Statistica Medica, DSPMC, Università di Verona (Paolo Girardi, Pierpaolo Marchetti, Alessandro Marcon, Giancarlo Pesce e Roberto de Marco).

Il presente documento è stato visto e approvato dal Responsabile scientifico dell'indagine epidemiologica di Fumane e Mezzane di Sotto (Roberto de Marco) e dal Comitato scientifico dell'indagine (in ordine alfabetico): Gianstefano Blengio, Luca Dalle Carbonare, Salvatore Falcone, Guglielmo Frapporti, Silvana Manservisi, Alessandro Marcon, Francesca Predicatori, Massimo Valsecchi.