



quaderni
di Monitor
04>11

I risultati del progetto Monitor

**Gli effetti degli inceneritori
sull'ambiente e la salute
in Emilia-Romagna**

inceneritori
monitoraggio, ambiente, salute, comunicazione



Monitoraggio degli inceneritori nel territorio dell'Emilia-Romagna



LINEA PROGETTUALE 3

Valutazione
dell'esposizione umana
e implementazione sistema
informativo integrato

Responsabili: Paola Angelini, Regione Emilia-Romagna
Paolo Lauriola, Arpa Emilia-Romagna

Azione 1- Redazione linee guida

Responsabile: Paola Angelini (Regione Emilia-Romagna), Paolo Lauriola (Arpa Emilia-Romagna)

Azione 2 - Valutazione esposizione della popolazione residente

Responsabile: Andrea Ranzi, Laura Erspamer (Arpa Emilia-Romagna)

Azione 3 - Altre misure di esposizione

Responsabile: Laura Erspamer (Arpa Emilia-Romagna)

Azione 4 - Implementazione sistema informativo integrato

Responsabile: Andrea Ranzi, Laura Erspamer (Arpa Emilia-Romagna)

Azione 5 - Relazione conclusiva e supporto alla comunicazione

Responsabile: Paola Angelini (Regione Emilia-Romagna), Paolo Lauriola (Arpa Emilia-Romagna)

Enti coinvolti:

Arpa Emilia-Romagna (Centro tematico regionale Ambiente e salute, Sezione provinciale di Rimini)

Regione Emilia-Romagna, Servizio Sanità Pubblica

Azienda Usl di Modena (Dipartimento di Sanità Pubblica)

Azienda Usl di Reggio Emilia (Dipartimento di Sanità Pubblica)

Istituto nazionale per la ricerca sul cancro di Genova (IST)

Università di Modena e Reggio Emilia

Le attività della Linea progettuale 3 hanno riguardato la valutazione dell'esposizione delle popolazioni oggetto di indagine epidemiologica. Sono state definite e reclutate due differenti popolazioni: la prima costituita dai nati all'interno dell'area di un'area di 4 km di raggio intorno agli impianti considerati nel progetto per il periodo 2003-2006. La seconda è una coorte retrospettiva composta da tutti i residenti all'interno dell'area per un periodo minimo di almeno sei mesi, a partire dal 1991 (o dal primo dato anagrafico disponibile) fino al 31/12/2006.

Per ciascun soggetto appartenente alle due popolazioni indagate è stato proposto ed applicato un metodo di valutazione dell'esposizione basato sul calcolo delle concentrazioni stimate da modelli di ricaduta a livello di civico residenziale. Per la prima popolazione il periodo di esposizione è stato riferito alla gravidanza della madre; per la coorte retrospettiva è stata ricostruita la storia residenziale dei soggetti arruolati.

L'esposizione ad inceneritore, espressa come livello di inquinamento attribuibile alle emissioni dell'impianto sul civico residenziale, è stata così stimata:

- per quanto riguarda la popolazione dei nati sono state calcolate le esposizioni nel trimestre precedente il concepimento e per ciascun trimestre di gravidanza, evidenziando un elevato valore di concordanza fra le stime dei diversi periodi di ciascuna madre;
- per la coorte retrospettiva è stata stimata l'esposizione all'arruolamento della coorte e, laddove i dati anagrafici permettevano una ricostruzione completa della storia residenziale, l'esposizione cumulata ad inquinamento da inceneritore dall'inizio di attività dell'impianto (o dalla data di nascita se successiva alla precedente).

L'esposizione ad altre fonti è stata valutata tramite una mappa di ricaduta di tutte le altre fonti (traffico, industria, agricoltura, riscaldamento), caratterizzando anche l'esposizione a ciascun macrosettore singolarmente.

La caratterizzazione socioeconomica è stata effettuata assegnando a ciascun soggetto l'indice socioeconomico ricalibrato sulle sezioni di censimento appartenenti alle aree di studio.

Introduzione

La valutazione dell'esposizione umana agli inquinanti presenti nell'ambiente, rappresenta uno dei principali elementi critici dell'epidemiologia e del risk assessment, con implicazioni rilevanti nella pianificazione degli interventi di prevenzione e risanamento.

L'esposizione è definita come contatto fra un agente presente in una matrice ambientale e una superficie del corpo umano¹. *La valutazione dell'esposizione è il processo di stima o misura della quantità, frequenza e durata di tale contatto*, assieme al numero e caratteristiche della popolazione esposta. Idealmente descrive la sorgente, le vie di esposizione, il percorso metabolico e le incertezze nella valutazione².

La valutazione dell'esposizione indaga quindi quanto, come, da quando e per quanto tempo un agente viene a contatto con un individuo. L'esposizione può essere di lungo o breve periodo e può riguardare il contesto lavorativo (esposizione occupazionale) o ambientale extralavorativo (di qui in seguito indicata come "ambientale").

Rispetto al contesto lavorativo, ove la presenza di specifici agenti legati ai processi produttivi, il contesto spazio-temporale definito e la possibilità di raggruppare i soggetti esposti sulla base della loro mansione, rendono relativamente più agevole e accurato il processo di stima dell'esposizione, le varie forme di inquinamento ambientale sono caratterizzate da esposizioni multiple, a basse concentrazioni, con elevata diffusione e variabilità spazio-temporale. Risulta fondamentale, nel disegno di studi di epidemiologia ambientale, porre attenzione alla scelta della misura di esposizione, tenendo presente, ove possibile, strategie basate su misure dirette di esposizione (ricerca di markers nei tessuti umani). Nella maggior parte dei casi, poiché è estremamente oneroso ottenere misure individuali di esposizione, si ricorre a metodi indiretti, come misure e stime di inquinamento ambientale e/o variabili surrogate dell'esposizione effettiva, quali questionari o informazioni quali-quantitative sull'impatto della fonte inquinante.

1. Sexton K & Ryan PB (1988) "Assessment of human exposure to air pollution: methods, measurements and models". In: Watson A Y et al., ed. Air pollution, the automobile, and public health. Washington, DC: National Academy Press. Sexton & Ryan 1988.

2. Ward MH, Wartenberg D. "Invited commentary: on the road to improved exposure assessment using geographic information systems". Am J Epidemiol., 2006 Aug 1;164(3):208-11.

L'approccio geografico

L'utilizzo di informazioni geografiche per la valutazione dell'esposizione e, più in generale, nella conduzione di studi epidemiologici, sta diventando sempre più frequente, sia in fase di disegno dello studio che di analisi dei dati. La crescente disponibilità di informazioni digitali e lo sviluppo dei sistemi informativi geografici (GIS) permette di analizzare e gestire dati localizzati spazialmente. L'utilizzo dei dati e modelli ambientali come indicatore indiretto per la valutazione dell'esposizione rappresenta sicuramente un miglioramento della stima rispetto a considerazioni meramente geografiche come la distanza da una fonte. L'approccio geografico risulta essere adatto per integrare informazioni di tipo ambientale con dati socio-demografici per l'attribuzione di valori di esposizione alla popolazione oggetto di indagine epidemiologica.

I fattori che influiscono sulla scelta del metodo di indagine sono l'approccio individuale o di popolazione, il contesto geografico di riferimento (larga scala, ambito urbano, piccola area, ...), la valutazione temporale degli effetti sanitari (a breve o a lungo termine). Anche la scelta del dato ambientale da considerare in questo processo, e di conseguenza il modello di stima del dato stesso è diretta conseguenza di queste considerazioni. D'altra parte le indagini epidemiologiche sugli effetti a lungo termine dell'inquinamento sulla popolazione tendono forzatamente a essere ecologiche nel disegno, aggregando i casi su regioni geografiche. Quindi un buon disegno di valutazione dell'esposizione che integri competenze e strumenti di monitoraggio e modellistica ambientale, GIS, metodi statistici, permette un miglior controllo dei fattori confondenti dovuti a tali aggregazioni e alle valutazioni sulle varie forme di inquinamento ambientale riportate sopra.

I metodi utilizzati all'interno del progetto Monitor per l'analisi in tutte le aree coinvolte sono di tipo indiretto, ovvero utilizzano variabili surrogate di esposizione. I metodi diretti di valutazione dell'esposizione possono essere visti come test e miglioramento dei risultati ottenuti tramite i metodi indiretti. Le difficoltà di natura economica ed etica connesse a tali metodi li rendono applicabili a scale più ridotte. Tuttavia gli indicatori biologici contengono un potenziale d'integrazione sulle possibili sorgenti e modalità di assunzione (inalazione, ingestione e assorbimento cutaneo) e sono in grado di integrare i tempi di esposizione di interesse.

In questa logica, all'interno del progetto Monitor erano previste specifiche

Azioni per la definizione di misure di esposizione diverse da quelle geografiche e per l'attivazione di un sistema informativo integrato (Azioni 3 e 4). In particolare è stato definito un progetto di fattibilità relativo a uno studio pilota di biomonitoraggio umano. Dal momento che nell'ambito del procedimento di AIA (Autorizzazione Integrata Ambientale) dell'inceneritore di Modena era presente la prescrizione di realizzare un progetto di biomonitoraggio umano si è deciso di mettere a loro disposizione il protocollo di studio elaborato nell'ambito di Monitor. Dal momento che l'azione 4 prevedeva la messa a punto di un sistema informativo integrato di indicatori ambientali e sanitari e si basava quindi anche sull'utilizzo dei risultati dello studio pilota di biomonitoraggio, il trasferimento di questo al procedimento AIA di Modena ha reso meno interessante lo sviluppo di questo sistema informativo e si è conseguentemente abbandonata l'azione 4.

Le azioni progettuali che qui vengono presentate sono dunque relative alle Azioni 1 e 2, rimaste all'interno del progetto Monitor.

La prima azione ha riguardato la stesura di un documento di Linee guida sulla valutazione dell'esposizione, mentre l'Azione 2 la caratterizzazione dell'esposizione delle due popolazioni indagate all'interno delle indagini epidemiologiche effettuate dalla Linea progettuale 4.

Azione 1. Redazione linee guida

Il rapporto, presentato come prima attività della Linea progettuale, presenta le *Linee guida per la realizzazione della valutazione dell'esposizione di popolazioni residenti in aree caratterizzate dalla presenza di inceneritori nella Regione Emilia-Romagna*, ed è da intendersi come stato dell'arte iniziale delle conoscenze relative alle azioni della Linea progettuale 3 del progetto Monitor.

I capitoli del rapporto riguardano:

- Valutazione dell'esposizione della popolazione residente tramite approccio geografico
- Uso del biomonitoraggio umano nella valutazione dell'esposizione
- Uso del biomonitoraggio ambientale nella valutazione dell'esposizione

Azione 2. Valutazione dell'esposizione

I metodi presentati nel rapporto conclusivo della Azione 2, utilizzati su tutte le aree in studio, sono di tipo indiretto, ovvero utilizzano variabili surrogate di esposizione. Una breve rassegna dei principali metodi indiretti utilizzati in letteratura ha evidenziato un progressivo miglioramento delle metodologie usate per la valutazione dell'esposizione di popolazioni residenti in prossimità di sorgenti puntuali, quali gli impianti di incenerimento. La metodologia adottata all'interno del progetto ha tenuto conto di tali avanzamenti.

Valutazione dell'esposizione per la popolazione dei nati

I nati arruolati sono stati georeferenziati attraverso il linkage della residenza con la banca dati di coordinate geografiche di tutti i civici residenziali che cadono nelle otto aree di indagine. Per il solo comune di Coriano di Rimini, si è ricorsi ad una georeferenziazione basata sull'utilizzo di strumenti di localizzazione geografica di pubblico dominio (*Google Maps*).

Per la caratterizzazione dell'esposizione tramite attribuzione di un valore di concentrazione derivante dalle simulazioni modellistiche della LP2, sono stati valutati diversi aspetti che brevemente vengono riportati.

Esposizione ad inceneritore

In prima battuta si era ipotizzato di usare i metalli pesanti (più interessanti dal punto di vista epidemiologico per i loro potenziali esiti avversi sulla salute) come tracciante principale dell'inquinamento da inceneritore. Dal confronto con i modellisti della LP2, invece ci si è orientati sulle polveri, in base alle seguenti considerazioni (che si possono riscontrare con maggiore dettaglio nel report della LP2):

- Isomorfismo delle mappe ottenute da simulazioni modellistiche di ricaduta di metalli pesanti e di polveri, al netto di ovvie differenze quantitative (verifica sperimentale effettuata su un impianto)
- Maggiore affidabilità del dato sulle polveri, come parametro di input al modello, in funzione di una ampia disponibilità di dati misurati (provenienti dai dati SME – Sistema di Monitoraggio in continuo delle Emissioni)
- Rintracciabilità dei metalli pesanti nel particolato

Il valore utilizzato e uscente dalle mappe di simulazione, riguarda le polveri

primarie emesse dall'inceneritore.

Dovendo ricostruire un'esposizione di nove mesi (periodo di gravidanza della madre), si è cercato di ottenere il massimo contributo informativo possibile dalle simulazioni modellistiche.

La considerazione che durante il quinquennio 2002-2006 vi sono stati significativi cambiamenti in più di un impianto, ha portato a effettuare cinque simulazioni, una per ogni anno di interesse (2002-2006). Questa simulazione ha permesso di tenere conto della "modulazione mensile" dell'impianto, cioè del contributo dell'impianto alle emissioni in quel mese, rispetto all'intero anno. Per tenere conto poi, di eventuali fermi impianto "significativi" (in termini di numero di giorni), il valore medio della mappa è stato pesato sui giorni di funzionamento del periodo considerato.

Quindi per ogni mese è stato valutato il seguente contributo:

$$C_{mese} = \text{contributo_mese} * \text{valore conc. mappa} / 12$$

Il contributo_mese è stato valutato a partire dai cosiddetti file di modulazione temporale degli impianti, che tengono conto dei giorni di effettivo funzionamento all'interno di ogni singolo mese, dando così una rappresentazione più attendibile del contributo mensile alle emissioni di ogni singola linea.

In questo modo è stato anche possibile considerare valori di esposizione attribuibili a periodi temporali differenti (es. I trimestre o tutta la gravidanza) semplicemente considerando i contributi "*C_{mese}*" per i mesi di interesse. Sono stati calcolati i valori per l'intera gravidanza, i tre trimestri separatamente e il trimestre preconfezionale.

Esposizione a tutte le altre fonti

Premesso che le caratteristiche del modello di simulazione usato non permettono di evidenziare differenze sostanziali nella morfologia delle mappe di ricaduta delle polveri e degli ossidi di azoto, la scelta è ricaduta sugli Ossidi di azoto (NO_x) più utili a rappresentare l'impatto in atmosfera degli impianti industriali.

E' stato quindi attribuito un valore medio di periodo, a partire dalle simulazioni fatte all'interno dell'azione 7 della LP2 del progetto, riguardo alla situazione "attuale". Sono state fornite le mappe per ogni macrosettore (traffico, indu-

stria, allevamenti, agricoltura, riscaldamento), e sono stati assegnati a ciascuno nato i valori sia di concentrazione cumulata per tutte le fonti che di concentrazione dovuta a ciascuno di questi settori.

Assegnazione livelli di esposizione

Dai valori di concentrazione ricavati si è passati alla definizione di un criterio di classificazione in diversi livelli di esposizione.

Si presentano tre tipi di scenari possibili di utilizzo:

- *dato quantitativo*: si utilizza come indicatore di esposizione il dato di concentrazione calcolato con i metodi sopra esposti
- *classi di esposizione su tutto il pool dei dati*: tutti i dati vengono ordinati in base al valore di concentrazione calcolato e si creano delle classi di esposizione
- *classi di esposizione "sito-specifiche"*: stessa procedura, ma divisa per ogni singolo sito.

La prima opzione, richiede alta affidabilità dei valori quantitativi usciti dalle mappe. Ciò non è sempre vero, in particolare non nel nostro caso, per le ragioni di approssimazione spiegate a pag. 6 del report conclusivo della Azione 1 della presente Linea progettuale; sostanzialmente la procedura adottata per le simulazioni non garantisce l'attendibilità del dato quantitativo, ma preserva l'affidabilità rispetto ai diversi gradienti di esposizione: si è cercato cioè di evitare errori di approssimazione del dato che non fossero omogenei sull'intera area di indagine. Peraltro in un modello epidemiologico, per vari motivi, non ultimo quello di più immediata comprensione del risultato, è preferibile utilizzare variabili ordinali, piuttosto che quantitative su questo tipo di informazioni. Per queste ragioni l'ipotesi 1 è stata accantonata.

Per quanto riguarda l'esposizione ad inceneritori, il disegno di studio è stato tale da massimizzare l'omogeneità delle procedure su tutti i siti, garantendo quindi un'alta omogeneità delle procedure di attribuzione del valore di esposizione calcolato: tutti i dati utilizzati, infatti, sono dati prodotti all'interno del progetto Monitor, quindi legati a procedure comuni.

Per cui, rispetto alla scelta 2 o 3, si è privilegiata la prima, anche perché, per le considerazioni di omogeneità appena riportate, l'introduzione di una variabile sito-specifica rischiava di introdurre un sovraggiustamento nella variabile di

esposizione.

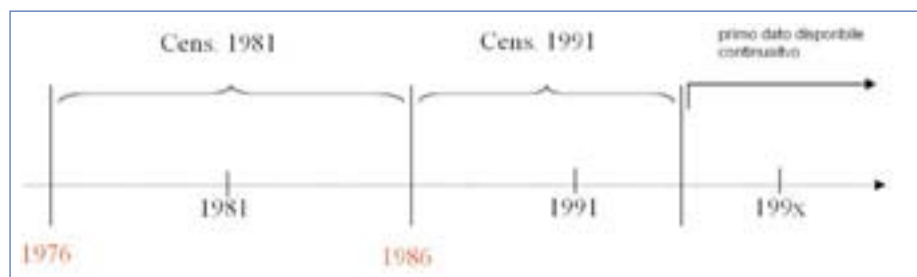
Questo discorso, applicato all'esposizione ad altre fonti, regge per quanto riguarda l'omogeneità delle procedure adottate e del trattamento delle fonti considerate. Risulta viceversa impossibile garantire una pari omogeneità per quanto riguarda i dati di partenza utilizzati per le simulazioni, che provengono dall'esterno e quindi non creati all'interno del progetto Monitor per le finalità del progetto stesso (ad es. i dati di flussi di traffico per ogni sito). Per questo motivo, nello studio epidemiologico della LP4 i risultati ottenuti con una classificazione fatta su tutto il pool sono stati verificati con opportune analisi di sensibilità, (vedi paragrafo 4 della relazione finale LP4 sugli esiti riproduttivi).

Valutazione dell'esposizione per la coorte dei residenti

Tutte le residenze georeferenziate sono state sovrapposte alle mappe di dispersione di inquinanti in atmosfera elaborate nell'ambito della Linea progettuale 2. Per ogni inceneritore sono state fornite mappe di ricadute relative a periodi di attività impiantistica considerati "omogenei" per tipologia dell'impianto e normativa vigente. Ogni sito è quindi diverso dagli altri in termini di inizio di attività dell'impianto e di inizio di disponibilità di informazioni continuative sulla storia residenziale dei soggetti della coorte.

Esposizione ad inceneritore

Per caratterizzare l'esposizione alle ricadute degli inceneritori sono state utilizzate le simulazioni di dispersione per l'inquinante PM10. Per quanto riguarda l'esposizione alle altre fonti (traffico, attività industriali, riscaldamento urbano ed agricoltura) si è scelto di utilizzare gli NOx come indicatori di esposizione. Per ciascun soggetto è stata ricostruita la storia residenziale in base alle informazioni fornite dalle anagrafi. Ad ognuna delle residenze è stato assegnato un valore di esposizione alle ricadute dell'inceneritore nel relativo periodo di residenza, considerando l'esposizione assente nel caso in cui l'impianto non fosse in funzione. In base alle date dei movimenti dei soggetti si è poi stabilita la presenza/assenza del soggetto in ciascuna residenza per ciascun anno. Per ricostruire la più lunga possibile storia residenziale retrospettiva, è stata richiesta alle Anagrafi l'informazione relativa ai censimenti 1991 e 1981. In caso di ritorno positivo del dato, è stata seguita la seguente procedura per assegnare la residenza dei soggetti nel periodo 1981 - primo dato disponibile.



Rimangono periodi di attività degli impianti per i quali non vi sono conoscenze circa le residenze dei soggetti della coorte; questi periodi sono peraltro i più rilevanti da un punto di vista del potenziale impatto sulla salute, in quanto riguardano i periodi della cosiddetta “vecchia generazione” degli impianti.

Considerando poi le banche dati sanitarie da associare alle esposizioni nello studio di coorte, il primo dato disponibile in maniera omogenea su tutto il territorio regionale è il dato di mortalità a partire dal 1995.

Ogni sito è diverso dagli altri in termini di inizio di attività dell'impianto e di inizio di disponibilità di informazioni continuative sulla storia residenziale dei soggetti della coorte.

Un riassunto grafico è riportato sotto.

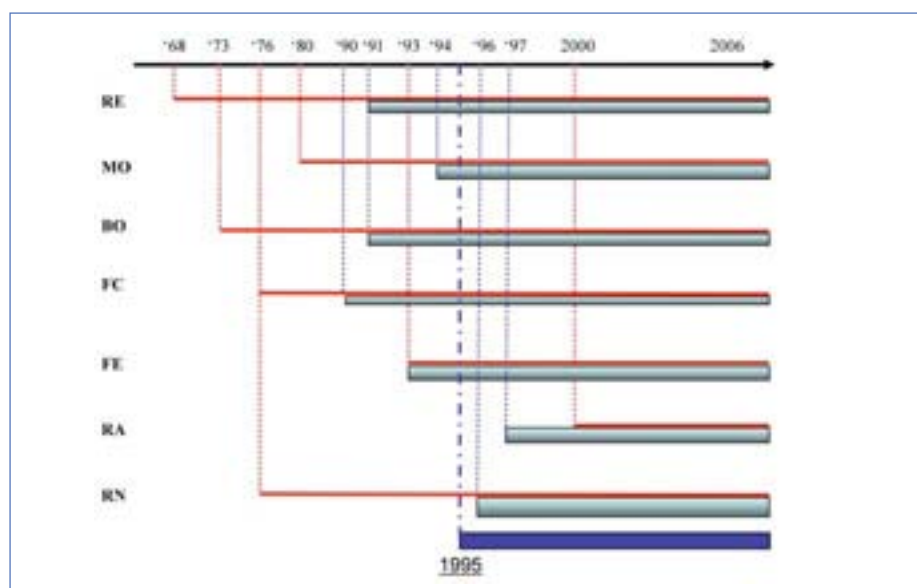


Grafico 1. Disponibilità di informazioni sulla storia residenziale retrospettiva dei soggetti (linea grigia)

La linea rossa indica l'attività dell'impianto, la barra sottostante la disponibilità dei dati anagrafici.

Come risulta chiaro, nella maggior parte dei siti vi sono periodi di attività dell'inceneritore per i quali non corrisponde una conoscenza della storia residenziale (e dello stato di salute) della popolazione.

Questa situazione non ha permesso di utilizzare l'indicatore di esposizione cumulativa “lifetime” (dal primo funzionamento degli impianti o dalla nascita).

Questo indicatore, sicuramente il migliore approssimatore della reale esposizione, è stato applicato alla sottocoorte formata da tutti i soggetti per cui è disponibile l'intera storia residenziale in relazione al periodo di attività dell'impianto.

E' stato quindi assegnata ad ogni soggetto della coorte l'esposizione puntuale relativa alla mappa relativa all'anno 1995 (1996 per il sito di Rimini).

Esposizione a tutte le altre fonti

Per quanto riguarda le altre fonti, è stata ripetuta la procedura utilizzata per la popolazione dei nati, in quanto era disponibile solamente il medesimo tipo di informazioni (mappa di ricaduta degli inquinanti per la situazione attuale).

Risultati

Popolazione dei nati

La tabella sotto riporta la popolazione dei nati utilizzata come base per le indagini epidemiologiche, suddivisa per sito di appartenenza.

| Sito | Nati |
|--------|--------|
| BO | 925 |
| FE | 345 |
| FO | 1,553 |
| MO | 2,282 |
| PC | 2,078 |
| RA | 3 |
| RE | 3,279 |
| RN | 1,475 |
| Totale | 11,940 |

Nati inclusi nell'analisi, per sito.

Il grafico sottostante riporta la distribuzione delle esposizioni (media su tutto il periodo della gravidanza) dei nati per ciascun sito espressi come valore logaritmico del PM10.

Le differenze tra i diversi siti sono riconducibili sostanzialmente a due fattori: la diversa distribuzione della popolazione residente all'interno delle varie aree, alla diversa portata degli impianti e il fatto che l'impianto di Reggio-Emilia è stato spento per un periodo prolungato negli anni di osservazione.

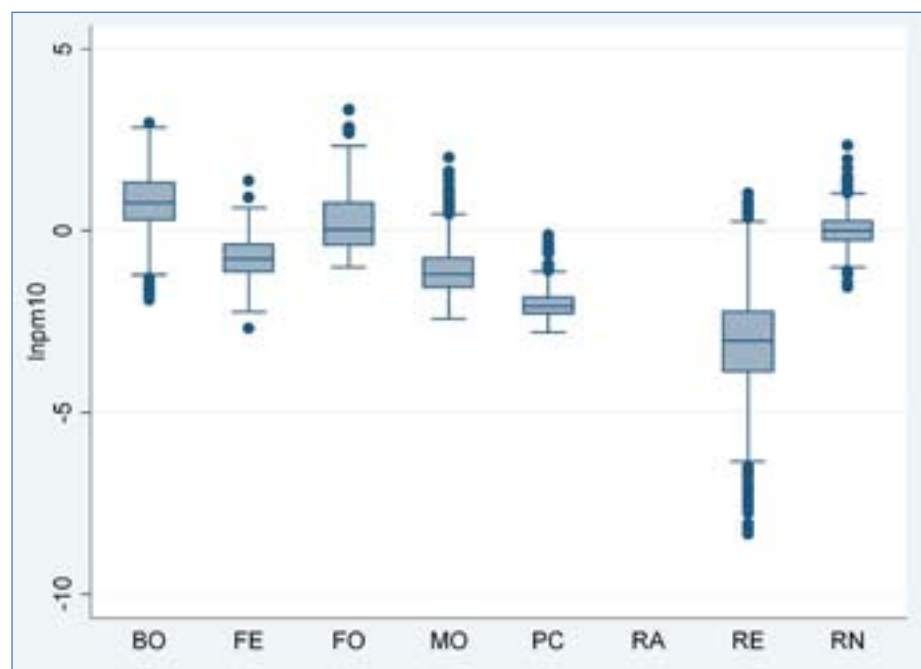


Grafico 2: Esposizione media dei nati per sito, espressa in valore logaritmico. I rettangoli indicano il range interquartile della distribuzione (l'intervallo in cui si colloca il 50% centrale dei dati), le linee continue i valori fino a 1.5 volte il range interquartile, i punti estremi gli outlier della distribuzione.

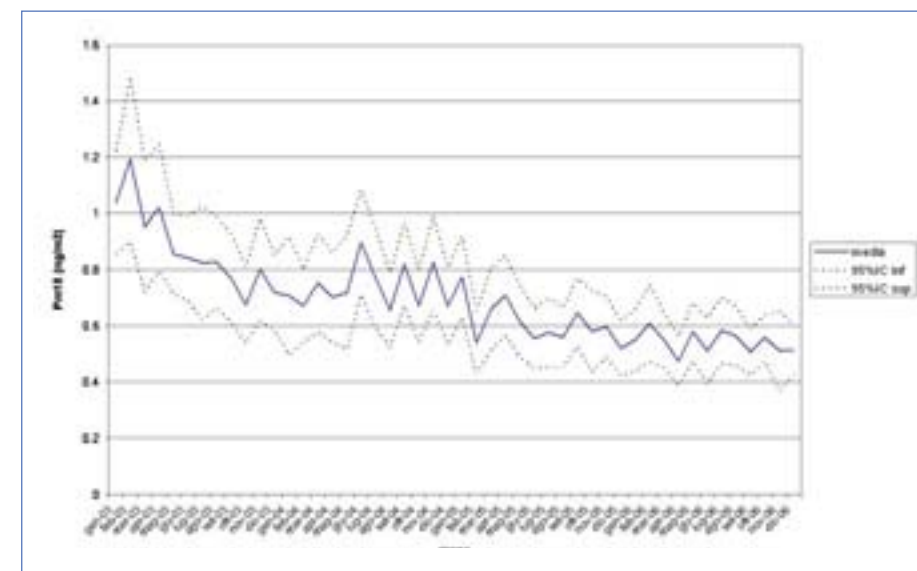


Grafico 3: Andamento temporale del valore medio di esposizione mensile della popolazione dei nati su tutti i siti.

Nel grafico superiore viene descritto l'andamento temporale complessivo del valore medio di esposizione mensile (PM10 in ng/m³) per tutti i siti considerati complessivamente.

Sono stati anche calcolati i valori di esposizione ad inceneritore per i tre mesi prima della gravidanza, e per i singoli trimestri di gravidanza. I risultati hanno dato valori molto correlati tra loro, con un indice di concordanza pesato (kappa di Cohen) variabile tra 0.74 e 0.94, calcolato correlando i vari periodi trimestrali di gravidanza di ciascun soggetto.

Coorte retrospettiva

Considerando le limitazioni di periodo di follow-up, dovute alle disponibilità di informazioni sulla storia residenziale e sui dati omogenei di mortalità, è stata definita come coorte di studio per le indagini epidemiologiche quella costituita dai residenti al 1995 (1996 per il sito di Rimini).

Tale coorte è costituita da 219615 soggetti, così ripartita tra i siti:

| sito | Soggetti | % |
|---------------|---------------|---------------|
| BO | 22719 | 10.34 |
| FE | 7375 | 3.36 |
| FC | 42296 | 19.26 |
| MO | 51849 | 23.61 |
| RE | 64692 | 29.46 |
| RN | 30684 | 13.97 |
| Totale | 219615 | 100.00 |

La figura seguente riporta per i diversi siti il valore medio di esposizione, calcolato come media dell'esposizione di tutti i soggetti presenti per ciascun anno, per il periodo di studio della coorte.

