

Analisi epidemiologica per la valutazione dei possibili effetti sanitari in relazione alla qualità dell'aria nei comuni di Mazzano e Rezzato

Paolo Crosignani
Andrea Tittarelli
Martina Bertoldi
Alessandro Borgini

*SC Registro Tumori e Epidemiologia Ambientale
Fondazione IRCCS Istituto Nazionale Tumori
Via Venezian, 1
20133 Milano*

INDICE

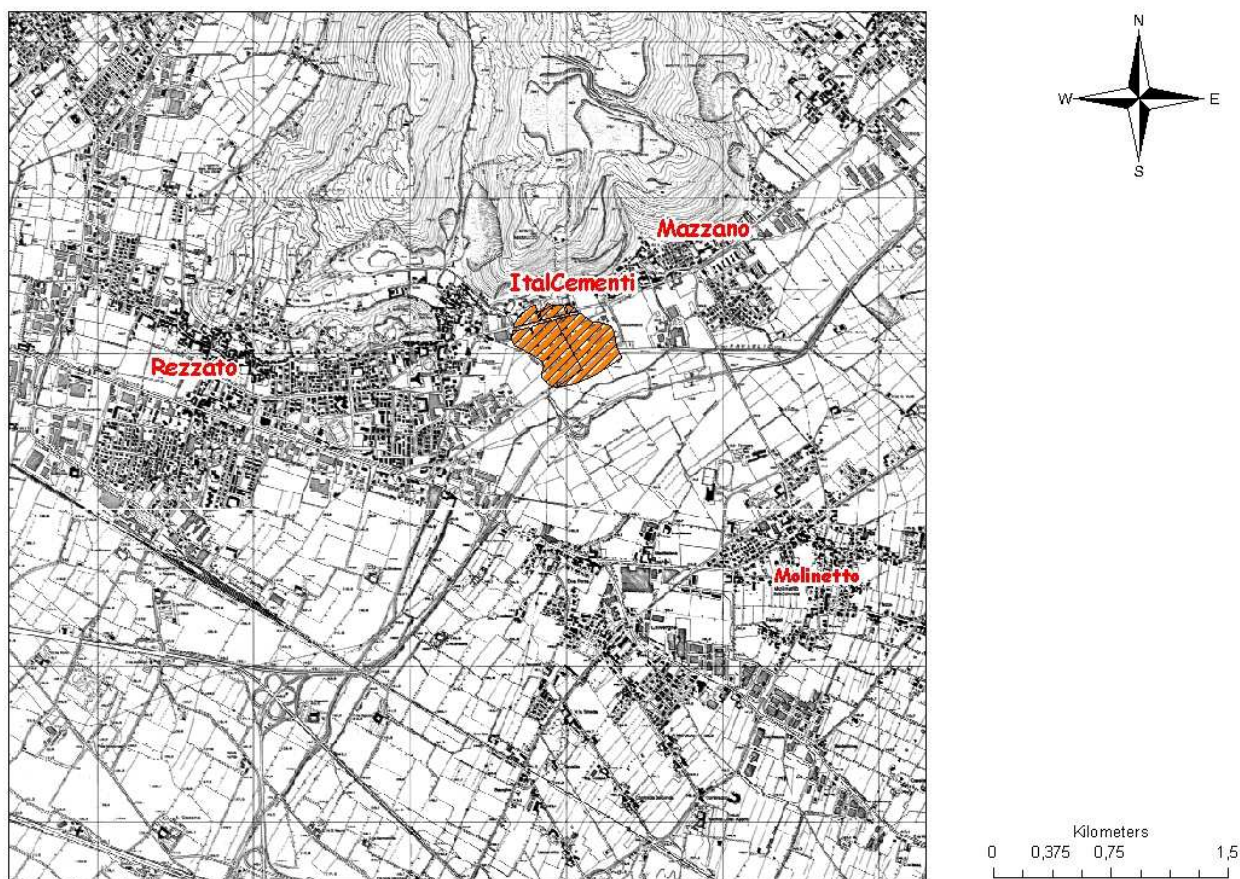
1. INTRODUZIONE	3
2. METODO DI LAVORO	4
2.1 Studio caso-controllo	4
2.2 Popolazione	4
2.3 Fattori di rischio considerati	4
2.4 Patologie considerate	5
2.5 Geocodifica indirizzi	7
2.6 Stima dell'esposizione	9
3. RISULTATI	11
3.1 Metodologia	11
3.2 Analisi adulti	12
3.3 Analisi bambini	15
4. CONCLUSIONI	17
RINGRAZIAMENTI	17
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	18

1. INTRODUZIONE

La presente relazione si situa all'interno di un percorso di valutazione dell'impatto sulla salute dell'inquinamento atmosferico nell'area dei comuni di Mazzano e Rezzato, interessata dalla presenza del Cementificio Italcementi, che ha avanzato domanda di ampliamento dello stabilimento.

In particolare, tale lavoro costituisce il passaggio successivo e conclusivo rispetto a quello sviluppato dall'Istituto Mario Negri (*Valutazione del rischio sanitario della popolazione dei Comuni di Mazzano e Rezzato in relazione alla qualità dell'aria*), con l'obiettivo di fornire una stima degli effetti sanitari associati alle concentrazioni di inquinanti osservate nella zona (con riferimento specifico agli ossidi di azoto), tenendo conto delle differenze di esposizione osservate nelle diverse zone dell'area coperta dai due comuni, come emerso dalla relazione "*Indagine sull'impatto della Cementeria Italcementi. Valutazione della qualità dell'aria*", a cura della società Consulenze Ambientali s.p.a. di Scanzorosciate (BG).

Figura 1 - Area oggetto di studio



Per effettuare la valutazione degli effetti sanitari è stato utilizzato uno studio epidemiologico osservazionale con disegno caso-controllo di popolazione.

Durante lo svolgimento del lavoro ci siamo avvalsi di un sistema di tipo GIS (Geographic Information System), che ci ha consentito di semplificare e velocizzare la fase di stima dell'esposizione per i soggetti coinvolti nell'analisi, nonché di produrre delle mappe utili alla descrizione "visiva" della situazione. In figura 1 è visualizzata la mappa della zona interessata dallo studio.

2. METODO DI LAVORO

2.1 Studio caso-controllo

Con uno studio epidemiologico di tipo caso-controllo vengono confrontati due gruppi all'interno di una medesima popolazione di riferimento (definita la base dello studio): il gruppo dei casi, composto da soggetti interessati da una patologia (o un insieme di patologie), e il gruppo dei controlli, soggetti sani o comunque non affetti dalla medesima patologia oggetto di studio. Il confronto tra questi due gruppi viene effettuato con riferimento a uno o più fattori di rischio, che si ipotizzano essere potenzialmente correlati con la patologia in esame. In sostanza, l'obiettivo è verificare se i soggetti malati (casi) siano stati mediamente più esposti al fattore di rischio considerato, rispetto ai soggetti sani (controlli).

2.2 Popolazione

La popolazione oggetto di questo studio è costituita da tutti i residenti nel territorio dei due comuni di Mazzano e Rezzato. Si tratta complessivamente di 23.335 persone (dati ISTAT al 31 dicembre 2005), con 10.427 residenti a Mazzano e 12.908 a Rezzato.

2.3 Fattori di rischio considerati

I dati a nostra disposizione relativi agli inquinanti atmosferici misurati nella "Indagine sull'impatto della Cementeria Italcementi. Valutazione della qualità dell'aria" svolta da Consulenze Ambientali, erano i seguenti:

- biossido di zolfo (SO₂)
- monossido di carbonio (CO)
- polveri (PTS, PM₁₀ e PM_{2,5})
- ossidi di azoto (NO_x, NO e NO₂)
- ozono (O₃)

- idrocarburi (escluso il metano)
- benzene, toluene e xilene (BTX)

Lo studio condotto in collaborazione con l'istituto Mario Negri aveva ristretto il campo di analisi specifiche a ozono, ossidi di azoto e particolato (PM₁₀ e PM_{2,5}), in base ai livelli misurati nel territorio in esame, alla tossicità dei singoli composti e al contributo delle emissioni del cementificio

Gli ossidi di azoto e le polveri sottili (PM₁₀ e PM_{2,5}), infatti, sono direttamente correlabili con effetti sulla salute. Inoltre l'indagine sulla qualità dell'aria ha evidenziato una situazione particolarmente compromessa, con valori di concentrazione elevati, soprattutto nella campagna di misure invernale nella quale i valori limite per la protezione della salute umana vengono sistematicamente superati.

Per il nostro studio sono stati scelti gli ossidi di azoto (NO_x) in quanto rappresentano il gruppo per cui il cementificio fornisce il contributo più consistente (circa il 50% del totale secondo le stime di Consulenze Ambientali), mentre per altri inquinanti, come il PM_{2,5}, il contributo del cementificio è apparso più modesto, decisamente inferiore rispetto a quello del traffico veicolare. Inoltre, la mappa delle ricadute relativa agli NO_x appare maggiormente dipendente dal cementificio rispetto ad altre sorgenti.

Seppure le evidenze di letteratura siano più forti per il particolato, non mancano studi che hanno verificato l'associazione tra esposizione a valori elevati di biossido di azoto e l'occorrenza di alcuni eventi sanitari avversi, quali infiammazione delle vie respiratorie, edema polmonare, sintomi asmatici, riduzione della funzionalità polmonare e disturbi respiratori in generale. La correlazione tra particolato e ossidi di azoto è comunque solitamente piuttosto alta.

Altro elemento fondamentale è il fatto che le stime sul PM_{2,5}, pur evidenziando valori decisamente elevati, forniscono una variabilità piuttosto limitata (da un minimo di 44 µg/m³ a un massimo di 69 µg/m³ durante la campagna invernale), rendendo più difficile l'osservazione di eventuali associazioni di tipo epidemiologico. Gli NO_x presentano invece una distribuzione con una variabilità più ampia (da un minimo di 83 µg/m³ a un massimo di 202 µg/m³ nel periodo invernale).

2.4 Patologie considerate

Per individuare i casi sono stati considerati tutti i ricoveri ospedalieri (in qualunque struttura lombarda) di soggetti residenti nei comuni di Mazzano e Rezzato, per gli anni tra il 2002 e il 2005 compresi. Tali dati ci sono stati forniti dalla ASL di Brescia. Sono poi stati selezionati i ricoveri utili allo studio in base alle codifiche ICD9 della diagnosi principale di dimissione.

Le diagnosi di interesse sono state scelte facendo riferimento alle evidenze di letteratura, che indicano associazioni significative tra esposizione a sostanze inquinanti (in particolare ossidi di azoto - NO_x) e alcune patologie cardiovascolari e respiratorie di tipo acuto. Nelle tabelle 1 e 2 sono riportati tutti i codici diagnostici considerati, rispettivamente per gli adulti (con età non inferiore ai 35 anni) e per i bambini (età inferiore a 15 anni). L'esclusione delle fasce di età giovanili (tra i 15 ei 34 anni) è dovuta allo scarso numero di ricoveri presenti, ma non significa che i giovani, pur essendo meno suscettibili, siano immuni dai possibili effetti dell'inquinamento atmosferico.

Tabella 1 - Patologie considerate (adulti, età >34)

GRUPPO	CODICI ICD-9	DESCRIZIONE
Cardiovascolari	410-414	cardiopatie ischemiche
	415-416	patologie cardiopolmonari
	426	disturbi della conduzione
	427	disturbi del ritmo cardiaco
	428	insufficienza cardiaca
	429	altre cardiopatie
	444	trombosi arteriose
	785	sintomi cardiaci
Respiratorie	478	malattie delle vie respiratorie superiori
	480-487	polmonite e influenza
	490-496	malattie croniche polmonari
	510	empiema
	511	pleurite
	518	altre malattie polmonari
	786	sintomi respiratori

I ricoveri totali individuati sono stati 2209 per gli adulti (1623 per cause cardiovascolari, 586 per problemi di tipo respiratorio) e 277 per i bambini.

Occorre sottolineare che l'unità di osservazione considerata è rappresentata dai ricoveri, e non dai soggetti. In altri termini, tutti i ricoveri sono stati contemplati come singoli casi anche se riferiti ad un medesimo soggetto. Quindi alcuni soggetti possono essere contati più di una volta tra i casi, tanti quanti sono stati i loro ricoveri.

I controlli sono stati campionati all'interno della popolazione complessiva dei due comuni, escludendo preventivamente tutti i soggetti già inclusi nei casi, proporzionando senza appaiare per le variabili sesso e classe di età. Per le classi di età che presentavano un numero di ricoveri più elevato (dai 65 anni in su) sono stati estratti 2 controlli per ogni caso, mentre

Tabella 2 - Patologie considerate (bambini, età 0-14)

GRUPPO	CODICI ICD-9	DESCRIZIONE
Respiratorie	460	rinofaringite acuta
	461	sinusite
	462	faringite acuta
	463	tonsillite acuta
	464	laringite e tracheite acute
	465	infezioni acute delle vie respiratorie superiori
	466	bronchite e bronchiolite acute
	472	faringite cronica
	473	sinusite cronica
	474	malattie croniche di tonsille e adenoidi
	475	ascesso peritonsillare
	476	laringiti croniche
	477	rinite allergica
	478	altre malattie vie respiratorie superiori
	490-496	malattie polmonari croniche ostruttive

per le classi meno numerose dal punto di vista dei ricoveri (bambini e adulti fra i 35 e i 64 anni) sono stati estratti 4 controlli per ogni caso, ai fini di aumentare la potenza statistica dell'analisi.

I controlli totali campionati sono stati quindi 4081 per gli adulti e 1108 per i bambini.

2.5 Geocodifica indirizzi

Per tutti i soggetti è stato recuperato l'indirizzo di domicilio (via e numero civico) tramite l'archivio dell'Anagrafe Assistiti delle Regione Lombardia, fonte già a disposizione del Registro Tumori per la sua attività di generazione della casistica neoplastica.

Con l'informazione relativa all'indirizzo di domicilio è stato possibile ottenere per quasi tutti i soggetti le coordinate di latitudine e longitudine. Solo una piccola quota (55 su un totale di 7675 soggetti, pari allo 0,72%) è rimasta esclusa perché non identificabile sugli stradari comunali. Si tratta per lo più di soggetti residenti presso cascine. Tale fase è stata realizzata grazie al supporto della società SEAT.

Facendo riferimento alle Carte Tecniche Regionali (scala 1:10.000) della zona interessata, è stato possibile riportare tutti i soggetti su una mappa geografica mediante l'utilizzo del programma ArcGis 9.2. Le figure 2 e 3 forniscono una percezione immediata della distribuzione di casi e controlli, rispettivamente per il gruppo degli adulti e per quello dei bambini, sul territorio dei due comuni e relativamente all'ubicazione del cementificio.

Figura 2 - Distribuzione degli adulti (casi e controlli) considerati dallo studio

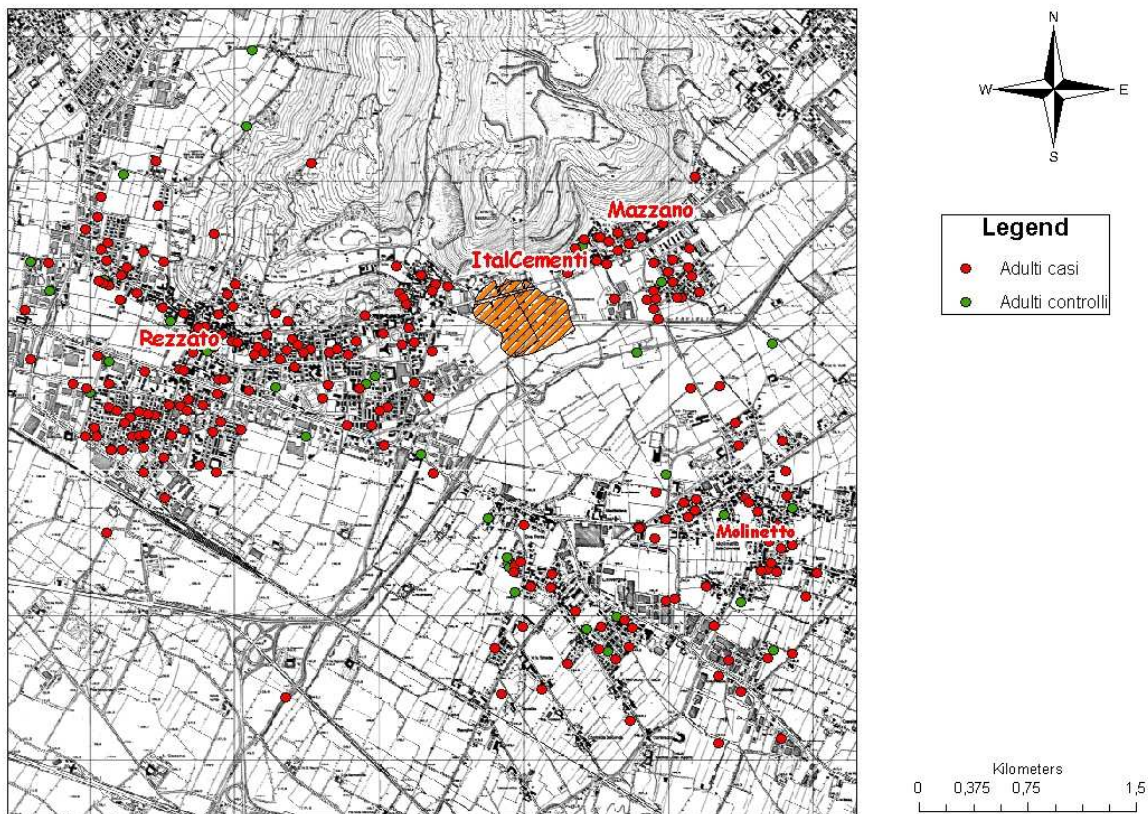
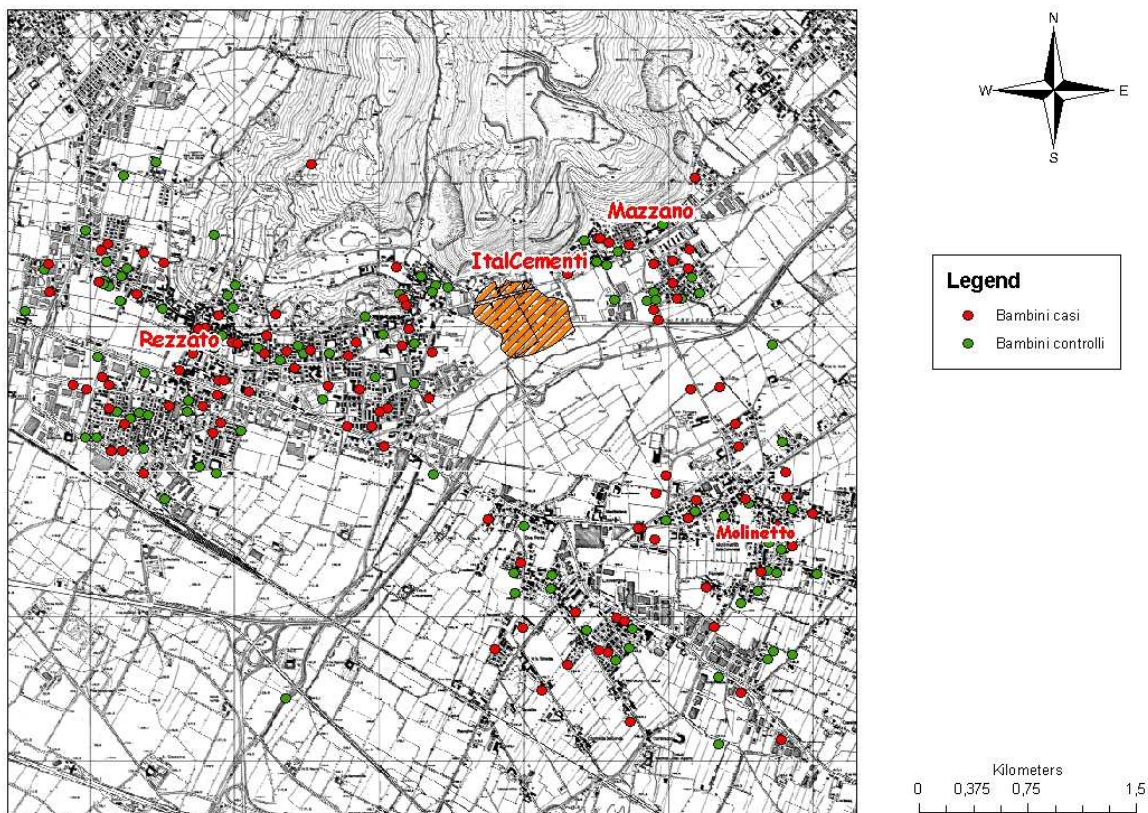


Figura 3 - Distribuzione dei bambini (casi e controlli) considerati dallo studio



2.6 Stima dell'esposizione

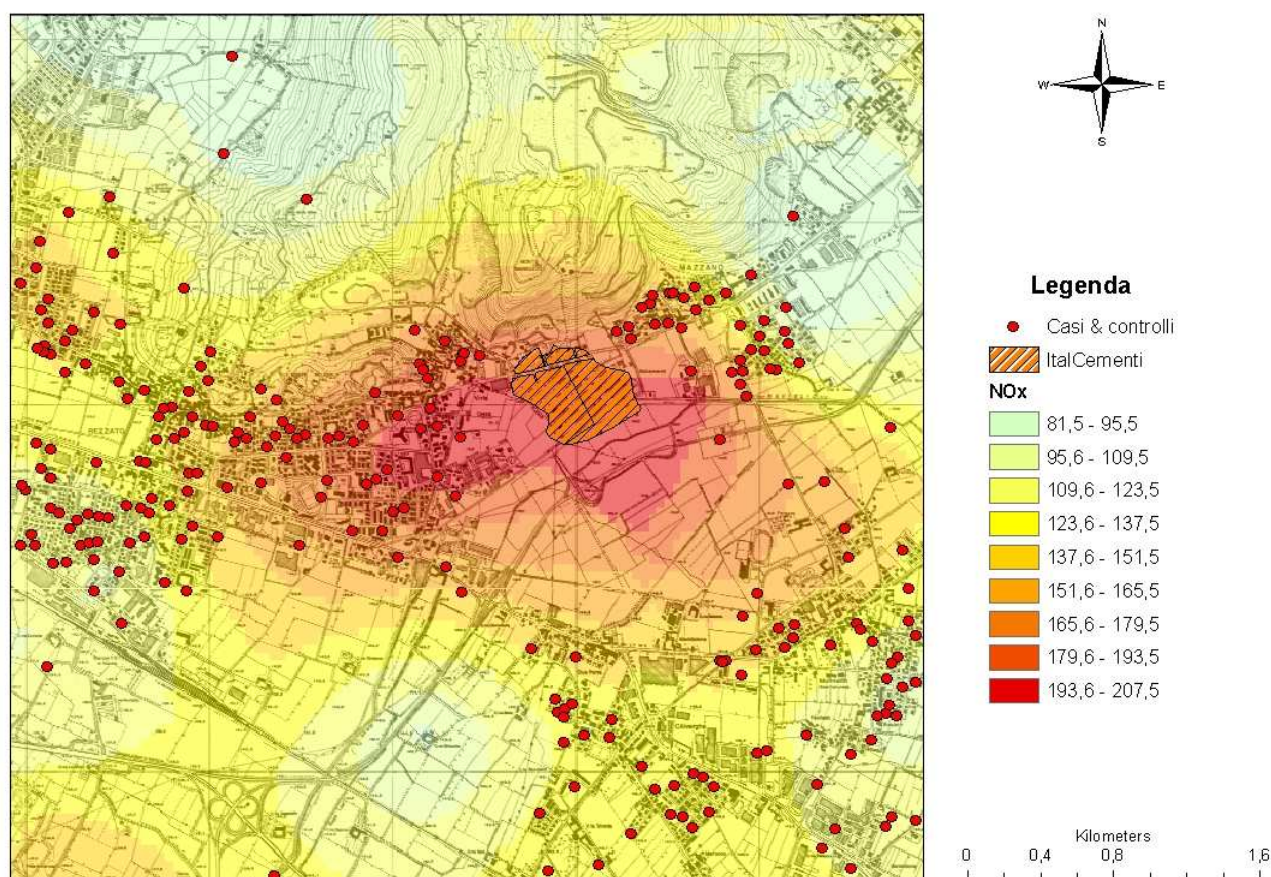
Per stimare l'esposizione media di ciascun soggetto sono state utilizzate le mappe di isoconcentrazione degli inquinanti prodotte dalla società Consulenze Ambientali, che ha effettuato due campagne di misura della durata di una settimana con l'ausilio di stazioni mobili di monitoraggio, una durante il mese di settembre del 2006 (rappresentativa del periodo estivo) e l'altra nel mese di gennaio del 2007 (rappresentativa del periodo invernale).

Per condurre lo studio abbiamo stabilito di considerare come rappresentativi dell'esposizione dei soggetti i valori della campagna invernale. Poiché non era nostro obiettivo quantificare in modo preciso l'esposizione personale, ma stimare in modo realistico le differenze esistenti in termini di concentrazione sull'area in esame, l'ipotesi è che - mentre le concentrazioni invernali non possono essere rappresentative delle concentrazioni medie annuali perché generalmente più elevate - le differenze riscontrate tra le varie zone possano invece essere estese a tutto l'arco dell'anno.

Va peraltro segnalato che la situazione generale appare comunque abbastanza compromessa, anche in virtù di altre fonti di inquinamento, con valori di concentrazione che risultano generalmente più elevati rispetto alla media provinciale. Non esistono zone "di sicurezza" in cui l'esposizione sia pressoché nulla: il valore minimo invernale per gli NO_x è infatti pari a 83 µg/m³. Si può però distinguere tra zone in cui l'esposizione è maggiore o minore rispetto ad altre. È proprio su queste differenze che si basano i calcoli effettuati per stimare i rischi in termini sanitari.

In figura 4 è riportata la mappa di isoconcentrazione degli NO_x relativa alla campagna invernale, utilizzata per le nostre analisi.

Figura 4 - Mappa di isoconcentrazione degli NO_x (campagna invernale)



Con l'ausilio di ArcGis abbiamo vettorializzato la mappa delle esposizioni creando una griglia all'interno della quale ad ogni punto fosse assegnato un valore di NO_x. Successivamente, abbiamo "collegato" il database degli indirizzi con la mappa vettorializzata (spatial join) arrivando ad attribuire ad ogni soggetto un preciso livello di esposizione.

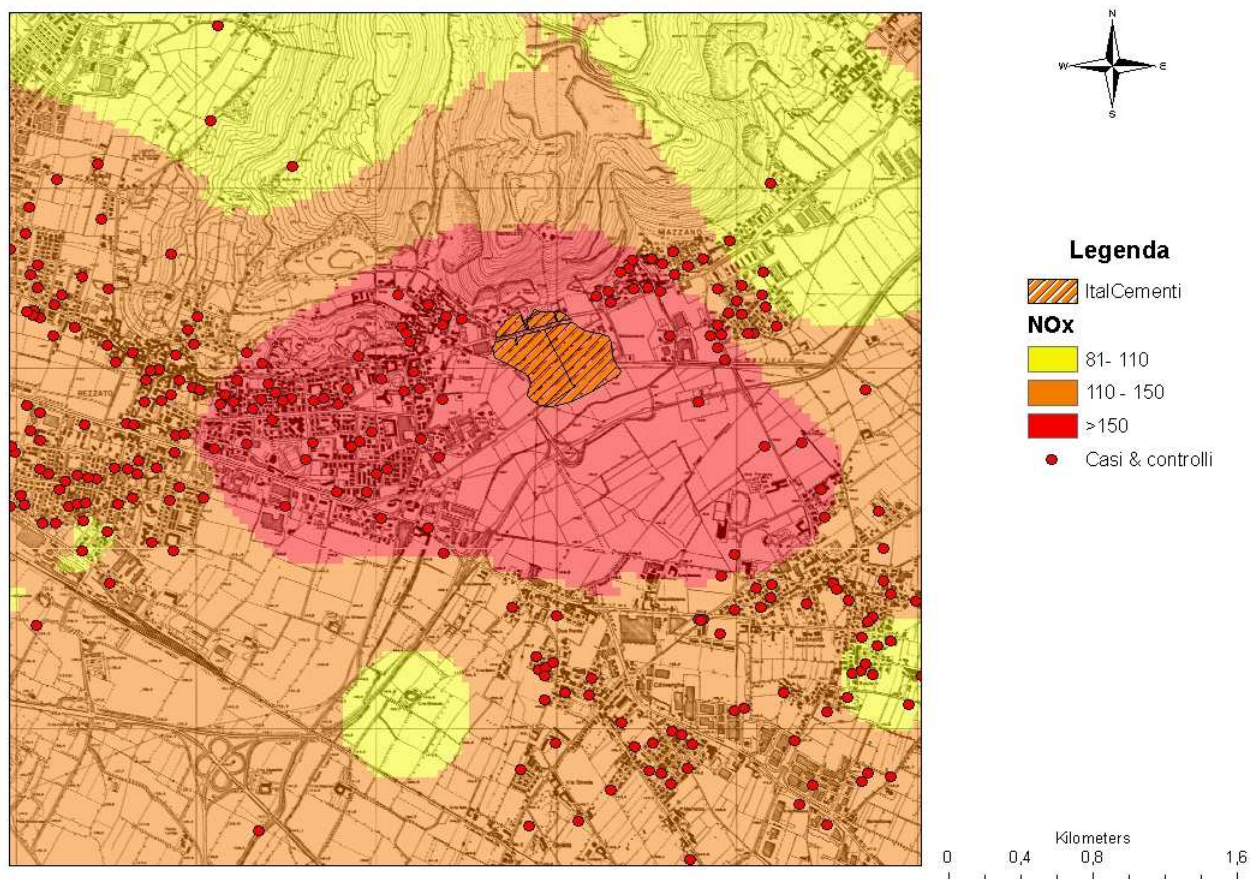
A questo punto i soggetti sono stati suddivisi in tre gruppi (meno esposti, mediamente esposti, più esposti). I valori di cut-off sono stati definiti cercando di fare riferimento alle indicazioni normative presenti per l'NO₂, oltre che alle evidenze di letteratura, tenendo conto nel contempo della distribuzione dell'inquinante sull'intero territorio.

I tre gruppi sono quindi stati così definiti in base alla stima di esposizione a NO_x:

meno esposti (E ₀)	da 83 a 110 µg/m ³
mediamente esposti (E ₁)	da 111 a 150 µg/m ³
maggiormente esposti (E ₂)	> 150 µg/m ³

La figura 5 presenta la ripartizione del territorio in base ai tre gruppi così definiti. Si può facilmente notare che la zona rossa (quella a maggior concentrazione di NO_x) si colloca intorno all'area del cementificio.

Figura 5 – Suddivisione dell'area secondo i tre gruppi di esposizione a NO_x



3. RISULTATI

3.1 Metodologia

Le analisi sono state realizzate considerando tutti i soggetti geocodificati (7620 in totale), per i quali è stato possibile ottenere una stima dell'esposizione a NO_x, tenendo separato il gruppo dei bambini (1372 soggetti complessivi, di cui 274 casi e 1098 controlli) da quello degli adulti (6248 soggetti, di cui 2182 casi e 4066 controlli).

L'indicatore fondamentale calcolato all'interno di uno studio di tipo caso-controllo è l'Odds Ratio (OR), in italiano definibile come rapporto tra rischi. Rappresenta una differenza di probabilità di rischio per diversi gruppi di esposizione al fattore considerato. Dal punto di vista operativo si sceglie una categoria di riferimento (solitamente il gruppo con livello di esposizione più basso) e si confrontano le proporzioni tra casi e controlli nelle varie categorie. In caso di assenza di rischio, il valore dell'OR sarà pari a 1. In caso di OR superiore a 1, siamo di fronte alla presenza di un rischio derivato dal livello di esposizione maggiore. Se

l'OR fosse inferiore a 1, il fattore indagato viene definito come “protettivo”, cioè l'esserne esposti diminuisce il rischio di malattia.

Per definire la significatività statistica di un OR si fa riferimento all'intervallo di confidenza (95% CI): se l'intervallo non comprende l'unità, si dice che il rischio trovato è statisticamente significativo.

Un altro indicatore interessante è quello definito “*p* per il trend”. Ci dice se all'aumentare del livello di esposizione vi sia un proporzionale incremento del rischio. Un valore della probabilità *p* non superiore a 0.05 indica convenzionalmente la presenza di un trend.

Infine, da un punto di vista della salute pubblica, è particolarmente importante il calcolo del Rischio Attribuibile (RA): esso fornisce la proporzione di casi in eccesso attribuibili al fattore indagato, casi che potrebbero essere risparmiati se i livelli di esposizione fossero ricondotti al valore più basso per tutta la popolazione interessata.

Per il calcolo degli OR è stato applicato un modello di regressione logistica, considerando come variabile dicotomica dipendente lo stato di caso o controllo e come variabile indipendente il livello di esposizione a NO_x. Non sono state inserite variabili di aggiustamento, ma le analisi sono state effettuate per sottogruppi rispetto ad alcune variabili: sesso, età e gruppo di patologie (solo per gli adulti).

Per le analisi statistiche è stato utilizzato il programma Stata SE, versione 8.2.

3.2 Analisi adulti

La tabella 3 riporta le analisi effettuate sul gruppo degli adulti, prima considerati nel loro complesso e poi distinguendo tra maschi e femmine e tra due gruppi di età: adulti più giovani (fra i 35 e i 64 anni) e fasce più anziane (dai 65 anni in su).

Dall'analisi complessiva emerge una presenza di rischio significativo per i soggetti nelle due categorie più esposte a NO_x rispetto a quella dei meno esposti (E₀): la probabilità di ricovero è più alta di circa il 30% per entrambe le categorie, anche se il rischio è leggermente più alto tra i mediamente esposti (E₁) rispetto ai molto esposti (E₂). Il Rischio Attribuibile del 23% segnala che 501 casi sui 2182 totali possono essere dovuti all'eccesso di esposizione a NO_x.

La sottoanalisi per sesso mostra una maggiore suscettibilità del genere femminile, con OR tra 1.7 e 1.8 e un Rischio Attribuibile che supera il 40% (378 casi su 915 dovuti all'esposizione a NO_x). Nei maschi le probabilità di rischio sono decisamente più basse (OR intorno a 1.1) e non significative dal punto di vista statistico; di conseguenza anche il Rischio Attribuibile è più modesto (poco meno del 10%), stimando che “solo” 125 ricoveri su 1267 possano essere addebitati all'esposizione considerata. Questa differenza tra i due generi potrebbe essere spiegata con una maggiore presenza delle donne in casa rispetto agli uomini, per cui

Tabella 3 - Adulti: esposizione a NO_x e rischi di ricovero

(analisi complessiva, per sesso, per età)

Gruppi di esposizione	Casi	Controlli	Tot	OR	95% CI
<i>Analisi complessiva</i>					
E ₀	267	646	913	1	
E ₁	1312	2306	3618	1.377	1.176 - 1.612
E ₂	603	1114	1717	1.310	1.101 - 1.558
Tot	2182	4066	6248		
p per il trend				0.021	
RA				22.98%	
<i>Maschi</i>					
E ₀	182	380	562	1	
E ₁	747	1368	2115	1.140	0.935 - 1.390
E ₂	338	637	975	1.108	0.889 - 1.381
Tot	1267	2385	3652		
p per il trend				0.489	
RA				9.84%	
<i>Femmine</i>					
E ₀	85	266	351	1	
E ₁	565	938	1503	1.885	1.445 - 2.458
E ₂	265	477	742	1.739	1.305 - 2.316
Tot	915	1681	2596		
p per il trend				0.006	
RA				41.29%	
<i>età 35-64</i>					
E ₀	72	375	447	1	
E ₁	346	1139	1485	1.582	1.197 - 2.092
E ₂	147	423	570	1.810	1.322 - 2.479
Tot	565	1937	2502		
p per il trend				<0.001	
RA				34.18%	
<i>età >65</i>					
E ₀	195	271	466	1	
E ₁	966	1167	2133	1.150	0.939 - 1.409
E ₂	456	691	1147	0.917	0.737 - 1.141
Tot	1617	2129	3746		
p per il trend				0.085	
RA				5.26%	

l'indirizzo di domicilio è più rappresentativo della reale esposizione per le donne che non per gli uomini.

Se si effettua una distinzione in due gruppi di età, i rischi per le classi più giovani (sotto i 65 anni) sono più elevati, con un trend significativo di crescita del rischio all'aumentare dell'esposizione: quasi 1.6 per i mediamente esposti e 1.8 per i più esposti; un Rischio Attribuibile del 34% indica 193 ricoveri su 565 attribuibili all'inquinamento. I rischi sembrano invece scomparire se si considera il gruppo dei soggetti più anziani, vicini a 1 per

Tabella 4 - Adulti: esposizione a NO_x e rischi di ricovero

(analisi per gruppi di patologia e per età)

Gruppi di esposizione	Casi	Controlli	Tot	OR	95% CI
<i>Patologie cardiovascolari</i>					
E ₀	206	646	852	1	
E ₁	939	2306	3245	1.277	1.073 - 1.520
E ₂	457	1114	1571	1.287	1.063 - 1.557
Tot	1602	4066	5668		
p per il trend				0.028	
RA				19.06%	
<i>Patologie cardiovascolari (età 35-64)</i>					
E ₀	60	375	435	1	
E ₁	235	1139	1374	1.290	0.949 - 1.752
E ₂	112	423	535	1.655	1.174 - 2.332
Tot	407	1937	2344		
p per il trend				0.003	
RA				23.85%	
<i>Patologie cardiovascolari (età >64)</i>					
E ₀	146	271	417	1	
E ₁	704	1167	1871	1.120	0.897 - 1.398
E ₂	345	691	1036	0.927	0.730 - 1.177
Tot	1195	2129	3324		
p per il trend				0.18	
RA				4.02%	
<i>Patologie respiratorie</i>					
E ₀	61	646	707	1	
E ₁	373	2306	2679	1.713	1.289 - 2.277
E ₂	146	1114	1260	1.388	1.014 - 1.900
Tot	580	4066	4646		
p per il trend				0.268	
RA				33.80%	
<i>Patologie respiratorie (età 35-64)</i>					
E ₀	12	375	387	1	
E ₁	111	1139	1250	3.045	1.660 - 5.588
E ₂	35	423	458	2.586	1.323 - 5.054
Tot	158	1937	2095		
p per il trend				0.022	
RA				60.77%	
<i>Patologie respiratorie (età >64)</i>					
E ₀	49	271	320	1	
E ₁	262	1167	1429	1.242	0.891 - 1.731
E ₂	111	691	802	0.888	0.617 - 1.279
Tot	422	2129	2551		
p per il trend				0.137	
RA				8.78%	

entrambi i livelli di esposizione; di conseguenza il Rischio Attribuibile è appena del 5%, il che indicherebbe che 85 casi su 1617 siano da imputare agli NO_x. Questa situazione apparentemente paradossale (i soggetti più anziani, insieme ai bambini, dovrebbero essere i più sensibili agli effetti dell'inquinamento) può essere spiegata dalla presenza di due case di riposo sul territorio dei due comuni che “confondono” i risultati facendo perdere l'associazione tra NO_x e ricoveri per le patologie considerate.

Nella tabella 4 sono riportate le sottoanalisi effettuate sui due grandi raggruppamenti di patologie (cardiovascolari e respiratorie), distinguendo poi ancora per gruppi di età all'interno dei due raggruppamenti. Non emergono grosse differenze tra le due patologie: i rischi sono comunque significativi, un po' più alti per le patologie respiratorie, per le quali però non si nota il trend di crescita del rischio. L'ulteriore distinzione per età conferma quanto già emerso in precedenza, ovvero che mentre per gli adulti sotto i 65 anni la situazione di rischio appare ancora più forte (in modo molto consistente se si considerano i soli ricoveri per problemi di tipo respiratorio), tra le classi più anziane i rischi sembrerebbero assenti.

3.3 Analisi bambini

Sui bambini l'effetto negativo dell'inquinamento appare ancora più pronunciato che negli adulti (vedi tabella 5). I rischi complessivi sono più elevati: 67% di ricoveri in più tra i mediamente esposti (E₁) rispetto ai meno esposti (E₀), quasi 88% di ricoveri in più per i bambini maggiormente esposti (E₂). Questo risultato è in sintonia con quanto emerge dall'analisi di molti studi epidemiologici, che sottolineano come i bambini siano tra i soggetti più danneggiati dall'esposizione a inquinamento atmosferico, in quanto passano mediamente più tempo all'aperto, sono generalmente più attivi e hanno una ventilazione maggiore rispetto agli adulti.

Il calcolo del Rischio Attribuibile ci dice che il 38% circa di tutti i ricoveri tra i bambini (quindi 105 su 274) potrebbero essere evitati se la concentrazione di NO_x fosse non superiore a 110 µg/m³ in tutta l'area considerata.

Analizzando la situazione per i due sessi, emerge un quadro leggermente diverso rispetto agli adulti. La presenza di rischio appare più consistente tra i maschi, mentre per le femmine gli Odds Ratio denunciano comunque un rischio crescente, ma non sono statisticamente significativi; ciò potrebbe però essere dovuto al numero più limitato di ricoveri complessivi tra le femmine in età infantile. I Rischi Attribuibili non sono tuttavia molto differenti: 41% per i maschi (67 casi su 163) e 33% per le femmine (37 casi su 111).

La distinzione per gruppi di età mostra dei rischi un po' più ridotti (con perdita di significatività statistica) per i bambini in età prescolare (da 0 a 5 anni), mentre i rischi

appaiono piuttosto elevati tra i bambini in età scolare (con un Rischio Attribuibile che supera il 50%).

Queste sottoanalisi potrebbero però risentire del numero ridotto di ricoveri complessivi tra i bambini (274 in totale), che rendono i risultati meno stabili da un punto di vista statistico. I rischi misurati considerando tutti i bambini insieme costituiscono quindi l'informazione più significativa.

Tabella 5 - Bambini: esposizione a NO_x e rischi di ricovero

(analisi complessiva, per sesso, per età)

Gruppi di esposizione	Casi	Controlli	Tot	OR	95% CI
<i>Analisi complessiva</i>					
E ₀	28	182	210	1	
E ₁	149	580	729	1.670	1.079 - 2.584
E ₂	97	336	433	1.876	1.188 - 2.965
Tot	274	1098	1372		
p per il trend				0.013	
RA				38.35%	
<i>Maschi</i>					
E ₀	17	115	132	1	
E ₁	90	322	412	1.891	1.080 - 3.311
E ₂	56	210	266	1.804	1.002 - 3.249
Tot	163	647	810		
p per il trend				0.122	
RA				41.32%	
<i>Femmine</i>					
E ₀	11	67	78	1	
E ₁	59	258	317	1.393	0.693 - 2.798
E ₂	41	126	167	1.982	0.957 - 4.107
Tot	111	451	562		
p per il trend				0.041	
RA				33.29%	
<i>età 0-4</i>					
E ₀	20	106	126	1	
E ₁	107	424	531	1.338	0.793 - 2.256
E ₂	72	272	344	1.403	0.814 - 2.417
Tot	199	802	1001		
p per il trend				0.291	
RA				23.96%	
<i>età 5-14</i>					
E ₀	8	76	84	1	
E ₁	42	156	198	2.558	1.144 - 5.716
E ₂	25	64	89	3.711	1.566 - 8.794
Tot	75	296	371		
p per il trend				0.003	
RA				58.46%	

4. CONCLUSIONI

Le analisi effettuate evidenziano un effetto dell'esposizione a ossidi di azoto, con un aumento dei ricoveri per patologie potenzialmente legate all'inquinamento. Tale effetto appare particolarmente pronunciato sui bambini, ma anche per gli adulti emergono dei rischi significativi.

In termini di salute pubblica, dai Rischi Attribuibili calcolati si può inferire che quasi un quarto dei ricoveri tra gli adulti e più di un terzo dei ricoveri tra i bambini potrebbero essere risparmiati se le concentrazioni degli ossidi di azoto fossero abbattute, in modo che nel periodo invernale non fossero in media superiori a 110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Inoltre, poiché spesso gli eventi acuti possono essere indicatori di un effetto cronico, i risultati trovati potrebbero essere letti anche in termini di un aumento complessivo delle patologie cardiache e respiratorie sulla popolazione, che dovrebbero poi essere quantificate con altri studi opportuni.

Si sottolinea che i risultati ottenuti da questa analisi non sono effetti da attribuire in maniera esclusiva alla presenza del cementificio, ma rappresentano una valutazione complessiva dei possibili effetti sulla salute dovuti ai livelli di inquinamento osservati nella zona, dove la situazione appare particolarmente compromessa a causa della presenza di diverse sorgenti di inquinamento (altri siti industriali, cave, strade a scorrimento veloce o particolarmente trafficate). Tra queste, il cementificio occupa comunque un ruolo di primo piano in termini di produzione di ossidi di azoto.

Per questo motivo, è auspicabile che possano essere attuati provvedimenti locali di mitigazione dell'inquinamento atmosferico, agendo su più fronti, non solo su quello di competenza della società Italcementi. In particolare, si potrebbero anche applicare interventi di fluidificazione del traffico o di riduzione delle emissioni veicolari.

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano:

- la ASL di Brescia per la fornitura dei dati sanitari;
- la società SEAT per la geocodifica dei soggetti;
- la società Consulenze Ambientali s.p.a. per le mappe di isoconcentrazione degli NO_x e la consulenza cartografica;
- ESRI Italia per la consulenza sull'utilizzo del programma ArcGis;
- l'ing. Roberto Carrara per il prezioso lavoro di coordinamento e di stimolo motivazionale.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Ballester F, Tenías JM, Pérez-Hoyos S. *Air pollution and emergency hospital admissions for cardiovascular diseases in Valencia, Spain*. J Epidemiol Community Health, 2001; 55: 57-65
- Baroutian S, Mohebbi A, Soltani Goharrizi A. *Measuring and modeling particulate dispersion: a case study of Kerman cement plant*. J Hazard Mater 2006; A136: 468-474
- Biggeri A, Bellini P, Terracini B. *Metanalisi italiana degli studi sugli effetti a breve termine dell'inquinamento atmosferico – MISA*. Epidemiol Prev, 2001; 25 (2) suppl: 1-72
- Biggeri A, Bellini P, Terracini B. *Metanalisi italiana degli studi sugli effetti a breve termine dell'inquinamento atmosferico – MISA 1996-2002*. Epidemiol Prev, 2004; 28 (4-5) suppl: 1-100
- Boezen HM, van der Zee SC, Postma DS, Vonk JM, Gerritsen J, Hoek G, Brunekreef B, Rijcken B, Schouten JP. *Effects of ambient air pollution on upper and lower respiratory symptoms and peak expiratory flow in children*. Lancet, 1999; 353: 874-878
- Brauer M, Hoek G, Van Vliet P, Meliefste K, Fischer PH, Wijga A, Koopman LP, Neijens HJ, Gerritsen J, Kerkhof M, Heinrich J, Bellander T, Brunekreef B. *Air pollution from traffic and the development of respiratory infections and asthmatic and allergic symptoms in children*. Am J Respir Crit Care Med, 2002; 166: 1092-1098
- Breslow NE, Day NE. *Statistical methods in cancer research. Volume 1. The analysis of case-control studies*. International Agency for Research on Cancer, Lyon, 1980
- Calderón-Garcidueñas L, Franco-Lira M, Torres-Jardón R, Henriquez-Roldán C, Mejía-Barragán G, Valencia-Salazar G, González-Maciél A, Reynoso-Robles R, Villareal Calderón R, Reed W. *Pediatric respiratory and systemic effects of chronic air pollution exposure: nose, lung, heart, and brain pathology*. Toxicol Pathol 2007; 35: 154-162
- Delfino RJ, Staimer N, Tjoa T, Gillen D, Kleinman MT, Sioutas C, Cooper D. *Personal and ambient air pollution exposures and lung function decrements in children with asthma*. Environ Health Perspect 2008; 116: 550-558
- Desqueyroux H, Momas I. *Pollution atmosphérique et santé: une synthèse des études longitudinales de panel publiées de 1987 à 1998*. Rev Epidém et Santé Publ 1999 ; 47: 361-375
- Eilstein D, Quénel P, Hédelin G, Kleinpeter J, Arveiler D, Schaffer P. *Pollution atmosphérique et infarctus du myocarde, Strasbourg, 1984-1989*. Rev Epidém et Santé Publ, 2001; 49: 13-25
- Gouveia N, Fletcher T. *Respiratory diseases in children and outdoor air pollution in São Paulo, Brazil: a time series analysis*. Occup Environ Med, 2000; 57: 477-483
- Hautemanière A, Czernichow P, Germain JM, Delmas V, Falourd JC, Zeghnoun K, Dureuil B. *Impact of the daily variations of the air pollution on the ambulatory emergency health services activity. Study in the urban area of Rouen (France)*. Rev Epidém et Santé Publ 2000; 48: 449-458
- Hazenkamp-von Arx ME, Götschi T, Ackermann-Liebrich U, Bono R, Burney P, Cyrus J, Jarvis D, Lillienberg L, Luczynska C, Maldonado JA, Jaén A, de Marco R, Mi Y, Modig L, Bayer-Oglesby L, Payo F, Soon A, Sunyer J, Villani S, Weyler J, Künzli N. *PM_{2,5} and NO₂ assessment in 21 European study centres of ECRHS II: annual means and seasonal differences*. Atmos Environ 2004; 38: 1943-1953
- Jaffe DH, Singer ME, Rimm AA. *Air pollution and emergency department visits for asthma among Ohio Medicaid recipients, 1991-1996*. Environ Res, 2003; 91: 21-28
- Just J, Ségala C, Sahraoui F, Priol G, Grimfeld A, Neukirch F. *Short-term health effects of particulate and photochemical air pollution in asthmatic children*. Eur Respir J 2002; 20: 899-906
- Larrieu S, Jusot JF, Blanchard M, Prouvost H, Declercq C, Fabre P, Pascal L, Le Tertre A, Wagner V, Rivière S, Chardon B, Borrelli D, Cassadou S, Eilstein D, Lefranc A. *Short term effects of air pollution on hospitalizations for cardiovascular diseases in eight French cities: the PSAS program*. Sci Total Environ, 2007; 387: 105-112

- Ostro B, Lipsett M, Mann J, Braxton-Owens H, White M. *Air pollution and exacerbation of asthma in african-american children in Los Angeles*. *Epidemiology* 2001; 12: 200-208
- Peel JL, Metzger KB, Klein M, Flanders WD, Mulholland JA, Tolbert PE. *Ambient air pollution and cardiovascular emergency department visits in potentially sensitive groups*. *Am J Epidemiol* 2007; 165: 625-633
- Poloniecki JD, Atkinson RW, De Leon AP, Anderson HR. *Daily time series for cardiovascular hospital admissions and previous day's air pollution in London, UK*. *Occup Environ Med* 1997; 54: 535-540
- Prescott GJ, Cohen GR, Elton RA, Fowkes FGR, Agius RM. *Urban air pollution and cardiopulmonary ill health: a 14.5 year time series study*. *Occup Environ Med* 1998; 55: 697-704
- Schuhmacher M, Bocio A, Agramunt MC, Domingo JL, de Kok HAM. *PCDD/F and metal concentrations in soil and herbage samples collected in the vicinity of a cement plant*. *Chemosphere* 2002; 48: 209-217
- Schuhmacher M, Domingo JL, Garreta J. *Pollutants emitted by a cement plant: health risks for the population living in the neighbourhood*. *Environ Res* 2004; 95: 198-206
- Van der Zee SC, Hoek G, Boezen HM, Schouten JP, van Wijnen JH, Brunekreef B. *Acute effects of urban air pollution on respiratory health of children with and without chronic respiratory symptoms*. *Occup Environ Med*, 1999; 56: 802-813
- Walters S, Phupinyokul M, Ayres J. *Hospital admission rates for asthma and respiratory disease in the West Midlands: their relationship to air pollution levels*. *Thorax*, 1995; 50: 948-954
- Wilson AM, Salloway JC, Wake CP, Kelly T. *Air pollution and the demand for hospital services: a review*. *Environ Int*, 2004; 30: 1109-1118
- Wong TW, Lau TS, Yu TS, Neller A, Wong SL, Tam W, Pang SW. *Air pollution and hospital admissions for respiratory and cardiovascular diseases in Hong Kong*. *Occup Environ Med*, 1999; 56: 679-683
- 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; 92: 64-68