



**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

  
monitor

Monitoraggio degli inceneritori nel territorio dell'Emilia-Romagna

“Quaderni di Monitor”

Collana di documentazione a cura di

Regione Emilia-Romagna

Servizio Comunicazione, Educazione alla sostenibilità

Responsabile: Paolo Tamburini

Arpa Emilia-Romagna, Area Comunicazione

Responsabile: Mauro Bompani

Ha collaborato: Barbara Murtas

Creatività

Pablo Comunicazione - Bologna

Realizzazione tipografica a cura del Centro stampa  
della Regione Emilia-Romagna



**I risultati del progetto Monitor.  
Gli effetti degli inceneritori  
sull'ambiente e la salute  
in Emilia-Romagna**

Bologna, novembre 2011

# Le domande sugli effetti degli inceneritori e le risposte di Monitor

Le “domande di conoscenza” che stavano all’origine del progetto Monitor erano le seguenti: quali sono i principali inquinanti emessi dagli inceneritori situati in Emilia-Romagna? Le emissioni degli inceneritori sono distinguibili da quelle delle altre fonti di inquinamento atmosferico? Quanto influiscono sulla qualità dell’aria e dell’ambiente circostante? Abitare vicino a un inceneritore ha causato negli anni un aumento del rischio per la salute?

Questo “Quaderno di Monitor”, il quarto in ordine di uscita della serie, espone in estrema sintesi i risultati del lavoro delle sette linee progettuali in cui si è articolato il progetto, che per quasi quattro anni ha impegnato molte decine di tecnici e ricercatori e numerose istituzioni nella ricerca di risposte rigorose a quelle domande. All’inizio del volume è stato inserito uno schema che evidenzia le correlazioni tra le diverse linee progettuali.

Il Quaderno ha contenuto e finalità di alta divulgazione, nella misura in cui è possibile rendere accessibili a un pubblico non specializzato i prodotti di un progetto di ricerca molto complesso, promosso dalla Regione Emilia-Romagna, che lo ha voluto e finanziato, servendosi principalmente di Arpa Emilia-Romagna per la gestione e la conduzione tecnico scientifica e amministrativa. Le relazioni finali delle sette linee progettuali sono pubblicate sul sito [www.monitor.it](http://www.monitor.it), complete di tutti gli studi metodologici e della versione analitica dei monitoraggi svolti e delle analisi effettuate sulle emissioni, la dispersione degli inquinanti in aria, i suoli, la salute degli abitanti in prossimità degli inceneritori, la tossicità di aria e suolo, e così via.

Il Comitato scientifico, costituito all’inizio del progetto e composto da importanti studiosi e tecnici, che gratuitamente hanno verificato ogni fase del progetto e ne hanno discusso e validato ogni singolo risultato parziale, le relazioni finali e le presenti sintesi, si esprime nelle pagine iniziali del Quaderno sugli esiti complessivi di Monitor. Ogni linea progettuale ha anche realizzato in un riquadro delle “sintesi delle sintesi”, che in poche righe rappresentano le evidenze delle singole ricerche.

## indice

### **I risultati del progetto Monitor. Gli effetti degli inceneritori sull’ambiente e la salute in Emilia-Romagna**

Il progetto Monitor *Benedetto Terracini* | p.4

Schema generale e correlazioni tra le diverse linee progettuali | p.6

Valutazione del Comitato Scientifico di Monitor a conclusione del progetto | p.9

### **Le linee progettuali**

- 1 | p.27** Caratterizzazione del materiale particolato emesso dagli inceneritori in esercizio nelle aree di indagine
- 2 | p.43** Organizzazione e realizzazione della sorveglianza ambientale nelle aree di indagine
- 3 | p.77** Valutazione dell’esposizione umana e implementazione sistema informativo integrato
- 4 | p.93** Valutazione degli effetti sulla salute nella popolazione oggetto di indagine
- 5 | p.107** Valutazione degli effetti tossicologici dell’aria prelevata in prossimità degli impianti di incenerimento
- 6 | p.141** Definizione di un protocollo per la Valutazione di impatto sanitario
- 7 | p.149** Comunicazione

**Benedetto Terracini**

Direttore della rivista  
Epidemiologia  
& Prevenzione,  
Presidente del  
Comitato scientifico  
di Monitor

## Il progetto Monitor

Nel 2007 la Regione Emilia-Romagna decise di investire oltre tre milioni di Euro in una serie di indagini intese a chiarire – nei limiti degli strumenti di ricerca disponibili - gli effetti ambientali e sanitari degli inceneritori di rifiuti urbani presenti in regione (otto attivi in quel momento e uno dismesso da qualche tempo).

La complessa serie di indagini ha preso il nome di Monitor (Monitoraggio degli inceneritori nel territorio dell'Emilia-Romagna) ed è stata condotta da decine di tecnici e specialisti qualificati, prevalentemente di Arpa Emilia-Romagna e della Regione, affiancati da apporti provenienti da altri centri di ricerca e università.

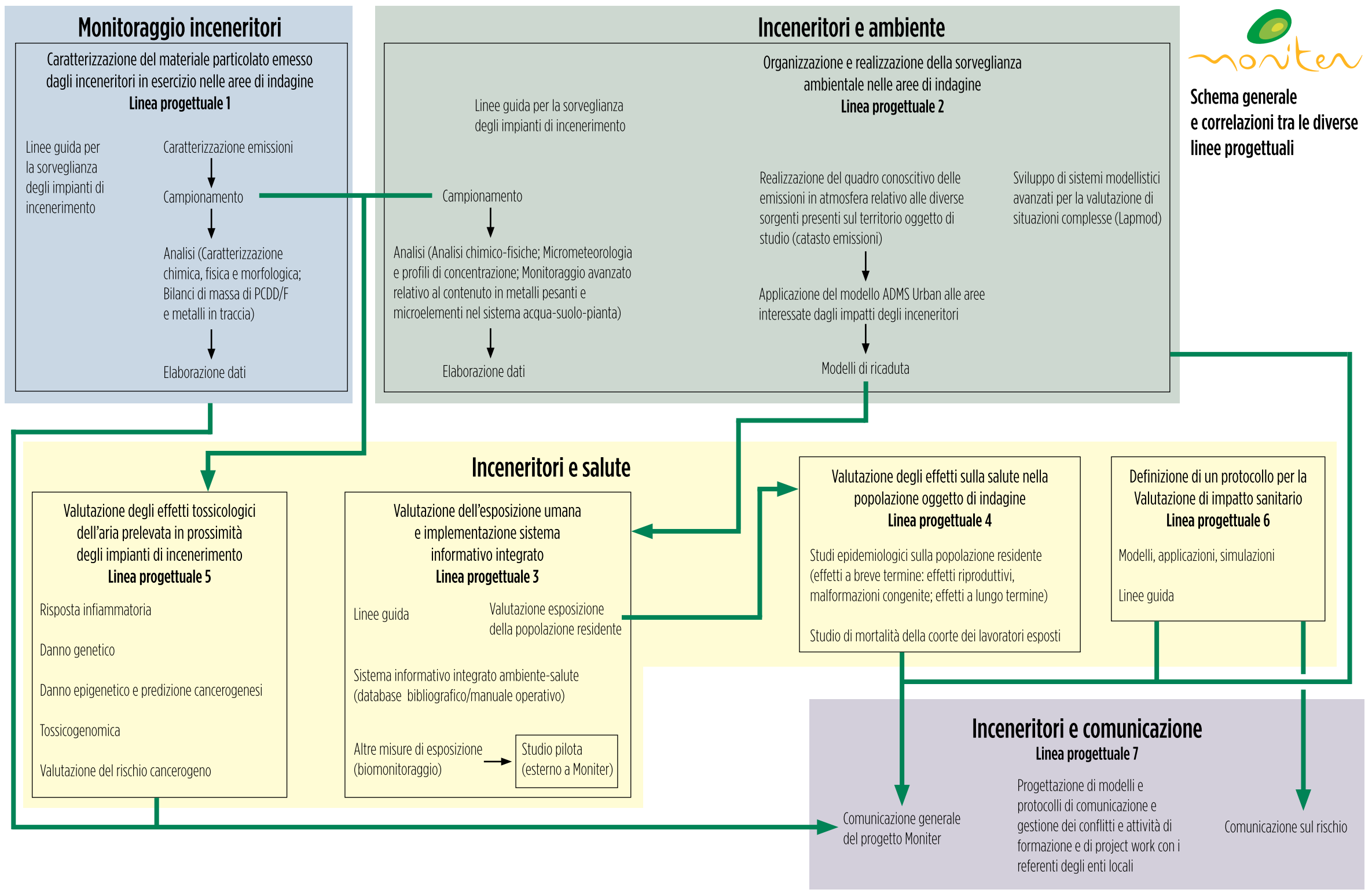
Il progetto si svolge su una vasta ampiezza di temi. Sono cinque le linee di intervento tecnico scientifico esperite: indagine sulle emissioni in atmosfera degli impianti, indagine sulle ricadute e sugli effetti ambientali, individuazione della popolazione esposta nel corso degli scorsi decenni agli inceneritori e indagine epidemiologica sulla loro salute (400.000 persone, circa il 10% della popolazione regionale!), ricerche di laboratorio sugli effetti tossici delle emissioni dagli impianti.

Ad esse si affiancano una linea di intervento volta a definire un protocollo per la Valutazione di Impatto Sanitario (VIS) della realizzazione di infrastrutture e una linea di comunicazione del progetto e dei suoi risultati. Infatti, parte della motivazione a realizzare questo impegnativo progetto nasce dalle sollecitazioni che settori della cittadinanza avanzano verso la Pubblica Amministrazione e le autorità sanitarie e ambientali, spinti da ansie e timori per gli effetti che questa forma di smaltimento dei rifiuti genera. La definizio-

ne partecipata di strategie di contenimento dei rischi e di tutela della salute sottintende una continua e trasparente comunicazione tra ricercatori e pubblico, in merito tanto a risultati scientifici validati quanto alle incertezze che i risultati stessi lasciano. A garanzia della qualità dei vari protocolli di indagine elaborati, della fattibilità del progetto e delle sue fasi e dell'adeguatezza delle risorse e delle tecnologie impegnate, è stato chiamato un "nucleo di saggi", che ho avuto l'onore e l'onere di presiedere: scienziati e specialisti estranei a progettazione e svolgimento della ricerca e privi di alcun interesse confliggente con il ruolo di garanti loro attribuito. La separatezza è stata totale, al punto che il Comitato scientifico (questo il nome formale del nucleo di saggi) ha richiesto e ottenuto di operare a titolo gratuito. Nel corso dei tre anni di svolgimento delle attività di Monitor il rapporto con i responsabili del progetto è stato costante e proficuo: numerosi elementi di approfondimento sono stati introdotti, varie volte ci si è confrontati in modo schietto e senza nascondere dubbi e divergenze: i risultati delle attività presentati in questa collana editoriale di tipo semi-divulgativo (e più approfonditamente in pubblicazioni destinate alla stampa specializzata) sono dunque da intendersi condivisi nella metodologia, nelle procedure e negli esiti dal Comitato scientifico. In caso diverso, sono esposte e pubblicate le eventuali differenze di valutazione riguardanti questo o quell'aspetto delle singole ricerche.



### Schema generale e correlazioni tra le diverse linee progettuali





# Valutazione del Comitato Scientifico di Monitor a conclusione del progetto

## Premessa

La delibera della Regione Emilia-Romagna n. 59 del 30 aprile 2007, che ha avviato il progetto Monitor, ha indicato “i seguenti obiettivi:

1. Uniformare le metodologie di monitoraggio ambientale degli impianti di incenerimento rifiuti, nonché acquisire nuove conoscenze relative alle caratteristiche qualitative e quantitative delle emissioni in atmosfera rilasciate da tali impianti.
2. Valutare, con approccio omogeneo, lo stato di salute della popolazione esposta alle emissioni degli inceneritori di RSU.
3. Valutare la qualità dell’aria in prossimità degli inceneritori in relazione alla possibile induzione di processi infiammatori, acuti e cronici, nonché di effetti mutageni e cancerogeni del particolato.
4. Mettere a punto un modello di stima dell’impatto sanitario, da usare per la valutazione preventiva di futuri impianti ad impatto atmosferico.”

Per raggiungere questi obiettivi, si proponeva una serie di interventi, che si possono così riassumere:

- a. Sviluppo di una metodologia di campionamento delle emissioni degli inceneritori in esercizio, con caratterizzazione chimica, fisica e morfologica.
- b. Organizzazione e realizzazione della sorveglianza ambientale nelle aree circostanti gli impianti, con sviluppo di sistemi modellistici avanzati per la valutazione di situazioni complesse, con più fonti di pressione ambientale coesistenti.

- c. Valutazione dell'esposizione della popolazione residente nelle aree circostanti gli impianti e realizzazione di studi epidemiologici per stimarne gli effetti sulla salute.
- d. Valutazione di effetti a breve termine (danno genetico e risposta infiammatoria) e a lungo termine (trasformazione neoplastica) indotti da campioni di aria rappresentativi dell'attività di un inceneritore a confronto con campioni di aria interessati da differenti pressioni antropiche.
- e. Definizione di un protocollo per la valutazione di impatto sanitario
- f. Sviluppo di un sistema per la comunicazione delle varie tappe progettuali (avvio, processo, esiti conclusivi) e definizione di azioni utili a facilitare e migliorare il processo di comunicazione sul rischio ambientale in generale."

A questi interventi ha largamente corrisposto l'attività di ciascuna delle sette linee progettuali di Monitor. In particolare, all'obiettivo "c." hanno corrisposto le attività delle linee progettuali 3 e 4.

A conclusione del progetto, ciascuna linea ha elaborato un rapporto dettagliato delle proprie attività (reperibili sul sito [www.arpa.emr.it/monitor/](http://www.arpa.emr.it/monitor/)) e un *executive summary* che fa parte del presente documento. I rapporti interinali e quelli finali delle linee progettuali, compresi gli *executive summary*, sono stati oggetto di discussione e di approvazione da parte del Comitato Scientifico. Nel corso del progetto, si sono tenute 11 riunioni formali del Comitato Scientifico con i responsabili delle linee progettuali insieme ai loro collaboratori. Di ciascuna riunione è stato redatto, discusso e approvato un verbale. I verbali sono reperibili nel sito Monitor alla pagina [www.arpa.emr.it/pubblicazioni/monitor/generale\\_770.asp](http://www.arpa.emr.it/pubblicazioni/monitor/generale_770.asp).

In questa presentazione del rapporto conclusivo di Monitor, il Comitato Scientifico fornisce una valutazione complessiva dei risultati raggiunti e dà qualche indicazione sugli ulteriori sviluppi della ricerca legata alla presenza di impianti di incenerimento. Le osservazioni del Comitato scientifico sono articolate secondo l'ordine dei risultati attesi di Monitor indicati nella delibera regionale.

## Osservazioni del Comitato Scientifico

### 2.1. Aspetti ambientali

#### 2.1.1. Omogeneizzazione delle modalità di monitoraggio ambientale e dei relativi indicatori

##### 2.1.1.1. Emissioni

La produzione di linee guida è stata effettuata con metodologia corretta e costituisce un punto di riferimento per gli operatori.

Nelle emissioni degli inceneritori di rifiuti urbani della regione, dai dati correnti, tutti gli inquinanti sottoposti a limite normativo risultano essere al di sotto delle concentrazioni massime ammesse e ai limiti autorizzati (si tenga presente tuttavia che i limiti non tengono conto delle possibili interazioni tra inquinanti diversi). Le emissioni di ogni inceneritore sono state successivamente utilizzate per la definizione dei livelli di esposizione della popolazione, attraverso l'applicazione di un modello matematico di dispersione al suolo (vedi paragrafo 2.1.2.3.)

I metodi per la caratterizzazione del materiale particolato emesso dagli inceneritori sono stati messi a punto per l'inceneritore di Bologna, denominato "Frullo" e sono applicabili anche agli altri inceneritori della regione. Ciò che si ritiene esportabile dai risultati del progetto Monitor per il monitoraggio di altri inceneritori di rifiuti urbani, non sono i valori dei singoli inquinanti stimati al Frullo (e neppure le stime della qualità dell'aria e lo studio delle proprietà tossicologiche dei materiali prelevati in vicinanza dell'inceneritore), bensì l'indicazione dei parametri sui quali focalizzare l'attenzione e le relative metodologie di indagine.

Le precisazioni temporali, tecnologiche e sulle modalità di esercizio dell'impianto sono essenziali per circostanziare correttamente valore e limiti di questa indagine. I risultati non sono quelli di un inceneritore come funzionava quaranta o anche dieci anni fa, né quelli di un inceneritore come funziona oggi nel caso di tecnologie non all'avanguardia, bensì quelli di un inceneritore dotato della più recente tecnologia con una gestione ottimale.

Lo sforzo fatto al Frullo è notevole e lo dimostra tra l'altro la quantità di para-

metri misurati, che vanno al di là di quanto previsto dalla normativa vigente. È stato programmato e successivamente posto in opera un consistente piano sperimentale di campionamento e misura. La comparazione dei risultati con indagini analoghe o similari è un valore aggiunto per la corretta contestualizzazione degli esiti della Linea progettuale 1.

Per quanto riguarda il raffronto con i limiti di legge, i risultati delle misure effettuate evidenziano quanto già noto agli addetti ai lavori (ma forse meno al pubblico in generale), e che cioè un inceneritore dotato delle migliori tecnologie ad oggi disponibili e gestito al meglio (il richiamo alle tecnologie e alla modalità di gestione non è incidentale) emette particolato, diossine, furani, idrocarburi policiclici aromatici e metalli in misura di molto inferiore agli attuali valori limite di emissione.

### 2.1.1.2 Qualità dell'aria

La produzione di linee guida è stata effettuata con metodologia corretta e costituisce un punto di riferimento per gli operatori.

L'organizzazione e realizzazione della sorveglianza ambientale nelle vicinanze degli inceneritori si è concentrata sulla discriminazione del contributo dell'inceneritore all'inquinamento dell'aria rispetto alle altre fonti di emissione.

A tale scopo sono state svolte indagini intorno all'inceneritore del Frullo, mettendo in campo attività sia modellistiche che sperimentali, sempre baricentrate sul particolato. La modellistica, propedeutica alle misure in campo, è stata orientata a individuare sul territorio coppie di punti che differiscono solo per l'impatto dell'inceneritore (massimo in uno, minimo nell'altro): l'idea di base è che eventuali differenze tra i due siti vanno ragionevolmente ascritte all'inceneritore. Le analisi modellistiche realizzate sono state portate avanti nella consapevolezza che il "segnale" da catturare (il contributo delle emissioni dell'inceneritore all'inquinamento dell'aria) potrebbe essere più piccolo del "rumore di fondo". Sulla base delle risultanze modellistiche si sono individuati i siti dove realizzare le campagne sperimentali di misura di concentrazione in aria di inquinanti.

Al Frullo, i risultati delle indagini sperimentali confermano la attuale impossibilità di identificare, con misure di concentrazioni in massa di particolato, una "traccia" dell'inceneritore: in altre parole i punti sul territorio circostante l'ince-

neritore dove si è stimato modellisticamente che il suo impatto è massimo e quelli dove si è stimato essere minimo non differiscono significativamente tra loro sulla base delle misure effettuate. In una analisi micrometeorologica, l'andamento dell'inquinamento atmosferico durante le ore della giornata, sia nel periodo invernale che estivo, sia nei giorni feriali che festivi, è risultato compatibile con le emissioni delle attività tipicamente urbane e in particolare del traffico veicolare.

Il passo successivo è stato l'esame sperimentale delle singole specie chimiche del particolato misurato nell'aria e la successiva elaborazione dei dati, nel tentativo di trovare uno o più marker delle emissioni dell'inceneritore: anche questa strada, peraltro condotta a fondo facendo uso tra l'altro di analisi statistiche multivariate, ha confermato la non riconoscibilità di una traccia "chiara e distinta" dell'impatto dell'inceneritore sulla qualità dell'aria.

Il monitoraggio del contenuto di microinquinanti nel suolo riveste particolare interesse in quanto il suolo, contrariamente all'aria, ha memoria delle deposizioni inquinanti succedutesi nel corso degli anni. In tutti i siti nelle vicinanze del Frullo che sono stati indagati è stato evidenziato un indice di geoaccumulo per i 12 metalli analizzati che va da "non contaminato" a "moderatamente contaminato", con l'eccezione del piombo. Campionamenti effettuati nell'arco di due anni evidenziano che la ricaduta di inquinanti al suolo va ascritta principalmente all'azione inquinante del traffico veicolare a cui si vanno sovrapponendo localmente fenomeni di contaminazione di differente origine.

### 2.1.2. Valutazione di aspetti ambientali poco noti

#### 2.1.2.1. Presenza e composizione delle particelle fini e ultrafini

La mole di dati, informazioni e prodotti scaturiti dalle attività intese a caratterizzare il materiale particolato emesso dall'inceneritore del Frullo è cospicua. Il focus è la caratterizzazione delle polveri (dette anche particolato) emesse al camino di un inceneritore. Delle polveri si sono indagate le dimensioni ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$ , nanopolveri, ecc.) le caratteristiche fisiche e morfologiche, la composizione chimica e la numerosità in un'ottica che, oltre a consentire un raffronto con i limiti alle emissioni imposti dalla normativa, fornisce iniziali risposte a quesiti e problemi che si sono oramai stabilmente affacciati all'attenzione non



solo del mondo della ricerca ma anche presso l'opinione pubblica e i *mass media*. Ci si riferisce in particolare alle *nanopolveri* le cui dimensioni, inferiori a 100 nanometri, le rendono trascurabili in termini di massa (e i valori limite delle polveri attualmente previsti dalla normativa sono tutti riferiti a *concentrazioni in massa*), per cui un loro apprezzamento va fatto in termini di *numerosità*, con metodiche diverse da quelle adottate tradizionalmente. Al Frullo, in tutte le condizioni di prelievo, le distribuzioni dimensionali del numero di particelle appaiono fortemente caratterizzate dalla frazione delle nanopolveri, con la moda dei diametri sistematicamente collocata in corrispondenza della classe dimensionale più ridotta (20 nanometri). In un confronto con risultati delle misure fatte con dati disponibili su caldaie per riscaldamento, il numero di particelle emesse dall'inceneritore - per unità di volume - è risultato inferiore, anche di molto (da 100 a 10.000 volte), rispetto a quello di caldaie a pellet di legna e a gasolio, e superiore di circa dieci volte a quello di caldaie a gas naturale.

#### 2.1.2.2. *Presenza di composti ad elevati rischi ambientale e sanitario*

Al Frullo è stato stimato che le diossine emesse dall'impianto sono in quantità inferiore a quelle entrate. Le diossine prodotte vengono trattenute principalmente nelle polveri dei filtri a maniche, mentre l'emissione gassosa a camino incide per 0.01% del totale emesso.

Le analisi di diossine e furani hanno messo in evidenza che non esistono emergenze di accumulo di tali microinquinanti nel terreno.

#### 2.1.2.3. *Valutazione dell'esposizione nella popolazione*

Nel primo anno di attività, la produzione di linee guida per la valutazione dell'esposizione di popolazioni residenti in aree dove sono presenti inceneritori è stata effettuata con metodologia corretta e costituisce un punto di riferimento per gli operatori.

Successivamente, l'attenzione è stata rivolta alla preparazione delle basi di dati per gli studi epidemiologici sui residenti in un'area di 4 km di raggio intorno a ciascun inceneritore. Le popolazioni studiate sono state due: gli 11.937 neonati nel 2003-2006 e i 237.995 residenti al 1995. Per i residenti,

la non-completezza delle informazioni disponibili ha orientato la scelta sulla esposizione all'inizio dell'arruolamento nella coorte, cioè al 1995. A Modena, dove l'inceneritore è attivo dal 1980, è stato possibile creare una coorte di soggetti residenti ininterrottamente dal 1982. In altre popolazioni è stato possibile creare la coorte dei residenti dal 1991. In tutte le popolazioni, l'esposizione attribuita è stata quella del 1995. Il gruppo di lavoro è stato dapprima impegnato nella raccolta e "ripulitura" degli elenchi dei residenti e nella ricostruzione della storia residenziale di ciascun soggetto incluso nella coorte dei residenti. Contestualmente, è stato sviluppato un metodo di valutazione dell'esposizione individuale al  $PM_{10}$  prodotto dall'impianto, basato sul calcolo delle concentrazioni stimate da modelli di ricaduta a livello di numero civico residenziale. Con modello analogo è stata stimata l'esposizione ad altre fonti (traffico, industria, agricoltura, riscaldamento). Sono quindi state identificate cinque classi di soggetti ad esposizione crescente.

Per il complesso della popolazione neonatale studiata, è stata calcolata l'esposizione media a  $PM_{10}$  valutata su tutta la gravidanza: l'esposizione a  $PM_{10}$  originato dagli inceneritori si è pressochè dimezzata tra il 2003 e il 2006.

## 2.2. **Aspetti sanitari**

### 2.2.1. *Valutazione epidemiologica degli effetti di salute nella popolazione residente in prossimità degli inceneritori*

Sono state effettuate due serie di stime retrospettive nelle popolazioni residenti intorno agli otto inceneritori attivi in Emilia-Romagna. Nella coorte della popolazione residente sono state stimate mortalità per causa e incidenza tumorale nel 1995-2006 su tre diversi gruppi di popolazione.

Nella coorte dei neonati, attraverso un linkage con il data base CedAP (Certificato di assistenza al parto) sono stati stimati i principali esiti delle gravidanze: peso alla nascita, nascite gemellari, nascite pretermine, neonati piccoli per età gestazionale, basso peso alla nascita dei nati a termine, rapporto maschi/femmine alla nascita.

Sia per i componenti della popolazione generale, sia per i neonati, gli indirizzi

di ciascun soggetto sono stati georeferenziati e caratterizzati da uno specifico livello di esposizione a PM10 di origine dall'inceneritore e da altre fonti. Gli indirizzi sono stati quindi distribuiti in cinque classi di esposizione, in modo da potere effettuare confronti interni. I confronti interni e il controllo dei potenziali confondenti sono stati effettuati con metodologia statistica affidabile. Dato il disegno dello studio, è da escludere che i risultati possano esprimere distorsioni da informazione. Nello studio sugli esiti delle gravidanze, circa l'8% dei neonati hanno dovuto essere esclusi per fallimento delle procedure di linkage: non vi sono elementi per ritenere che questa esclusione abbia comportato una distorsione da selezione. Complessivamente quindi le osservazioni sono da considerare attendibili.

È inoltre stata stimata - nei limiti dei database disponibili - la prevalenza di malformazioni congenite alla nascita.

#### 2.2.1.1. Effetti a lungo termine sulla popolazione residente

Sono state esplorate le cause di morte e le sedi tumorali più frequenti e per le quali esisteva in letteratura qualche segnalazione di associazione con l'esposizione in studio. Il gruppo di lavoro e il Comitato scientifico hanno focalizzato l'attenzione sui confronti interni alla popolazione esposta. Questi hanno identificato - tra i cinque sottogruppi con esposizione crescente - i seguenti trend statisticamente significativi ( $p < 0.05$ ): - (trend "positivo" nel caso di un aumento della stima rischio con l'aumento della esposizione, trend "negativo" nel caso di una diminuzione della stima del rischio con l'aumento dell'esposizione):

- Nella coorte generale, trend negativo per la mortalità per malattie cardiocircolatorie negli uomini (associato a un trend positivo al limite della significatività statistica nelle donne)
- Nella coorte generale, trend positivo per la mortalità per tumori primitivi del fegato nei soli uomini, associato ad eccesso statisticamente significativo nei gruppi maggiormente esposti (IV e V) rispetto ai meno esposti. Osservazione non confortata da un corrispondente trend nelle analisi di incidenza. Il trend negli uomini è riconoscibile anche nella "coorte 91", con significatività

borderline.

- Nella coorte generale, trend positivo per l'incidenza dei tumori primitivi del pancreas nei soli uomini (confortato da un eccesso di mortalità nel confronto tra esposti delle categorie II-V rispetto ai meno esposti). Il trend negli uomini è riconoscibile anche nella "coorte 91".
- Nella coorte generale (e anche nella "coorte 91"), trend negativo per l'incidenza del mieloma multiplo nelle donne ma non negli uomini.
- Nella "coorte 91", trend positivo per la mortalità per cancro della vescica negli uomini (non confortato da un corrispondente trend per l'incidenza)
- Trend negativo per l'incidenza del cancro della mammella nelle donne, limitatamente alla sottocoorte dei residenti dal 1991
- Trend positivo per la mortalità per cancro del colon nelle sole donne limitatamente alla sottocoorte dei residenti dal 1991.
- Trend negativo per l'incidenza del cancro della laringe nei soli uomini nella "coorte Modena".
- Trend positivo per l'incidenza del cancro del colon nelle sole donne nella "coorte Modena".

Dato il grande numero (oltre 190) di test statistici per il trend che sono stati effettuati, è da ritenersi che queste osservazioni esprimano fluttuazioni casuali, anche per la mancanza di replicazione delle osservazioni tra un sesso e l'altro. Per i tumori del fegato, del colon e della mammella, nella letteratura vi sono evidenze di una associazione con la residenza nelle vicinanze di inceneritori, ma si tratta di evidenze limitate e discutibili. Pertanto, allo stato attuale, il Comitato Scientifico non ritiene di attribuire ad esse un particolare significato a fini di inferenza causale e di salute pubblica.

Non sono stati osservati trend o comunque eccessi per i sarcomi dei tessuti molli, per i quali la letteratura scientifica riporta alcuni indizi di associazione con l'esposizione a diossine o alle emissioni di inceneritori.

Un commento a parte meritano le osservazioni sulla incidenza di linfomi non Hodgkin nella "coorte Modena". Né negli uomini né nelle donne è riconoscibile un trend statisticamente significativo. Tuttavia, se si raggruppano i dati relativi ai due sessi nella categoria di massima esposizione, emerge - rispetto

alla categoria di minima esposizione - un rischio relativo di 1.86 (0.92-3.74), basato su 26 casi. L'osservazione corrisponde ad alcune segnalazioni in letteratura - anche in un recente studio francese - ma è di difficile interpretazione dato che non viene riprodotta nelle altre coorti studiate in Emilia-Romagna.

### 2.2.1.2. Effetti riproduttivi

*Premessa: la ricerca epidemiologica viene comunemente effettuata attraverso confronti tra un campione di una popolazione esposta e un campione di una popolazione non esposta. Le stime sono quindi affette dagli effetti della variabilità campionaria. Il rischio relativo è il fattore per il quale è moltiplicata la probabilità di ammalarsi nel campione degli esposti rispetto al campione di non esposti. L'intervallo di confidenza (IC) 95% è l'intervallo di valori nel quale vi è 95% di probabilità che si trovi il vero valore del rischio relativo.*

Il confronto della frequenza degli esiti indesiderati presi in considerazione non ha dimostrato differenze tra popolazioni in studio e popolazione regionale. Tuttavia, per la proporzione di nati pre-termine, e per la proporzione di nati piccoli per età gestazionale, i confronti interni alla popolazione studiata hanno mostrato in modo statisticamente significativo un rapporto dose-risposta tra stima dell'esposizione e stima del rischio. Per l'esito "nati pre-termine", il rischio per il gruppo maggiormente esposto relativo al gruppo meno esposto è stato 1.75, con limiti di confidenza 95% che escludono l'unità. Per l'esito "nati piccoli per l'età gestazionale" il corrispondente rischio è stato 1.21, con limite di confidenza 95% inferiore 0.93.

Non è stato possibile standardizzare le stime di rischio per abitudini individuali al fumo, poiché nel periodo studiato il dato non veniva raccolto nelle schede CedAP. Tuttavia, in modo indiretto, è stato stimato che soltanto una inconsueta diffusione del fumo di tabacco avrebbe potuto causare un aumento della proporzione dei nati pre-termine delle dimensioni di quella rilevata.

L'applicazione alle osservazioni di test di sensibilità e in particolare ri-analisi dell'insieme dei dati con l'esclusione di volta in volta dei dati riferiti a un inceneritore, non hanno modificato i risultati. Non vi sono quindi elementi per attribuire le stime a specifici inceneritori.

I confronti interni hanno confermato l'assenza di associazione statistica tra

esposizione agli inceneritori e gli altri esiti della gravidanza.

L'associazione tra esposizione ad inceneritori e l'aumento delle nascite pre-termine non è verosimilmente attribuibile a distorsioni nel disegno dello studio e neppure a confondenti non controllati. La natura causale di questa associazione non è certa ma è fortemente suggerita dal gradiente dose-risposta e dal fatto che osservazioni analoghe sono state descritte in studi effettuati in altre circostanze, da parte di altri ricercatori. Analoghi discorsi meritano le osservazioni sull'esito "piccoli per età gestazionale"

E' in corso una estensione dello studio sugli esiti delle gravidanze ad anni successivi al 2006. I risultati di tale studio forniranno un elemento per valutare se la situazione di rischio persiste in anni più recenti.

### 2.2.1.3 Epidemiologia delle malformazioni

Lo studio delle malformazioni congenite ha utilizzato due fonti differenti (Registro regionale delle malformazioni e Schede di dimissioni ospedaliere) integrandole con procedure innovative. Nel confronto con i dati complessivi regionali non si rileva alcun eccesso. Nelle analisi interne alla popolazione esposta, per la totalità delle malformazioni e per quelle dell'apparato osteoarticolare, un andamento crescente del rischio con l'esposizione raggiunge la significatività statistica. I risultati, tuttavia, presentano incertezze connesse ai limiti degli strumenti di rilevazione delle malformazioni, mai precedentemente integrati per studi ambientali e non specificamente costruiti per tali studi.

### 2.2.2. Analisi mortalità nella coorte dei soggetti professionalmente esposti

Da diversi decenni, anche in Italia, è stata documentata la possibilità di aggiornare retrospettivamente lo stato in vita dei dipendenti ed ex-dipendenti di una azienda, attraverso la collaborazione delle anagrafi comunali. Condizione *sine qua non* per il compimento di questo tipo di ricerca è la disponibilità di esaustivi elenchi nominativi dei dipendenti dell'azienda che interessa, corredata da un minimo di dati anagrafici. Questa disponibilità, nel caso dei lavoratori addetti alla conduzione e manutenzione degli inceneritori in Emilia-Romagna è mancata, per l'obiettivo difficoltà di reperire tali elenchi.

Il Comitato Scientifico ha notato che da parte del gruppo di lavoro è stato

fatto ogni sforzo per raggiungere l'obiettivo di conoscere l'esperienza di mortalità nei lavoratori degli inceneritori della regione e deplora che tali sforzi non siano stati coronati da successo.

### 2.2.3. *Messa a punto di una metodologia di valutazione di impatto sulla salute (VIS)*

Non soltanto tale metodologia è stata messa a punto, ma il gruppo di lavoro ha prodotto una serie di documenti che, in Italia, potranno essere di riferimento in qualsiasi circostanza ove venga richiesta la produzione di una VIS. Tali documenti, disponibili nel web, includono: 1. standard applicativi per la VIS di un nuovo impianto di incenerimento di rifiuti urbani; 2. rassegna bibliografica sulla VIS aggiornata al 2009; 3. Standard e strumenti applicativi (checklist e tabelle) a supporto delle fasi della VIS di progetti e politiche; 4. Standard e strumenti applicativi (checklist e tabelle) a supporto delle linee guida per l'ambiente costruito.

L'attività svolta nell'ambito di Monitor ha anche portato al progetto interregionale VISPA (Valutazione di Impatto sulla Salute per la Pubblica Amministrazione) coordinato dal Servizio di Sanità Pubblica della Regione Emilia-Romagna.

### 2.2.4. *Effetti biomolecolari del particolato emesso e campionato in prossimità degli inceneritori*

Gli studi tossicologici *in vitro* intesi a valutare effetti tossici dell'aria prelevata in prossimità dell'impianto del Frullo hanno segnato delle importanti innovazioni metodologiche, in particolare per l'introduzione di tecniche di tossicogenomica, sia pure in misura limitata e in modo esplorativo. Del particolato raccolto al Frullo e in aree di controllo, le proprietà biologiche studiate sono state quelle di indurre eventi infiammatori, mutagenesi, trasformazione neoplastica di cellule *in vitro* e di interagire con il genoma di cellule in cultura. Tra i controlli, nelle analisi, particolare attenzione è stata data a quello di Calamosco, simile al Frullo per una serie di caratteristiche ambientali, tranne che per la possibile influenza dell'inceneritore. Complessivamente, i confronti tra Calamosco e Frullo hanno denunciato una maggiore nocività *in vitro* del particolato raccolto a Calamosco rispetto a quello raccolto al Frullo. I test di mutagenesi e trasfor-

mazione *in vitro* che sono stati usati vengono comunemente considerati predittivi delle eventuali proprietà cancerogene del materiale studiato. Dai risultati di questi test – e nei limiti del loro significato biologico - non emergono indizi di nocività legata alle emissioni dell'inceneritore del Frullo. E' ragionevole ritenere che questi rassicuranti risultati – sia pure preliminari - possano essere estesi agli inceneritori attivi in Emilia-Romagna che abbiano le stesse caratteristiche tecnologiche di quelle del Frullo (ma non ad altri inceneritori).

Pertanto, neppure i risultati degli esperimenti di tossicogenomica hanno fornito elementi suggestivi di nocività del particolato del Frullo rispetto a quella del particolato raccolto nelle aree di controllo. Emergono invece indizi di possibili interazioni con il genoma da parte del materiale presente nell'atmosfera di tutte le aree considerate (quindi non legate alla presenza dell'inceneritore), tutte ad elevata antropizzazione. Questi indizi dovranno essere confermati in ulteriori studi. Nel complesso, la conduzione di studi di tossicogenomica ha consentito al Centro Tematico Regionale Cancerogenesi Ambientale e Valutazione del Rischio di Emilia-Romagna la messa a punto di diversi aspetti metodologici e l'avvio di una riflessione sul delicato problema della interpretazione del significato biologico dei cambiamenti del materiale genico che la metodologia mette in evidenza.

L'applicazione dei metodi convenzionali di stima del rischio cancerogeno (*risk assessment*) legato alle concentrazioni di idrocarburi policiclici e di diossine rilevati in vicinanza del Frullo e in diverse aree di controllo non ha mostrato alcun eccesso di rischio al Frullo rispetto alle aree di controllo. Un limite di questo approccio è che esso ignora la possibilità di interazioni tra agenti diversi. La procedura di *risk assessment* ha identificato – nell'atmosfera del Frullo come altrove - rischi creati da idrocarburi policiclici, slegati dal problema degli inceneritori, che meritano attenzione da parte delle autorità di sanità pubblica.

## 2.3. **Prodotti intermedi**

### 2.3.1. *Linee guida per la standardizzazione della sorveglianza ambientale di aree limitrofe agli inceneritori*

Come sopra riportato, sono state prodotte linee guida sia per la sorveglianza

delle emissioni, sia per la sorveglianza della qualità dell'aria. Si tratta di documenti a suo tempo discussi e approvati dal Comitato Scientifico.

### 2.3.2. *Rapporto metodologico sulle modalità di valutazione delle esposizioni della popolazione residente in prossimità degli impianti*

Il rapporto previsto corrisponde alle linee guida per la stima della esposizione delle popolazioni residenti in aree limitrofe agli inceneritori, a suo tempo discusse ed approvate dal Comitato Scientifico.

### 2.3.3. *Rapporto sintetico sui livelli di esposizione riscontrati in ciascuno degli impianti considerati*

Un rapporto sintetico sui livelli di esposizione dei neonati riscontrati in ciascuno degli impianti, è stato presentato nella seduta del comitato Scientifico del dicembre 2008 ed è reperibile nel sito Monitor .

Le informazioni corrispondenti sulla esposizione dei residenti, sottoforma di slides, sono state presentate al Comitato Scientifico nel dicembre 2010

### 2.3.4. *Rapporto tecnico relativo alla metodologia sperimentale per l'acquisizione di dati e informazioni, non disponibili con le metodologie ordinarie, correlati al rischio*

La metodologia è descritta nella relazione finale della Linea progettuale 5, disponibile sul sito web Monitor.

### 2.3.5. *Rapporto periodico sullo stato di avanzamento del progetto, indirizzato alla popolazione interessata*

Non è stato realizzato un unico rapporto sullo stato di avanzamento del progetto rivolto alla popolazione interessata, dati anche i tempi non sincronizzati degli output delle diverse Linee progettuali. Si è realizzato un convegno regionale nel settembre 2010 con la presentazione dei risultati a quella data disponibili. Sono stati altresì realizzati incontri locali per le popolazioni interessate dagli inceneritori. Il sito ha puntualmente pubblicato ogni report rilasciato dalle linee progettuali e validato dal Comitato scientifico.

## Conclusioni

Secondo la delibera della Giunta Regionale che assegnava un finanziamento a Monitor, lo scopo del progetto era la "Organizzazione di un sistema di sorveglianza ambientale e valutazione epidemiologica nelle aree circostanti gli impianti di incenerimento rifiuti solidi urbani in Emilia-Romagna".

Tramite le diverse linee progettuali, i prodotti di Monitor contribuiscono alla organizzazione di un sistema di sorveglianza ambientale. Le determinazioni ambientali e gli studi tossicologici sono stati principalmente rivolti all'inceneritore del Frullo, tecnologicamente il più avanzato in Emilia-Romagna al momento dell'indagine. Ciò che si ritiene esportabile dai risultati del progetto Monitor per il monitoraggio di altri inceneritori di rifiuti urbani non sono i valori dei singoli inquinanti stimati al Frullo (e neppure le stime della qualità dell'aria e lo studio della tossicità dei materiali prelevati in vicinanza dell'inceneritore), bensì l'indicazione dei parametri sui quali focalizzare l'attenzione e le relative metodologie di indagine. Comunque, allo stato attuale, è ragionevole ritenere che le valutazioni complessivamente rassicuranti dell'impatto sulle matrici ambientali da parte dell'inceneritore del Frullo siano estensibili anche alle vicinanze di altri inceneritori, che abbiano le medesime caratteristiche tecnologiche (ma non ad altri, più antiquati). Analogo ragionamento può essere fatto per gli effetti tossici *in vitro*, che debbono comunque essere considerati preliminari.

Le analisi epidemiologiche sugli effetti a lungo termine sono state condotte con metodologia rigorosa e attendibile e si riferiscono a tutti gli inceneritori della regione. I risultati sono complessivamente rassicuranti. Possibile eccezione è la stima di incidenza dei linfomi non Hodgkin a Modena, non riprodotta dai risultati osservati nell'insieme delle popolazioni residenti nelle vicinanze di inceneritori in Emilia-Romagna.

Una interpretazione cauta dell'insieme dei risultati deriva anche dal fatto che gli *end point* considerati (mortalità per causa e incidenza tumorale), escludono malattie meno letali e meno gravi, di più difficile analisi, la cui epidemiologia nelle popolazioni residenti nelle vicinanze degli inceneritori in Emilia-Romagna finora è stata poco studiata. Infine, per le cause di morte e per i tumori più rari, nonostante le dimensioni del database, sarebbe stato difficile identificare un aumento del rischio, se non nel caso di un improbabile rischio molto alto. Non possono invece essere sottovalutati i risultati delle analisi relative agli ef-

fetti a breve termine sugli esiti delle gravidanze. E' stato identificato un aumentato rischio di nascite premature (e - con minor evidenza statistica - di neonati piccoli per età gestazionale) verosimilmente di natura causale, non attribuibile ad alcun specifico inceneritore. L'aggiornamento in corso di questo studio consentirà di conoscere se l'effetto persiste nella popolazione esposta agli inceneritori tecnologicamente più avanzati. Un risultato "negativo" di tale aggiornamento (cioè un risultato che non riproduca i risultati di questo primo studio) sarà rassicurante in termini di salute pubblica, ma non sarà sufficiente per attribuire i risultati qui presentati al caso o alle distorsioni del disegno dello studio. I possibili riflessi sulla salute nel corso della vita dei nati prematuri sono di difficile previsione, anche se da una sommaria revisione delle schede di dimissione ospedaliera non sono emerse particolari associazioni.

Nell'insieme, quindi, l'impatto sanitario degli inceneritori dell'Emilia-Romagna è contenuto, ma non essendo nullo, e data la presenza di altri fattori di pressione ambientale sulla popolazione, si raccomanda:

- l'adozione di misure di adeguamento tecnologico che portino tutti gli impianti esistenti al livello di quelli oggi più avanzati, e il costante adeguamento in futuro, ove tecnologie più pulite si rendessero disponibili,
- la sorveglianza costante del rispetto delle norme di esercizio degli impianti,
- l'adozione di politiche di gestione rifiuti che non creino ulteriore domanda di incenerimento, in linea con la gerarchia europea dei rifiuti e con generali considerazioni di sostenibilità,
- un coordinamento regionale di tutte le politiche di gestione dei rifiuti,
- attenzione verso le istanze delle popolazioni interessate, la concertazione di decisioni in materia, e la trasparenza dei processi decisionali rilevanti,
- qualora ulteriori approfondimenti fossero possibili, si suggeriscono le seguenti priorità: i meccanismi degli effetti riproduttivi segnalati in Monitor, l'epidemiologia - in relazione agli inceneritori - di malattie non letali, diverse dal cancro, la nocività delle nanoparticelle, l'interazione tra diversi contaminanti, l'interazione tra esposizioni ambientali legate al ciclo dei rifiuti e altri determinanti di salute, i possibili impatti sanitari ed economici di politiche alternative di smaltimento dei rifiuti attraverso il confronto di scenari, l'approfondimento della interazione tra esposizioni ambientali e genoma.

Al termine dei suoi lavori, il Comitato Scientifico esprime il proprio apprezzamento per l'impegno della Regione Emilia-Romagna per avere impostato in

modo ampio e rigoroso la problematica delle conseguenze ambientali e sanitarie delle scelte effettuate per lo smaltimento dei rifiuti. I risultati qui presentati forniscono un quadro dell'impatto della presenza degli inceneritori sui residenti e sull'ambiente della Regione. Il sistema di sorveglianza epidemiologica che è stato creato - pur rappresentando un modello per molte altre regioni - è limitato alle malattie letali, ai tumori e - entro certi limiti - alle malformazioni congenite. Ad esso sono state aggiunte indagini *ad hoc* sugli esiti delle gravidanze.

La mancata dimostrazione di effetti a lungo termine non significa dimostrazione di rischio zero. D'accordo con le conclusioni della conferenza OMS Europa sullo smaltimento dei rifiuti (Roma 2007), il Comitato Scientifico fa presente che la segnalazione di effetti avversi nella vicinanza di discariche e inceneritori dovrebbe ispirare un approccio di precauzione a proposito della creazione di nuovi impianti e la ricerca di misure di mitigazione dell'esposizione alle emissioni e alle dispersioni dagli impianti.

Infine, il Comitato Scientifico esprime il proprio interesse ad essere informato dell'utilizzo che verrà fatto dell'informazione scientifica prodotta da Monitor nella strategia regionale per la gestione dei rifiuti.

Il Comitato Scientifico di Monitor

Ottobre 2011



## LINEA PROGETTUALE 1

Caratterizzazione del materiale  
particolato emesso dagli  
inceneritori in esercizio  
nelle aree di indagine

**Responsabile: Valeria Biancolini, Arpa Emilia-Romagna**

**Azione 1** - Linee guida per la sorveglianza degli impianti di incenerimento  
Responsabile: Gianna Sallese (Arpa Emilia-Romagna )

**Azione 2** - Sviluppo della metodologia di campionamento delle emissioni  
Responsabile: Stefano Forti (Arpa Emilia-Romagna )

**Azione 3** - Caratterizzazione chimica, fisica e morfologica  
Responsabile: Valeria Biancolini (Arpa Emilia-Romagna)

**Azione 4** - Bilanci di massa di PCDD/F e metalli in traccia  
Responsabili: Stefano Cernuschi, Michele Giugliano (Politecnico di Milano)

**Azione 5** - Elaborazione dati, stesura relazione conclusiva e supporto alla  
comunicazione  
Responsabile: Valeria Biancolini (Arpa Emilia-Romagna )

### **Enti coinvolti:**

Arpa Emilia-Romagna (Sezioni provinciali di Piacenza, Reggio-Emilia,  
Modena, Bologna, Ferrara, Ravenna e Rimini)  
Università Cà Foscari di Venezia, Dipartimento di Chimica Fisica  
Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Ambientale,  
Infrastrutture viarie, e Rilevamento (DIAR)  
Università di Bologna, Dipartimento di Chimica  
Università di Bologna, Dipartimento di Chimica Fisica e Inorganica  
Università di Ferrara, Dipartimento di Chimica

### Caratterizzazione chimico-fisica e morfologica dei fumi emessi

Necessità di campionamenti lunghi (almeno 48 ore) per raccogliere materiale sufficiente alle determinazioni analitiche.

Tutti gli inquinanti sottoposti a limite normativo risultano essere ampiamente al di sotto delle concentrazioni massime ammesse e ai limiti autorizzati.

La concentrazione numerica delle particelle di origine primaria emesse varia da alcune decine di migliaia ad alcune centinaia di migliaia di particelle su cmc di gas.

La concentrazione numerica delle particelle aumenta per effetto della diluizione dovuta all'aria ambiente e al raffreddamento dei fumi all'uscita dal camino.

### Bilancio di massa per diossine e metalli (1 campione medio settimanale).

Riduzione delle diossine emesse rispetto a quelle entrate nell'impianto.

Le diossine prodotte si ritrovano principalmente nelle polveri dei filtri a maniche: l'emissione gassosa a camino incide per uno 0.01% del totale emesso.

I metalli emessi si riscontrano principalmente nelle scorie e nelle polveri dei filtri a maniche.

Tutti gli inquinanti richiesti dalla specifica normativa di settore, D. Lgs. 133/2005 e D. Lgs. 59/2005 vengono monitorati, da parte di Arpa e dei gestori degli impianti stessi, in tutti gli inceneritori di rifiuti urbani (RU) presenti in regione, attraverso misurazioni continue e campionamenti periodici: pertanto non si ritiene necessario esportare le misure effettuate su Bologna agli altri impianti. Ciò che si ritiene esportabile dai risultati del progetto Monitor per il monitoraggio degli inceneritori di RU, non sono i dati relativi ai singoli inquinanti ottenuti dal monitoraggio dell'inceneritore di Bologna, bensì l'indicazione su quali parametri focalizzare l'attenzione e le relative metodologie d'indagine.

E' importante sottolineare che, ad oggi, tutti gli inceneritori di RU della regione rispettano ampiamente i limiti richiesti dalla normativa e dagli atti autorizzativi.

## Caratterizzazione chimica e fisica: risultati

### Sintesi dei campionamenti effettuati

Dal	Al	verbale MONITER/2008 n.	campionamento	linea di incenerimento	Volume campionato (Nmc)	Volume condensa (litri)
04-giu	06-giu	1	Componente carboniosa e idrosolubile (anioni e cationi)	1	73,37	11
09-giu	11-giu	2	FALLITO	1		
11-giu	13-giu	3	Microinquinanti organici	1	74,16	11
16-giu	18-giu	4	Mutagenesi	1	66,859	11
18-giu	20-giu	5	Mutagenesi	1	76,22	12
23-giu	24-giu	6	FALLITO	1		
24-giu	25-giu	7	Mutagenesi	1	28,69	5
28-giu	30-giu	8	Microinquinanti organici	1	67,62	11
30-giu	02-lug	9	Microinquinanti Organici	2	72,47	10
07-lug	09-lug	10	Componente carboniosa e idrosolubile (anioni e cationi)	2	71,649	10
09-lug	11-lug	11	Metalli e Mercurio	2	70,037	11
14-lug	16-lug	12	Metalli e Mercurio	1	67,599	11
16-lug	18-lug	13	Microinquinanti organici	1	74,29	10
21-lug	24-lug	14	Componente carboniosa e idrosolubile (anioni e cationi)	2	94,038	16
24-lug	25-lug	15	Componente carboniosa e idrosolubile (anioni e cationi)	1	37,19	5

### Confronto tra risultati e limiti autorizzati

Si riporta in tabella un confronto tra risultati ottenuti e autorizzati (corrispondenti ai limiti normati ad eccezione delle polveri totali per le quali la norma prevede un limite di 10 mg/Nmc) per i parametri determinati secondo metodologie di campionamento previste dalle norme.

parametro	unità di misura	valori medi riscontrati	valori estremi		Valori limite
			max	min	
polveri totali	mg/Nmc	0,063	0,154	0,040	5
diossine e furani	pgl-TE/Nmc	0,303	0,348	0,268	100
PCB	ng/Nmc	0,266	0,442	0,128	
IPA	ng/Nmc	5,55	10,53	1,72	10000
metalli totali 1° gruppo	ng/Nmc	61,4	104,5	18,2	500
metalli totali 2° gruppo	ng/Nmc	0,002	0,003	0,001	50
mercurio	ng/Nmc	4,3	7,9	0,6	50

Metalli 1° gruppo: antimonio+arsenico+piombo+cromo tot+cobalto+rame+manganese+nichel+vanadio / Metalli 2° gruppo: cadmio+tallio



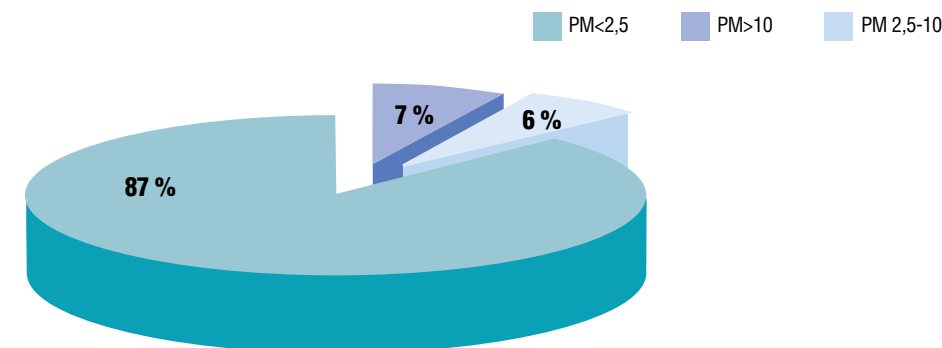
## Dati gravimetrici e di concentrazione

Dal	al	verbale Monitor 2008/n°	dato gravimetrico mg			dato in concentrazione (rif. 11%O <sub>2</sub> ) mg/Nmc				PTS(*)
			PM>10	PM 2,5-10	PM<2,5	PM>10	PM2,5-10	PM<2,5		
04-giu	06-giu	1	0,55	0,62	3,65	0,006	0,007	0,041	0,055	
09-giu	11-giu	2	0,25	0,28	3,3	0,005	0,006	0,069	0,080	
11-giu	13-giu	3	0,22	0,31	5,95	0,002	0,003	0,065	0,071	
16-giu	18-giu	4	0,58	0,54	6,59	0,007	0,007	0,082	0,096	
18-giu	20-giu	5	1,43	0,66	12,28	0,015	0,007	0,132	0,154	
24-giu	25-giu	7	0,01	0,01	1,51	0,0003	0,0003	0,042	0,043	
28-giu	30-giu	8	0,25	0,32	3,42	0,003	0,004	0,042	0,049	
30-giu	02-lug	9	0,34	0,35	2,73	0,004	0,005	0,035	0,044	
07-lug	09-lug	10	0,19	0,17	2,75	0,002	0,002	0,035	0,040	
09-lug	11-lug	11	0,08	0,13	3,27	0,001	0,002	0,042	0,045	
14-lug	16-lug	12	0,04	0,16	3,83	0,0005	0,002	0,045	0,048	
16-lug	18-lug	13	0,22	0,2	4,28	0,002	0,002	0,045	0,049	
21-lug	24-lug	14	0,46	0,3	3,75	0,004	0,003	0,037	0,044	
24-lug	25-lug	15	0,28	0,16	2,29	0,006	0,003	0,049	0,058	

(\*) il dato è stato ottenuto per somma dei dati relativi ai tre stadi

- La scelta di procedere con campionamenti di 48 ore consecutive si è dimostrata necessaria al fine di ottenere dati gravimetrici significativi sui filtri dei primi due stadi (PM>10 e PM2.5-10).
- I valori di concentrazione di polveri emesse riscontrati risultano ampiamente entro i limiti autorizzati.
- Le concentrazioni di polveri riscontrate sono in linea con i valori prestazionali degli impianti progettati e gestiti in conformità alle Migliori Tecnologie Disponibili (MTD) descritte nei documenti tecnici normativi nazionali ed europei e funzionanti a pieno regime in assenza di alcun tipo di anomalia tecnico-gestionale (Linee guida predisposte secondo il D.Lgs. 59/2005 recepimento della 96/61/CE).
- Il particolato emesso risulta composto prevalentemente da polveri con diametro aerodinamico inferiore a 2.5 µm.

Fig 1. Distribuzione percentuale delle polveri nelle tre frazioni isolate (dati gravimetrici)

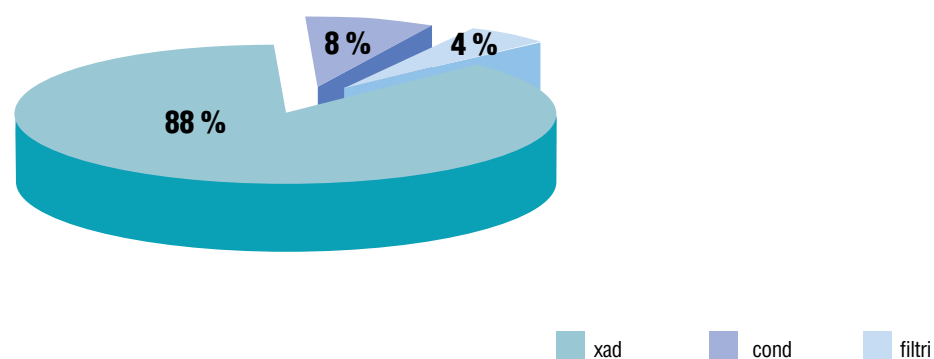


- Le due linee di incenerimento risultano, dal punto di vista qualitativo e quantitativo delle polveri emesse, uguali pur avendo condotto la campagna solo nei mesi estivi.
- Il metodo di analisi è illustrato a pag. 81 della relazione conclusiva della LP1, disponibile su [www.moniter.it](http://www.moniter.it).

### Microinquinanti organici (diossine, IPA e PCB)

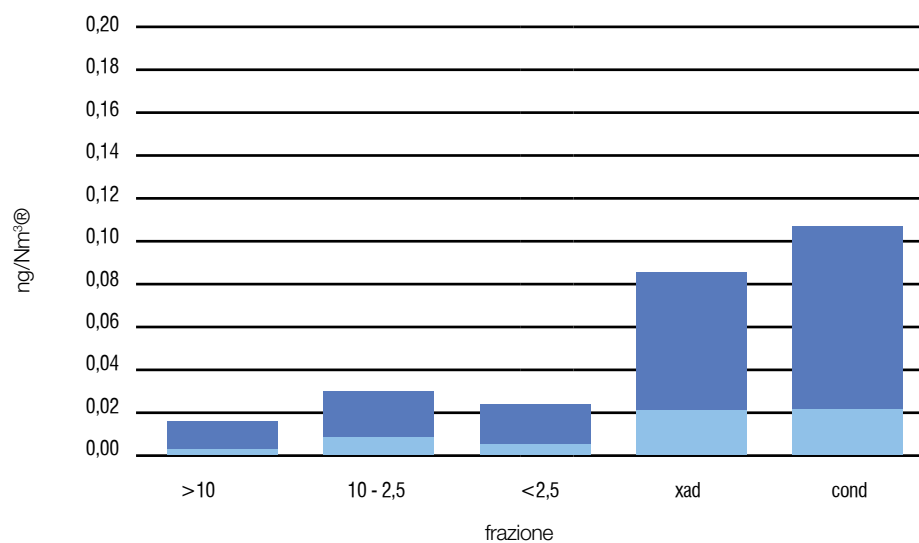
- Le concentrazioni di Diossine (PCDD), Furani (PCDF), Policlorobifenili (PCB) e Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) risultano ampiamente al di sotto dei limiti normati e autorizzati.
- Considerando che la percentuale di recupero è stata di circa un 30% (verificata mediante la marcatura dei filtri prima del campionamento) è possibile stimare un'emissione di PCDD e PCDF dell'ordine di 1pgl-TE/Nm<sup>3</sup>, comunque ampiamente al di sotto dei limiti normati e autorizzati.
- Per quanto riguarda PCDD e PCDF le specie trovate sono principalmente i congeneri epta ed octa (H7CDD, OCDD, H7CDF e OCDF) ai quali si aggiunge la presenza degli H6CDF in un solo campionamento sui quattro effettuati.
- La concentrazione totale di PCDD e PCDF risulta sostanzialmente costante nei quattro campionamenti effettuati.
- PCDD e PCDF risultano presenti principalmente nella fase incondensabile e condensabile mentre paiono trascurabili nella fase solida (polveri).

Fig 2. Ripartizione PCDD/PCDF nelle tre fasi campionate: dato medio



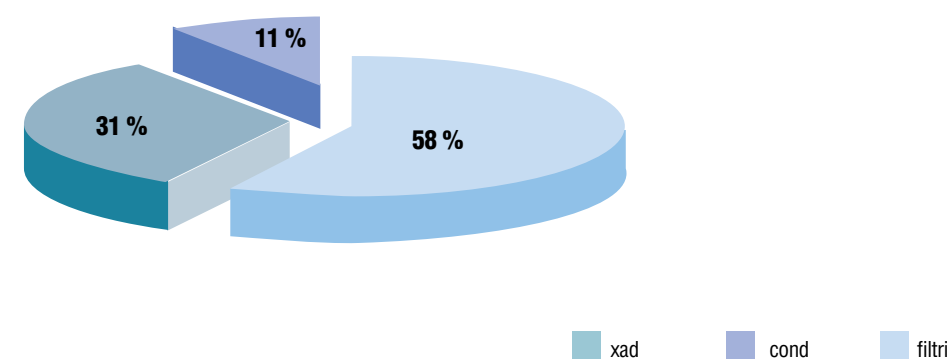
- I PCB, sia diossina simili che altri, risultano equamente distribuiti nelle tre fasi.
- Solo un 25% circa dei PCB riscontrati appartiene alla famiglia dei diossina simili.

Fig 3. Composizione media dei PCB riscontrati dall'analisi dei campioni



- Gli IPA, se pur con alcune differenze tra un campionamento e l'altro, risultano presenti principalmente nella fase polverulenta e negli incondensabili.

Fig 4. Ripartizione IPA nella tre fasi campionate: valore medio



- Per quanto riguarda gli IPA è stata riscontrata principalmente la presenza di: fenantrene, antracene, fluorantene, pirene e naftalene.

### Metalli totali

- La concentrazione di metalli riscontrata risulta entro i limiti normati.
- I risultati delle analisi dei due campioni prodotti nell'arco della campagna, denota una certa variabilità nella concentrazione e presenza di metalli nei fumi emessi.

### Anioni e cationi, metalli idrosolubili, acidi carbossilici e carbonio totale

- Le specie ioniche maggiormente presenti risultano essere: Ione ammonio, Ione calcio, Ione cloruro e Ione solfato.
- Mentre per i primi due (i cationi) è possibile ipotizzarne un'origine nei reagenti utilizzati nell'impianto di abbattimento degli inquinanti presenti nei fumi, per gli altri due (anioni) l'origine è imputabile alla composizione e combustione del rifiuto stesso.
- Per tutti i tre campioni analizzati per la ricerca di acidi carbossilici, nessuno degli analiti ricercati ha presentato un segnale di risposta identificabile e quantificabile con il metodo analitico utilizzato. L'analisi delle condense è stata eseguita singolarmente su ogni campione e anche in questo caso non è stato possibile individuare la presenza di nessuno degli analiti in esame.

## Analisi in microscopia elettronica

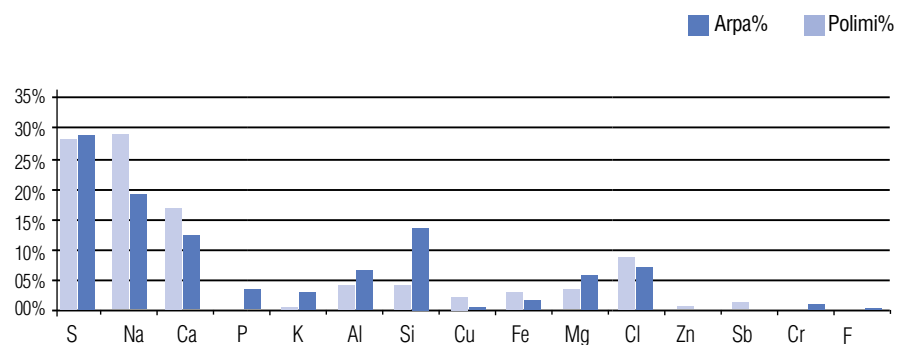
Nel processo di analisi morfologica del particolato emesso, sono stati sottoposti ad analisi due campioni ottenuti mediante campionamento con le linee (una di arpa e l'altra del politecnico di Milano) corredate di ELPI (Electrical Low Pressure Impactor) strumento che consente sia la raccolta di materiale particellare che il conteggio delle particelle emesse; valutare eventuali differenze tra i due campioni diviene importante per poter descrivere le particelle di nuova formazione (particolato secondario) derivanti da fenomeni di condensazione e nucleazione indotti dal sistema di campionamento adottato dal DIIAR.

I filtri sono stati suddivisi tra il laboratorio Arpa di Reggio Emilia per le analisi in SEM (microscopia elettronica a scansione) e il laboratorio dell'Università di Venezia dip. di Chimica-Fisica per le analisi al TEM (microscopia elettronica a trasmissione). In particolare in SEM sono stati analizzati gli stadi dal 4 al 9 ovvero particelle con diametro aerodinamico compreso tra 0.170 e 2.5  $\mu\text{m}$  mentre al TEM sono stati analizzati i primi sette stadi ovvero particelle con diametro aerodinamico compreso tra 30 nm e 1.0  $\mu\text{m}$ .

Dall'analisi dei campioni in microscopia elettronica a scansione e a trasmissione deriva:

- Sostanziale omogeneità fra particelle di natura organica e inorganica.
- Prevalenza di elementi quali: zolfo, sodio, silicio e calcio

Fig 5. Confronto composizione elementare tra i campioni analizzati



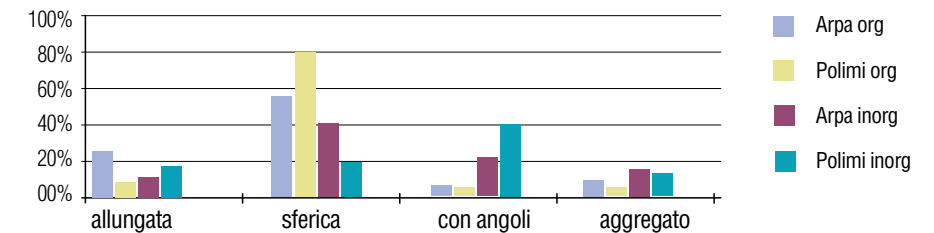
- Per le particelle organiche prevale l'aspetto sferico in quelle più piccole mentre le particelle di maggiori dimensioni si presentano sottoforma di aggregati o

particelle allungate (presumibilmente bacchette di solfato).

- Per quanto riguarda le particelle inorganiche risulta non trascurabile la presenza di particelle, anche di piccole dimensioni, con aspetto sfaccettato e la presenza di angoli. Anche in questo caso, l'aspetto sferico prevale in particelle di piccole dimensioni mentre gli aggregati sono riscontrabili in frazioni di maggiori dimensioni.

Fig 6. Confronto tra morfologia e natura delle particelle tra i campioni analizzati

### Morfologia delle particelle (0.4-2.5 $\mu\text{m}$ )



## Valutazione del numero e delle dimensioni delle particelle emesse

L'indagine inerente la valutazione del numero di particelle emesse dall'inceneritore di Bologna ha visto affiancarsi al gruppo di tecnici Arpa il gruppo di lavoro del Politecnico di Milano – DIAR.

Gli obiettivi di questa indagine possono essere così brevemente riassunti:

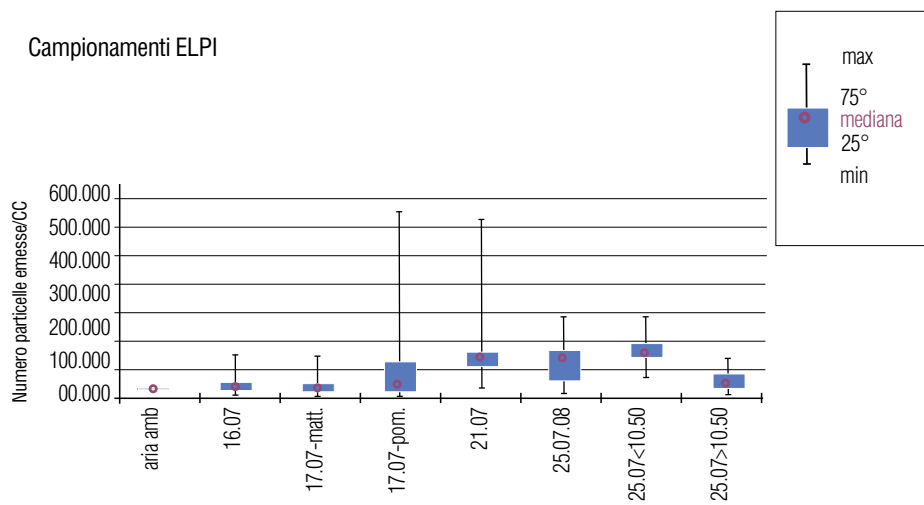
Definire quantità e dimensione del particolato primario emesso seguendo l'impianto per alcuni giorni consecutivi (gruppo Arpa)

Indagare la formazione di nuove particelle da fenomeni di condensazione e nucleazione definendo concentrazione numerica e distribuzione dimensionale a diversi rapporti di diluizione (gruppo POLIMI)

### Qualità e dimensione del particolato primario (indagine Arpa)

La concentrazione numerica delle particelle emesse è risultata soggetta a variazioni, anche di un ordine di grandezza (dalle decine di migliaia alle centinaia di migliaia di particelle per centimetro cubo di gas emesso), e con un andamento che pare ciclico.

Fig 7. Concentrazione numerica media delle particelle emesse nei giorni di campionamenti



I picchi emissivi paiono essere legati all'emissione di particelle di dimensioni leggermente superiori alla media ma comunque con diametro aerodinamico inferiore a 100 nm.

Fig 8. Grafico della concentrazione di particelle per cc emesse il 16 luglio 2008

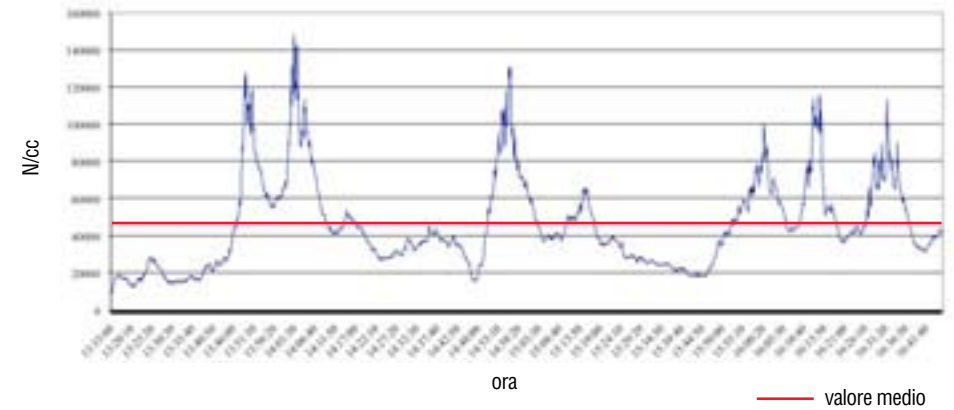
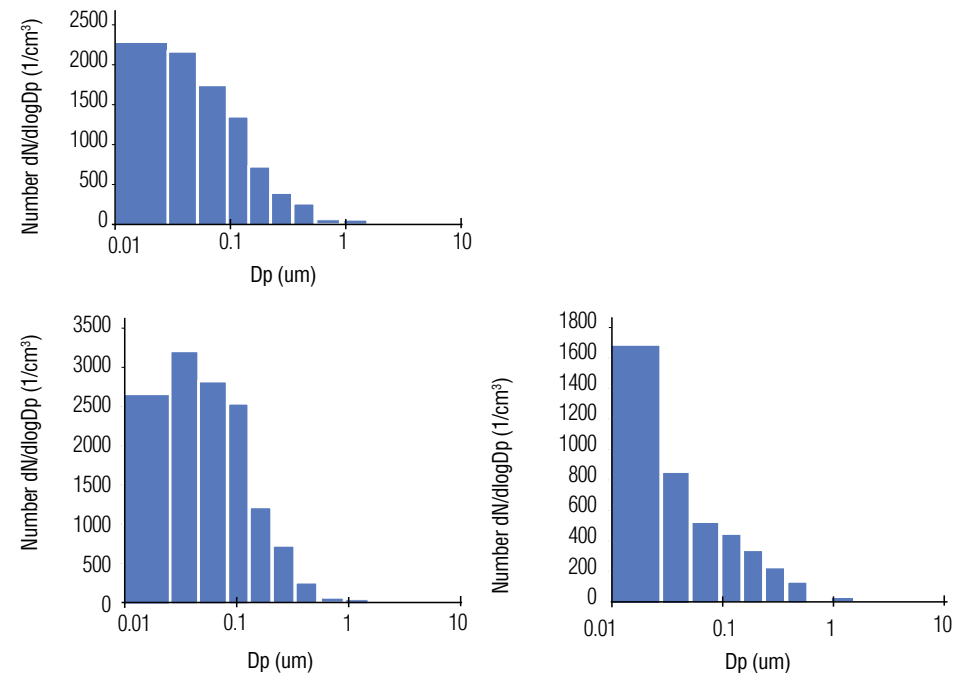


Fig 9. Distribuzione dimensionale delle particelle emesse (rispettivamente media, in corrispondenza di un picco, in corrispondenza di un avvallamento) riscontrata il 16 luglio 2008



Non è stato possibile rintracciare una causa certa di tale variabilità: nel considerare questi dati si tenga presente che il ciclo produttivo dell'impianto è costituito da tanti passaggi che possono contribuire ognuno a generare tale variabilità.

### Indagine sulla formazione di nuove particelle da fenomeni di condensazione e nucleazione (indagine POLIMI)

Le principali acquisizioni dello studio sono così sintetizzabili:

- Le componenti di origine condensabile si confermano rilevanti sulle concentrazioni di particelle ultrafini emesse.

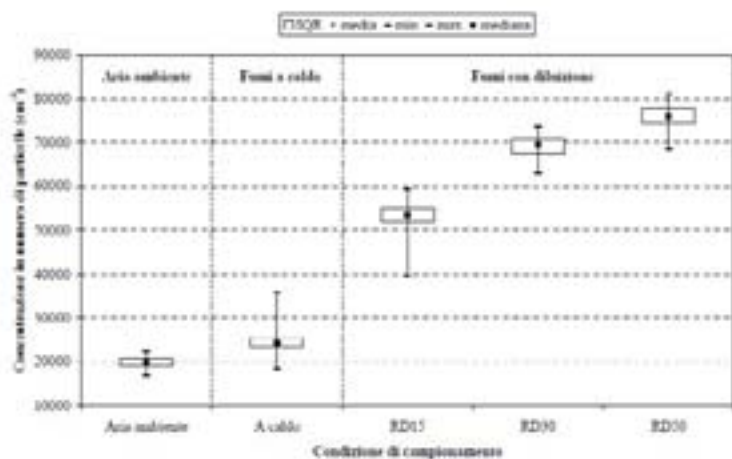


Fig 10. Campionamenti ELPI

- In tutte le condizioni di prelievo, le distribuzioni dimensionali del numero di particelle appaiono fortemente caratterizzate dalla frazione delle nanopolveri, con la moda dei diametri sistematicamente collocata in corrispondenza della classe dimensionale più ridotta (0,02  $\mu\text{m}$ ).

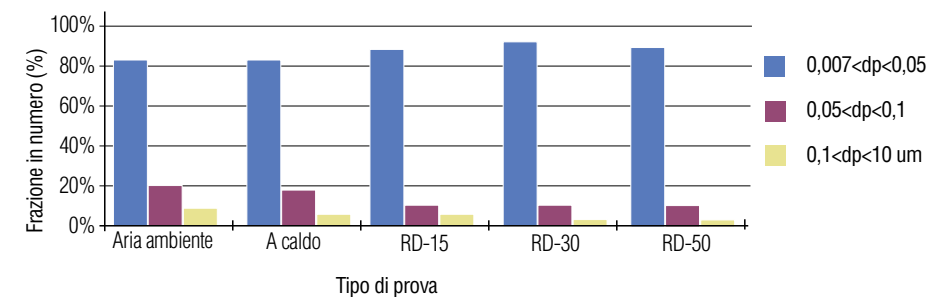


Fig 11. Frazioni in numero di particelle (%) nelle diverse condizioni di campionamento e nell'aria di combustione

- In tutte le condizioni di prelievo, le concentrazioni misurate all'emissione dall'impianto si collocano su livelli leggermente superiori, quando non confrontabili, con quelli misurati nell'aria di combustione, che presenta valori pari a circa 20000 particelle  $\text{cm}^{-3}$ .
- Nel contesto delle limitate informazioni disponibili al riguardo per altre sorgenti di combustione fissa, i livelli di concentrazione ricavati per l'impianto oggetto dell'indagine appaiono da 100 a 10.000 volte inferiori rispetto ai valori misurati, con identico approccio (ovvero con identica strumentazione e analoga procedura), all'emissione di caldaie per il riscaldamento civile alimentate a pellet di legna e gasolio, e solo circa dieci volte superiori a quelle di analoghe utenze a gas naturale.
- L'analogo confronto con altri impianti di termodistruzione mostra risultati che appaiono sostanzialmente allineati con l'intervallo dei valori documentati; in tale contesto, i dati prospettano inoltre differenze riconducibili alla configurazione della linea di depurazione dei gas.

### Bilanci di massa di PCDD/PCDF e metalli in traccia

- Lo studio è stato condotto durante una settimana di esercizio continuo dell'impianto alla potenzialità nominale, con una campagna di prelievo che ha interessato tutti i flussi di materiale in ingresso (rifiuti, liquidi di alimentazione allo scrubber) ed uscita (scorie, polveri del quencher, polveri di caldaia, polveri captate dal filtro a tessuto, emissioni atmosferiche, spurghi liquidi della torre di lavaggio, scarichi liquidi in ingresso ed uscita e fanghi dall'impianto di depurazione acque).
- Durante il periodo di indagine l'impianto appare in grado di ridurre il carico ambientale dei microinquinanti organici rispetto all'alimentazione, comportandosi come un distruttore di diossine piuttosto che come una sorgente aggiuntiva.

Fig 12. Portate specifiche di PCDD/F e PCB in ingresso e in uscita dall'impianto utilizzate nella formulazione del bilancio di materia

	Ingresso			Uscita							Bilancio di massa (OUT-IN)	MBF (OUT/IN)	
	Rifiuto	Scrubber IN	Totale IN	Scorie	PolC	PolQ	PolFF	Fanghi	Dep OUT	Fumi			Totale OUT
Totali (ng t <sub>RSU</sub> <sup>-1</sup> )													
PCDD/F	2273987	2	2273989	238466	163267	116650	1044451	6052	9	36	1568931	-705058	0,69
PCB	1069630	330	1069960	162260	1782	2165	27967	36333	291	1	230799	-839161	0,22
PCDD/F+PCB	3343617	332	3343949	400726	165049	118815	1072418	42385	300	37	1799730	-1544219	0,54
Tossicità equivalente (ng <sub>WHO-TEQ</sub> t <sub>RSU</sub> <sup>-1</sup> )													
PCDD/F	41582	0	41582	4361	2897	2398	23532	78	1	2	33269	-8313	0,80
PCB	1638	0	1638	139	27	31	321	53	0	0	571	-1067	0,35
PCDD/F+PCB	43220	0	43220	4500	2924	2429	23853	131	1	2	33840	-9380	0,78

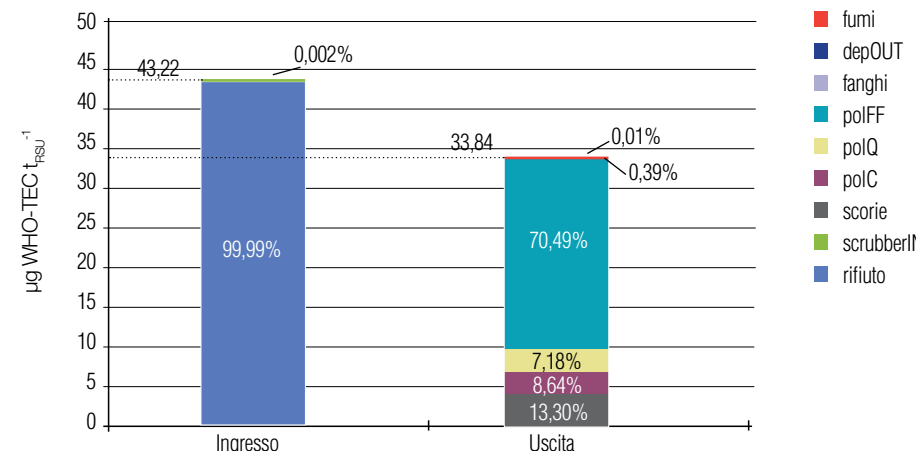


Fig 13. Bilancio di materia PCDD/F e PCB

- La ripartizione ottenuta nei flussi evidenzia nei residui solidi il veicolo più consistente nel convogliare il rilascio complessivo, con il contributo largamente preponderante delle polveri del filtro a maniche (70% circa del totale) ed un ruolo assolutamente irrilevante dell'emissione in atmosfera, del tutto coerenti con la configurazione e le prestazioni depurative della linea di trattamento dei gas.
- In termini generali, le polveri del filtro maniche e le scorie risultano il veicolo principale dell'immissione in ambiente dei metalli, con i restanti flussi che ne rappresentano un contributo poco significativo se non del tutto irrilevante, come nel caso delle emissioni atmosferiche, dei fanghi e dello scarico liquido dall'impianto di depurazione.

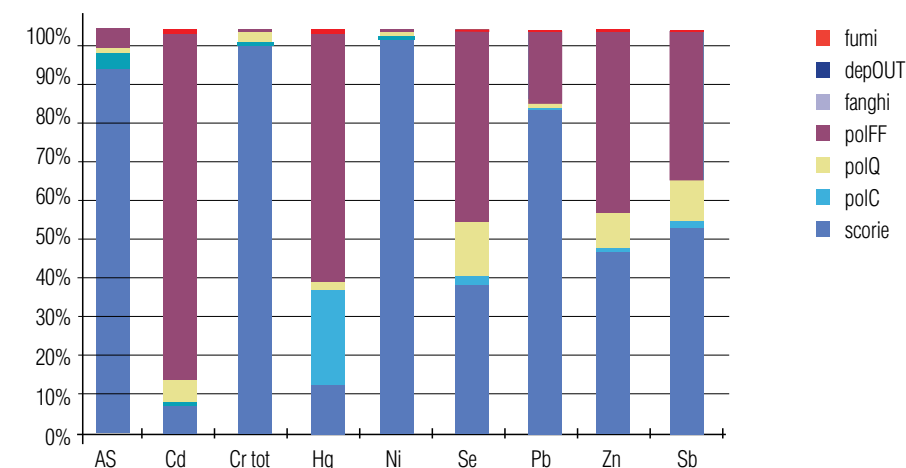


Fig 14. Ripartizione percentuale dei metalli nei residui dell'impianto



## LINEA PROGETTUALE 2

### Organizzazione e realizzazione della sorveglianza ambientale nelle aree di indagine

**Responsabile: Mauro Rossi, Arpa Emilia-Romagna**

**Azione 1** - Linee guida per la realizzazione della sorveglianza ambientale  
Responsabili: Mauro Rossi, Vanes Poluzzi (Arpa Emilia-Romagna)

**Azione 2** - Realizzazione del quadro conoscitivo delle emissioni in atmosfera relativo alle diverse sorgenti presenti sul territorio oggetto di studio  
Responsabili: Cristina Regazzi, Mauro Rossi (Arpa Emilia-Romagna)

**Azione 3** - Applicazione del modello ADMS Urban alle aree della regione Emilia-Romagna interessate dagli impatti degli inceneritori di RSU  
Responsabile: Mauro Rossi (Arpa Emilia-Romagna)

**Azione 4** - Sviluppo di sistemi modellistici avanzati per la valutazione di situazioni complesse  
Responsabile: Marco Deserti (Arpa Emilia-Romagna)

**Azione 5** - Campionamento di aerosol per la speciazione e il conteggio del numero di particelle rispetto alle loro dimensioni  
Responsabile: Mauro Rossi (Arpa Emilia-Romagna)

**Azione 6** - Analisi chimico-fisiche relative ai campioni di aerosol  
Responsabile: Mauro Rossi (Arpa Emilia-Romagna)

**Azione 7** - Analisi ed elaborazione dati e reportistica  
Responsabile: Mauro Rossi (Arpa Emilia-Romagna)

**Azione 8** - Micrometeorologia e profili di concentrazione  
Responsabili: Franco Prodi, Franco Belosi (ISAC-CNR)

**Azione 9** - Monitoraggio avanzato relativo al contenuto in metalli pesanti e microelementi nel sistema acqua-suolo-pianta  
Responsabile: Gilmo Vianello (Università di Bologna-DISTA)

#### **Enti coinvolti:**

Arpa Emilia-Romagna (Sezioni provinciali, Servizio IdroMeteoClima, Direzione tecnica, Centro tematico regionale Ambiente e salute)

Università Ca' Foscari di Venezia, Dipartimento di Chimica Fisica

Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Ambientale, Infrastrutture viarie, Rilievamento (DIIAR)

Università di Bologna, Dipartimento di Chimica

Università di Bologna, Dipartimento di Chimica Fisica e Inorganica

Università di Bologna, Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agroambientali (DISTA)

Università di Ferrara, Dipartimento di Chimica

Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima (ISAC)

### Risultati Linea progettuale 2 Fase I

Sono state redatte le Linee Guida per la Realizzazione della Sorveglianza Ambientale, sono stati studiati e redatti i catasti delle emissioni per i domini comprendenti gli inceneritori dell'Emilia-Romagna e sono state eseguite le simulazioni modellistiche sia per gli anni recenti che per i periodi storici degli impianti. *Questi ultimi hanno mostrato un trend temporale decrescente della ricaduta sul territorio, mano a mano che le tecnologie di abbattimento aumentavano di efficacia.*

### Risultati Linea progettuale 2 Fase II

Sono state eseguite molte campagne di monitoraggio, sia chimiche che fisiche. Le **analisi chimiche sul particolato** hanno mostrato che, per quanto riguarda il dominio del Frullo, i microinquinanti organici sono più caratterizzanti delle diverse Stazioni di prelievo, rispetto agli inquinanti inorganici, per quanto riguarda il particolato PM2.5 e PM1. Gli inquinanti pericolosi come diossine, pcb, mercurio, mostrano valori simili sia nel sito di massima ricaduta dell'inceneritore (Frullo Est-MXW) sia nel sito di controllo (Calamosco-CTW), *con concentrazioni tipiche di un fondo suburbano.* Le **indagini fisiche** indicano che l'inquinamento (particelle e ossidi di azoto) mostra tipiche caratteristiche antropogeniche con un pattern giornaliero significativamente diverso fra i giorni festivi e feriali compatibile con le emissioni delle attività urbane ed in particolare con il traffico veicolare. Le **indagini chimiche sul terreno e sui vegetali** hanno mostrato che il suolo superficiale è moderatamente contaminato di piombo immobilizzato nel terreno, compatibilmente con il passato uso di benzine al piombo, e che non ci sono differenze *statisticamente significative fra i vari siti di prelievo*, anche considerando il monitoraggio di ricaduta su suolo e vegetali di controllo.

## Introduzione

Nella Delibera Regionale (Seconda Edizione, 2008 - pagina 17) le attività della LP2 sono raccolte in due macrocontenitori:

Fase I: Interessa tutte le aree della regione Emilia-Romagna in cui sono presenti impianti di incenerimento RSU. *[A questa Fase fanno riferimento le Azioni 1-2-3].*

Fase II: [È] relativa ad attività sperimentale realizzata per acquisire conoscenze sulla qualità dell'aria e sulla matrice suolo in prossimità di inceneritori e per valutare aspetti meno noti del particolato atmosferico, anche con il contributo delle altre Linee Progettuali.

La Fase II ha dunque il preciso compito di essere un grande "esperimento pilota" sul campo, per aumentare la conoscenza sulla qualità dell'aria nelle zone circostanti gli impianti di incenerimento, attraverso la ricerca di inquinanti e microinquinanti non normati per legge e dunque solitamente non investigati nelle attività routinarie dell'Agenzia. La Fase II è stata attuata su un unico inceneritore: l'impianto del "Frullo" di Granarolo dell'Emilia (BO). Volendo gettare "il cuore oltre l'ostacolo" sono state tentate alcune interpretazioni sulla pressione ambientale dell'inceneritore esaminato, ma si deve ricordare che lo spirito del Progetto Monitor investiva nella LP 2 uno sforzo conoscitivo importante per creare un tesoretto di conoscenze e approfondimenti da cui trarre non solo conclusioni «generiche, immediate e risolutive» ma soprattutto «conoscenze applicative» per la realtà dell'Agenzia stessa e fornire delle solide Linee Guida, testate sul campo, da utilizzare in Emilia-Romagna per tutte le variegate realtà ambientali che circondano gli impianti di incenerimento.

### Azione 1. Linee Guida per la realizzazione della sorveglianza ambientale

Lo scopo delle Linee Guida è quello di fornire uno strumento utile per chi vuole effettuare il monitoraggio di un'area all'interno della quale sia presente un impianto di termovalorizzazione. Il focus principale è stato orientato alle analisi delle polveri atmosferiche ma sono presenti anche indicazioni su come effettuare un campionamento di suolo.



Per quanto riguarda il campionamento di aerosol, questo può essere sintetizzato nelle seguenti fasi:

- scelta dei punti di massimo impatto e di controllo, utilizzando programmi di simulazione modellistica che tengano conto delle emissioni del termovalorizzatore, e delle emissioni delle altre sorgenti inquinanti (puntuali e diffuse);
- scelta dei migliori periodi di monitoraggio, tenendo conto delle condizioni meteorologiche e delle diverse distribuzioni degli inquinanti a seconda delle ore della giornata e dei mesi dell'anno;
- come effettuare effettivamente il monitoraggio, avendo cura di effettuare prelievi contemporanei nei punti di massimo impatto e di controllo, e come gestire le eventuali necessità di prolungamento/modifica di prelievo a seconda delle condizioni meteo reali riscontrate;
- come interpretare i risultati ottenuti, tramite l'utilizzo a posteriori di simulazioni modellistiche.

Quanto brevemente riassunto più sopra è schematizzato nella seguente traccia:



Nella figura le quattro fasi di cui si è detto sono rappresentate dalle caselle verdi; nelle caselle bianche sono esplicitati i dettagli dell'intera procedura; l'inizio della procedura e le simulazioni modellistiche sono evidenziate in rosso.

## Azione 2. Realizzazione del quadro conoscitivo delle emissioni in atmosfera relativo alle diverse sorgenti presenti sul territorio oggetto di studio.

### Obiettivi

- reperimento dei dati dagli inventari provinciali o regionali
- costruzione di un inventario locale, relativamente al dominio di calcolo ADMS-Urban, il più possibile esaustivo e omogeneo nelle metodologie di stima delle emissioni.

### Descrizione delle attività e conclusioni

Le attività di questa Azione sono state concordate in stretta collaborazione con i Responsabili della Azione 2 della LP3 (Valutazione dell'esposizione). Una volta definito la porzione di territorio di interesse, altrimenti definito "area di studio" o "dominio delle simulazioni ADMS-Urban", si è provveduto al reperimento dei dati emissivi relativamente alle sorgenti di seguito indicate come macrosettori (M) con riferimento alla classificazione SNAP 97:

- M1 Combustione energia ed industria della trasformazione;
- M2 Combustione non industriale;
- M3 Combustione nell'industria;
- M4 Processi produttivi;
- M7 Trasporto su strada;
- M8 Altre sorgenti mobili;
- M9 Trattamento e smaltimento rifiuti;
- M10 Agricoltura.

I criteri di raccolta ed elaborazione dati sono stati discussi e condivisi sia da tutti gli operatori provinciali che hanno prodotto le rispettive basi dati (db) dei domini di loro competenza, sia dai Responsabili (all'epoca, anno 2007, il responsabile di Linea 2 era V. Poluzzi). La produzione dei db è stata resa **omogenea nella procedura** e, relativamente alla qualità del dato, il criterio cardine scelto è stato quello di fornire, **per ogni dominio, la migliore conoscenza delle emissioni** relativamente ai macrosettori di interesse.

La stima delle emissioni relative a territori in studio sono state realizzate utilizzando le informazioni più dettagliate disponibili. Nonostante ciò, per taluni settori è stato necessario effettuare diverse assunzioni e stimare le emissioni

dei domini di studio utilizzando variabili proxy. Gli inquinanti scelti per questo progetto sono stati PM10 e NOx e su questi sono stati costruiti i db.

Nelle tabelle seguenti vengono riportati, in maniera riassuntiva, i catasti relativi alle aree di interesse degli studi Monitor (t/a=tonnellate/anno).

NOX t/a	PC	RE	MO	BO	FE	FC	RA	RN
Produzione Energia	925,0	188,7	0,0	0,0	1113,0	0,0	1943,3	0,0
Riscaldamento	173,4	211,4	202,7	131,9	142,1	131,8	64,2	108,2
Industria	1908,3	312,0	33,4	91,7	1940,6	31,7	2018,3	49,2
Traffico	1330,2	1081,0	644,0	1935,8	830,2	1062,2	63,8	1422,9
Mezzi Agricoli	59,7	31,8	34,0	59,7	73,2	35,0	48,4	49,7
Porto	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Termovalorizzatore	84,8	60,0	138,3	122,3	62,6	51,8	59,1	93,7
Allevamenti	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TOT	4481,5	1884,9	1052,4	2341,4	4161,7	1312,4	4197,1	1724,0

PM10 t/a	PC	RE	MO	BO	FE	FC	RA	RN
Produzione Energia	0,00	0,81	0,00	0,00	44,00	0,00	0,00	0,00
Riscaldamento	9,37	7,30	7,60	5,12	5,70	11,46	0,52	12,91
Industria	48,0	44,0	35,4	62,0	140,9	15,0	451,7	3,84
Traffico	127,1	101,8	60,1	168,4	76,7	99,2	6,0	77,7
Mezzi Agricoli	7,80	4,00	4,20	9,42	9,05	4,33	6,0	7,82
Porto	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	35,5	0,00
Termovalorizzatore	0,29	0,32	0,98	1,81	0,46	1,76	0,44	1,01
Allevamenti	0,00	0,50	2,00	0,00	0,30	6,10	0,00	0,00
TOT	192,54	158,73	110,28	246,69	277,14	137,79	500,1	103,2

**È possibile dunque asserire che entrambi gli obiettivi A e B della Azione 2 siano stati pienamente raggiunti.** Ciononostante, allo scopo di rendere ancora più esaustivo il lavoro di produzione dei catasti emissivi, è stato

prodotto un ulteriore lavoro extra-specifiche della Delibera Regionale (Seconda Edizione, anno 2008) che è consistito in uno studio per la valutazione dell'incertezza sulle emissioni nei domini di calcolo ADMS-Urban. I risultati di questo lavoro aggiuntivo sono i seguenti:

### M1-M9

Per quanto riguarda gli impianti di termodistruzione dei rifiuti (M9) e i grandi impianti di produzione di energia (M1) ricadenti nei domini di studio sono stati utilizzati i dati dei controlli in continuo. L'incertezza stimata per la media annuale è intorno al 5%.

### M2

Le stime delle emissioni relative al macrosettore 2 sono state realizzate mediante l'utilizzo di dati sui consumi stimati di combustibile (metano, GPL, gasolio, legna) e fattori di emissione di letteratura.

La principale fonte di incertezza parrebbe legata al fattore di emissione (in particolare per PM10 da combustione della legna), ma occorre considerare che gli indicatori di attività sono dati di vendita dei combustibili a livello regionale o provinciale (assunti pari ai dati di consumo), che sono stati ripartiti sulla scala locale utilizzando il dato delle superfici abitative riscaldate con le varie tipologie di combustibili (fonte ISTAT). In un dominio territoriale piccolo, dunque, le stime dei consumi dei combustibili sono nettamente più incerte rispetto al dato di partenza. Si valuta che l'incertezza sulla stima dei consumi, relativamente bassa sulla scala regionale, possa arrivare per alcuni combustibili al 50% a scala comunale e a valori superiori su domini più piccoli.

**M3-M4**

Le emissioni produttive sono state valutate secondo il seguente schema a piramide:



Le stime delle emissioni dal settore produttivo sono state realizzate utilizzando i dati contenuti nei catasti delle autorizzazioni ed applicando al dato autorizzato opportuni *Fattori Correttivi (FC)* (tali fattori sono stati ottenuti elaborando statisticamente l'insieme dei dati relativi al rapporto "misurato/autorizzato" per singolo Settore SNAP97). In questo tipo di procedimento le incertezze si concentrano sulla classificazione corretta delle singole Attività secondo la codifica SNAP97 e sulla variabilità/affidabilità del FC adottato (la sua rappresentatività è funzione della numerosità dei dati di controllo/autocontrollo utilizzati per il suo calcolo, e quindi varia da inquinante a inquinante). È stato possibile solo assegnare un codice di qualità del dato (da 1, dato migliore, a 5, dato peggiore) per ogni singolo dato emissivo ma non è stato possibile quantificare correttamente un errore percentuale sul valore di emissione.

**M7**

La valutazione delle emissioni da traffico veicolare sono state effettuate utilizzando il sistema INEMAR che implementa la metodologia di calcolo messa a

punto nel modello COPERT (COMputer Programme to calculate Emissions from Road Transport) nell'ambito del progetto CORINAIR (Coordination Information AIR).

Tale metodologia si basa su specifici fattori di emissione espressi in funzione della categoria veicolare, del tipo di combustibile utilizzato e della velocità di viaggio.

Nell'ambito di Monitor le emissioni da questo settore sono state considerate lineari. Le emissioni lineari sono le emissioni derivanti dal traffico che si verifica su tratti stradali definiti e vengono stimate sulla base del numero di passaggi veicolari sui diversi archi della rete (o grafo). Le incertezze riguardano la ricostruzione del parco veicolare circolante, i fattori di emissione, le velocità. Secondo il giudizio di esperti di settore le incertezze per queste tipologie di modelli si attestano attorno al 30%.

In aggiunta va però considerata l'incertezza relativa alla reale conoscenza del traffico in un dominio di piccole dimensioni, che rende difficile la stima dell'incertezza composta. Inoltre, i flussi di traffico per i diversi domini, utilizzati per il calcolo delle emissioni, sono stati forniti da diversi Enti e sono di diversa natura (esempio: misure dirette su vari archi temporali, output di modelli di viabilità, ecc.) ma non ci sono state fornite indicazioni di incertezza sugli stessi.

**M8**

Per il settore M8 **sono state considerate unicamente le emissioni dovute ai mezzi agricoli**. Poiché il dato dei consumi a livello provinciale è abbastanza certo (fonte dati ufficio regionale "Servizio aiuti alle imprese") le maggiori incertezze derivano dall'utilizzo di proxy per la distribuzione spaziale delle emissioni nei domini locali e ai fattori di emissione. Non è stato possibile valutare quantitativamente tale incertezza ma, da colloqui con esperti del settore, è presumibile che si possa attestare a valori elevati (probabilmente in classe D rispetto alla scala da A-E dell'Atmospheric Emission Inventory Guidebook (EEA, 1999) con tipici intervalli di errore che possono raggiungere il 300%).

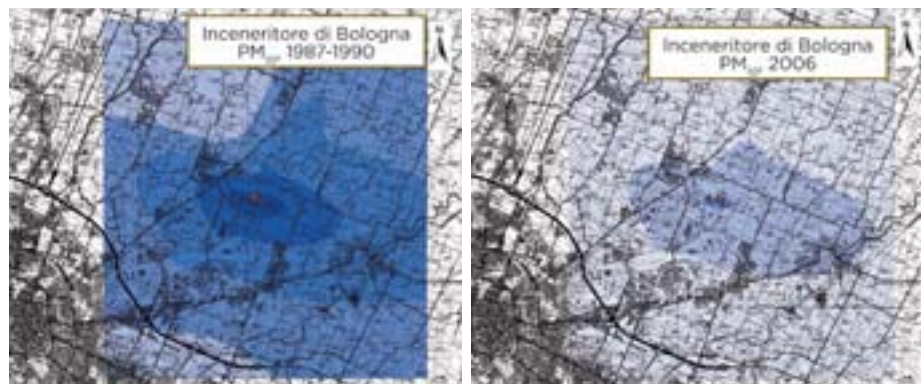
**M10**

Per il settore M10 **sono stati valutati unicamente gli allevamenti animali**. Non è stato possibile quantificare un valore di incertezza su tali emissioni.

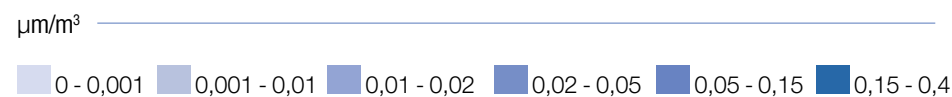
### Azione 3. Applicazione del modello ADMS-Urban alle aree della regione Emilia-Romagna interessate dagli impatti degli inceneritori RSU

Per questo lavoro è stato effettuato un uso “non convenzionale” della modellistica.

Infatti, solitamente Adms-Urban viene utilizzato per valutare differenti scenari ambientali del tipo “what if” e per valutare lo stato ambientale di specifiche zone urbane, previa “taratura” del modello, cercando cioè di assicurare il più possibile l’uguaglianza fra i valori simulati e quelli misurati da rilevazioni ambientali.



**Mappe di ricaduta degli inquinanti.** Le mappe mostrano i valori medi annuali di ricaduta al suolo del  $PM_{10}$  emesso dall’inceneritore del Frullo di Granarolo dell’Emilia (BO), nel periodo 1987-1990 (a sinistra) e nel 2006 (a destra), in seguito al rinnovamento dell’impianto.



Gli obiettivi di questa azione sono i seguenti:

- realizzazione delle simulazioni modellistiche nelle aree prossime agli inceneritori, relativamente a tutte le fonti le cui emissioni sono state studiate nella Az.2; inquinanti modellizzati:  $NO_x$  e  $PM_{10}$  (si assume “polveri totali”= $PM_{10}$ );
- realizzazione delle simulazioni modellistiche delle ricadute degli inceneritori (solo camino) presenti negli anni recenti in Emilia-Romagna; inquinanti mo-

dellizzati:  $NO_x$  e  $PM_{10}$  (si assume “polveri totali”= $PM_{10}$ );

- realizzazione delle simulazioni modellistiche delle ricadute degli inceneritori (solo camino) presenti in passato nella regione Emilia-Romagna; inquinanti modellizzati  $PM_{10}$  (si assume “polveri totali”= $PM_{10}$ ).

La scelta dell’inquinante “polveri” è dovuta alla difficoltà di reperimento dei dati di diverse specie chimiche per tutte le fonti del dominio e al fatto che tale inquinante può essere considerato come tracciante di altre sostanze che vengono in massima parte ritrovate sul particolato (molti metalli e sostanze organiche pericolose per la salute).

Lo scopo delle simulazioni è stato quello di avere un quadro geografico delle ricadute degli inquinanti, in un dominio di una estensione tale da includere al suo interno un quadrato di 8 Km di lato, centrato sul camino dell’inceneritore. La circonferenza di raggio 4 km, inscritta in tale quadrato, sarà l’area di interesse epidemiologico (LP3-LP4). La definizione del dominio di calcolo ADMS-Urban si appoggia sui seguenti criteri operativi:

- inclusione delle aree industriali, autostrade e strade di grande viabilità;
- inclusione delle aree urbane (in particolare siti sensibili quali ospedali, scuole, residenze per anziani, parchi giochi, ecc);
- esclusione di ampie aree disabitate (mare);
- esclusione di aree a orografia complessa, compatibilmente con le potenzialità del modello di dispersione utilizzato;
- maggiore estensione delle direzioni prevalenti notturne del vento, capaci di generare più di sovente fenomeni di pennacchio “piatto”.

L’Azione 3 è stata in stretta comunicazione a doppio senso con l’Azione 2, in quanto il raffinamento della qualità delle mappe è collegato al grado di qualità di conoscenza delle emissioni del dominio di calcolo modellistico.

Sono stati studiati i migliori criteri di rappresentazione delle emissioni all’interno del modello, con particolare riguardo alla geometria degli emettitori e alla modulazione temporale delle emissioni stesse.

Inoltre è stato definito quale input meteorologico si dovesse utilizzare per la migliore rappresentatività della simulazione, soprattutto per le simulazioni del passato, per le quali non erano disponibili serie storiche di dati orari meteorologici. A questo riguardo è stato scelto di mantenere scollegato il database meteo dal database emissivo e sono stati utilizzati database formati da 12 mesi consecutivi liberi da eventi “anomali” e provenienti dalla migliore fonte

di dati, disponibili per i diversi territori di studio. Le fonti di dati meteorologici sono state: il preprocessore Calmet, il dataset Lama o le centraline meteo sul territorio.

Per gli studi epidemiologici sono state eseguite circa 200 mappe di simulazione sulle quali sono state evidenziate le aree di ricaduta degli inquinanti emessi in periodi diversi durante le attività degli impianti. **Lo scopo primario della Azione 3, in concerto con l’Azione 2**, è stato quello di assicurare criteri omogenei di modellizzazione per tutti gli inceneritori e di consegnare agli epidemiologi una base sulla quale effettuare le loro valutazioni.

*L’analisi delle mappe del solo inceneritore ha mostrato un trend temporale decrescente della ricaduta sul territorio, mano a mano che le tecnologie di abbattimento aumentavano di efficacia.*

#### Azione 4. Sviluppo di sistemi modellistici avanzati per la valutazione di situazioni complesse.

##### Obiettivi

- Messa a punto di uno strumento modellistico per lo studio delle ricadute di inquinanti primari in prossimità di una sorgente emissiva, anche in condizioni orograficamente e meteorologicamente complesse.
- Supporto all’interpretazione dei dati ottenuti dal monitoraggio del *Frullo* (Granarolo, BO).

##### Descrizione delle attività

L’azione si articola nelle seguenti attività: (1) rassegna dei modelli esistenti e selezione del modello; (2) acquisizione e sviluppo del modello; (3) sviluppo dell’interfaccia meteo; (4) formazione degli operatori ARPA per l’applicazione del modello. Infine si è anche effettuata l’applicazione del modello all’inceneritore del *Frullo*, a supporto dell’interpretazione dei dati misurati (supporto Azione 7).

Prendendo come riferimento la rassegna di modelli resa disponibile dal progetto COST 728 (progetto europeo di coordinamento tecnico-scientifico per il miglioramento dei modelli meteorologici a mesoscala, orientato ad applicazioni sulla dispersione di inquinanti in atmosfera) e alcune indicazioni avute

da tecnici e ricercatori, si è stilata una lista di strumenti modellistici candidati. Di ciascuno dei modelli è stata valutata l’adeguatezza per i nostri scopi, cioè il rispetto dei seguenti requisiti:

- focus sull’area di ricaduta in prossimità della sorgente emissiva (0,1 ÷ 10 km);
- capacità di simulare accuratamente le ricadute in condizioni meteo non stazionarie e con calme di vento;
- disponibilità di una versione di test.

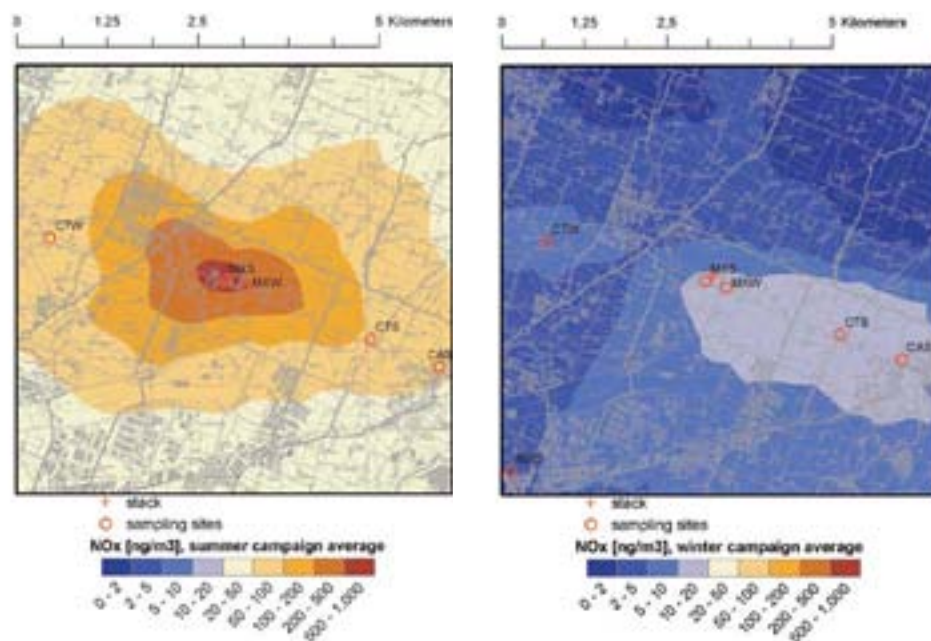
Dalla rassegna è stato scelto il modello Lapmod, che è un modello lagrangiano a particelle, tridimensionale e non stazionario. Ciò significa che l’emissione inquinante viene frammentata in una serie di porzioni dette “particelle”, di ciascuna delle quali viene seguito il percorso nell’atmosfera, determinato dai venti e dalla turbolenza che essa incontra nel proprio percorso. Lapmod è utilizzato da JRC-UE e ISPRA per la gestione delle emergenze nucleari.

##### Applicazione al caso dell’inceneritore del *Frullo*

Sono stati simulati solo effluenti gassosi e non polveri, per i periodi delle campagne (in quanto, a queste scale, il comportamento degli aerosol, in termini diffusivi, può essere assimilato a quello di un gas). Il dato emissivo, di velocità e di temperatura dei fumi è su base semioraria ed è stato ottenuto a partire dai valori di controllo SME.

##### La simulazione estiva

Le isolinee di concentrazione media hanno una forma leggermente allungata secondo le direzioni prevalenti dei venti, cioè parallelo all’asse appenninico. Tuttavia vi sono anche ricadute associabili a venti provenienti dalla pianura a nord e dalla collina a sud. La zona di massima ricaduta include l’impianto stesso. Ciò suggerisce che le concentrazioni più elevate al suolo corrispondano a condizioni atmosferiche di vivace rimescolamento verticale e venti deboli, o calma di vento.



Concentrazioni medie di NOx calcolate per il periodo della campagna estiva (a sinistra) e per il periodo della campagna invernale (a destra), calcolate in prossimità dell'impianto di incenerimento.

### La simulazione invernale

Come in estate, anche in inverno le isolinee di concentrazione assumono una forma oblunga parallela all'asse appenninico. In questo caso prevalgono però le ricadute associate ai venti provenienti dai quadranti occidentali, rispetto alle ricadute associate ai venti orientali. L'area di massima ricaduta include l'impianto stesso, ma stavolta si allunga fino a lambire l'insediamento urbano di Castenaso. Si nota la quasi totale assenza di ricadute nella pianura a nord e nord-est dell'impianto, associabili a venti provenienti dalla collina.

### Conclusioni

Gli obiettivi dell'azione, scelta e messa a punto del modello, formazione del personale Arpa, sono stati raggiunti.

Il modello lagrangiano è stato poi applicato alle campagne di misura Monitor, per simulare le ricadute dell'inceneritore del Frullo. I risultati confermano le conoscenze ottenute in via preliminare dal modello ADMS-Urban, ovvero che

gli impatti più marcati (in termini di concentrazioni in atmosfera) sono in prossimità dell'impianto, nella stagione estiva, nelle ore centrali della giornata. Inoltre l'analisi delle correlazioni tra gli andamenti simulati da Lapmod nei diversi punti di campionamento, conferma la bontà della scelta dei Siti di prelievo precedentemente effettuata mediante ADMS-Urban.

**Azione 5. Campionamento di aerosol per la speciazione e il conteggio del numero di particelle rispetto alle loro dimensioni**

**Azione 6. Analisi chimico-fisiche relative ai campioni di aerosol**

**Azione 7. Analisi ed elaborazione dati e reportistica**

### Campionamento ed analisi

Le campagne di monitoraggio ambientale sono state due: la campagna estiva che chiameremo S (da Summer) e la campagna invernale che chiameremo W (da Winter). Ogni campagna in realtà è costituita da diverse campagne sovrapposte. PM2.5 e PM1 costituiscono il nucleo centrale delle campagne stesse, in quanto sono stati raccolti un numero considerevole di campioni, sia per la valutazione gravimetrica che per le svariate valutazioni chimiche (illustrate nel dettaglio più avanti) che hanno portato alla speciazione chimica del particolato. A queste campagne, che chiameremo "principali", si sono affiancate parallelamente altre campagne "minori" per numero di campioni, ma ugualmente importanti. L'analisi dei dati è stata condotta con criteri differenti per le campagne "principali" rispetto alle campagne "minori" in quanto il flusso di dati era notevolmente differente: per le campagne principali i dati sono stati analizzati sia con metodi univariati che con metodi multivariati.

Di seguito sono elencati i punti di monitoraggio. Max1 e Max2 e i relativi controlli sono stati definiti secondo la metodologia descritta nella Linea Guida elaborata tramite l'Azione 1. I Punti di prelievo "massimo del dominio" e "minimo del dominio" si riferiscono a zone definite come tali dalla simulazione ADMS "tutte le fonti". I periodi di campionamento sono stati: 2 giugno - 24 luglio 2008 e 14 gennaio - 13 marzo 2009.

Punto di indagine	Tipologia di campioni prelevati	Comune	Nome breve	Tipologia del sito di prelievo
1 Frullo Est Supersite	PTS-Puf, PM2.5, PM1	Granarolo	MXW	zona massimo ricaduta inceneritore-max1
2 Calamosco	PTS-Puf, PM2.5, PM1	Bologna	CTW	controllo del max1
3 Pianeta	PTS-Puf, PM2.5, PM1	Bologna	MXD	zona massimo del dominio
4 Margherita	PM2.5	Bologna	GMA	area urbana
5 Veduro	PM2.5	Castenaso	MND	zona minimo del dominio
6 Frullo Ovest	PM2.5	Granarolo	MXS	zona massimo ricaduta inceneritore-max2
7 Frullo 19 – F19	PM2.5	Castenaso	CTS	controllo del max2
8 Castenaso	PM2.5	Castenaso	CAS	area suburbana
9 S. Pietro Capofiume	PM2.5	Molinella	SPC	area rurale

PTS=Particolato Totale Sospeso; PUF=spugna poliuretana (vedi poi); PMx=Particolato di dimensione inferiore a x µm

I campioni sono stati raccolti utilizzando strumenti Skypost per i PM 2.5 e PM 1 (filtro 47mm, fibra di quarzo) e strumenti EchoHiVol ad alto volume (filtro 102 mm, fibra di vetro e PUF). I campioni Skypost sono tutti di 24 h e una volta effettuata la gravimetria, le indagini chimico-analitiche sono state condotte su due campioni di 24 h (48 h consecutive), a parte i campioni PM2.5 provenienti da MXW, che sono stati invece analizzati su singoli filtri di 24h. I campioni di alto volume sono stati orientati alle analisi dei soli microinquinanti organici Diossine e PCB. Durante le due campagne, sono stati raccolti in totale 771 campioni. Per PM1 e PM2.5, i campioni sono stati divisi in quattro aliquote, destinate ad analisi, secondo il seguente schema:

1. Arpa: metalli totali
2. Arpa: microinquinanti organici.
3. Unibo (Univ. di Bologna) Facoltà di Chimica Industriale: carbonio totale e idrosolubile
4. Unibo Facoltà di Scienze (Chimica): dissoluzione in acqua, analisi anioni e cationi, invio aliquota di soluzione a Unife (Università di Ferrara) Facoltà di

Scienze (Chimica) per metalli (frazione idro-solubile) e microinquinanti organici polari.

Per PTS-PUF i campioni sono stati inviati allo stesso laboratorio Arpa dei microinquinanti organici per le analisi di diossine e policlorobifenili.

### Elaborazione dei dati sperimentali

Lo scopo delle campagne di monitoraggio è stato quello di verificare se vi siano differenze significative fra i valori analitici registrati nelle differenti Stazioni, sia a livello quantitativo, misurando i diversi valori di polveri di diversa dimensione presente nelle nove stazioni, sia a livello quali/quantitativo, effettuando analisi di speciazione delle sostanze presenti sul particolato raccolto.

### Gravimetrie

Per valutare la significatività delle differenze tra i siti, si è utilizzato il t-test per dati appaiati tra tutte le coppie di siti. Intervallo di confidenza scelto: 95%.

A conclusione di queste analisi statistiche possiamo dire che i siti sono tutti non significativamente dissimili, dal punto di vista della polverosità PM2.5, tranne il sito Giardini Margherita (GMA) che nella prima campagna (S) si differenzia solo dal sito Frullo Est (MXW), mentre nella seconda campagna (W) si differenzia da tutti i siti di monitoraggio. Frullo Est (MXW) ha il valore medio massimo, e Giardini Margherita ha il valore medio minimo, per entrambe le campagne. Sono da sottolineare gli alti valori di coefficiente di correlazione fra tutti i siti, segno anch'esso del fatto che gli andamenti di concentrazione di polveri potrebbero essere in massima parte guidati da eventi di scala più elevata rispetto a quella delle campagne. Il fatto che GMA mantenga valori mediamente più bassi, seppur ben correlati con tutti gli altri siti, fa pensare che sia sotto l'influenza di una micrometeorologia peculiare, capace di diluire il tenore di polverosità.

La campagna invernale (W) registra valori medi di polverosità più elevati rispetto la campagna estiva (S), e questo è un comportamento atteso, in quanto l'inquinamento da polveri è più critico nella stagione fredda. Per quanto riguarda il PM1 non si possono distinguere con certezza i diversi siti. Gli indizi porterebbero a identificare il sito Pianeta (MXD) come più impattato di polveri fini per la stagione invernale, ma non è stato possibile evidenziare con l'indagine gravimetrica una qualsiasi differenza per questa granulometria.

## Speciazioni chimiche

Per valutare le differenze dei tipi di inquinanti presenti sul particolato raccolto, sono stati condotti studi sia con la statistica univariata, sia ricercando eventuali correlazioni con la ricaduta dell'inceneritore calcolata per via modellistica (Lapmod, ADMS). Le conclusioni di queste indagini risultano però non del tutto risolutive. Occorre infatti tenere presente che la quantità di polveri in uscita dall'inceneritore è talmente bassa da aver costretto la Linea Progettuale 1 a collezionare campioni di 48h consecutive direttamente in uscita al camino, per potere raccogliere campione sufficiente alle analisi chimiche. Per quanto riguarda l'aria ambiente esiste il problema di collezionare campioni che sono la somma di svariate sorgenti, non ultime le polveri che viaggiano da lontano e/o contribuiscono alla polverosità di fondo, polveri che hanno subito trasformazioni chimico-fisiche durante il tragitto sorgente-recettore, polveri generate chimicamente da reazioni in atmosfera.

Per approfondire ulteriormente il problema sono state quindi adottate tecniche statistiche multivariate: analisi delle componenti principali (PCA), del clustering K-means nello spazio delle componenti principali e del Source Apportionment sul sito MXW.

I gruppi di variabili analizzati separatamente in PCA sono stati:

- Metalli idrosolubili
- Ioni, carbonio totale e solubile
- Alcani a catena lineare
- IPA e nitro-IPA

Per tutti i gruppi sopra menzionati, le variabili originali prese in considerazione sono state quelle sufficientemente popolate di dati: sono stati inclusi nella analisi statistica solo quegli analiti che presentavano un numero di analisi eccedenti il LOD (Limit of Detection) non inferiore al 75% dei campioni analizzati. Seguono: una veloce carrellata descrittiva degli inquinanti analizzati per le campagne principali e le conclusioni di queste campagne nel loro complesso.

### Metalli idrosolubili

I metalli idrosolubili presi in considerazione sono elencati nella successiva tabella. Per quanto riguarda il vanadio (V), nella campagna invernale (W) esso non era presente in un numero sufficiente di analisi superiori al LOD; il cromo (Cr)

è stato invece scartato per la campagna estiva (S) in quanto un lotto di filtri è risultato differente da tutti gli altri e contaminato proprio da questo elemento.

Variabile	S	W	Possibili sorgenti generiche (da letteratura)
Ni	X	X	Processi incenerimento, emissioni autoveicoli
Cu	X	X	varie sorgenti tra cui incenerimento
Mn	X	X	
Cd	X	X	Processi industriali
Pb	X	X	
Al	X	X	
Fe	X	X	Erosione suoli, uso combustibili fossili produzione leghe ferrose
Sb	X	X	
V	X		Emissioni autoveicoli
As	X	X	
Sr	X	X	
Cr		X	Processi industriali

Lista delle variabili dei metalli costituenti il particolato ed estratti in acqua pura, considerate per le due campagne Estiva (S) ed Invernale (W). Il simbolo X definisce la presenza dell'analita nella elaborazione dei dati per la rispettiva campagna.

Le sorgenti di questi inquinanti potrebbero anche essere in località esterne al territorio da noi considerato e trovarsi su polveri trasportate da fuori dominio dei siti di raccolta. Esiste infine una grande molteplicità di differenti sorgenti che possono contribuire alla presenza di uno stesso metallo.

### Ioni, carbonio totale e idrosolubile

Le variabili di partenza prese in considerazione per questo gruppo sono i seguenti: ione ammonio, ione potassio, ione cloruro, ioni nitrito e nitrato, ione solfato, succinato, ossalato. Carbonio Totale e Carbonio Totale idrosolubile.

Analogamente a quanto è stato fatto per i metalli solubili, anche in questo caso è stato applicato il criterio generale per il quale si sono considerate solo quelle variabili presenti in elevata percentuale al di sopra del LOD, in tutti i siti esaminati. Per questo motivo non è stato preso in considerazione per la campagna W



l'anione succinato. Il carbonio organico idrosolubile è solitamente correlato alla combustione delle biomasse, ma alla sua presenza possono anche contribuire fenomeni secondari non ancora ben chiari dalla letteratura di settore.

### Alcani a catena lineare

Gli alcani sono composti organici costituiti solamente da carbonio e idrogeno e hanno la seguente formula bruta:  $C_nH_{(2n + 2)}$ .

Nell'ambito del Progetto sono stati studiati solo gli alcani lineari o normali alcani (n-alcani), che per semplicità vengono identificati dalla sola lunghezza della catena di atomi di carbonio, indicati con l'etichetta  $C_n$ .

Queste sostanze, di origine primaria, sono solitamente presenti in atmosfera nell'intervallo  $C_{14}$ - $C_{35}$  e si possono trovare sia in fase gassosa che adese al particolato. Sono composti molto stabili dal punto di vista chimico, non sono tossici, ma sono comunque studiati in quanto possono fornire indicazioni sul grado di naturalità del sito di prelievo. Infatti possono derivare sia da sorgenti antropiche (principalmente da emissioni di autoveicoli o, più in generale, da combustioni incomplete), sia da sorgenti naturali (ad es. cere di piante vascolari, fonti microbiche, ecc.).

Di seguito sono riportate le classificazioni della provenienza biogenica (B), antropogenica (A) o mista (M) degli alcani presenti sul particolato proveniente dai diversi Siti di prelievo.

Stazione	Particolato	S	W
		CONTRIBUTO	
MXW	PM2.5	M	M
	PM1	M	M
MXS	PM2.5	M	M
CAS	PM2.5	M	A
CTS	PM2.5	M	M
MXD	PM2.5	M	M
	PM1	M	M
CTW	PM2.5	B	M
	PM1	M	M
MND	PM2.5	M	M
GMA	PM2.5	M	B

### Idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e Nitro-IPA (N-IPA)

Il termine IPA sta ad indicare una classe di composti organici formati da carbonio e idrogeno, caratterizzati dalla presenza di due o più anelli "aromatici" condensati fra loro. L'IPA più semplice di tutti è il naftalene, formato da due soli anelli aromatici condensati.

Gli IPA sono suddivisi genericamente in "leggeri" e "pesanti" in funzione del loro peso molecolare o, più semplicemente, dal numero di anelli che li costituiscono. Gli IPA si trovano nel carbone e, in generale, in tutti i prodotti petroliferi, soprattutto nelle frazioni più pesanti di distillazione del petrolio, come il gasolio e l'olio combustibile, ma sono sostanze che possono essere prodotte in tutte le combustioni incomplete dei composti organici. Le principali sorgenti di IPA in atmosfera sono le caldaie alimentate con combustibili solidi come le biomasse o con olii pesanti, gli autoveicoli a benzina e gasolio, alcune attività industriali come la lavorazione del carbon fossile, della grafite e le cokerie. Insieme agli IPA sono stati analizzati anche alcuni nitro-derivati, chiamati Nitro-IPA (N-IPA). Queste molecole sono caratterizzate dalla presenza di un gruppo nitro  $-NO_2$  legato ad un atomo di carbonio. Sono molecole che possono essere immesse direttamente in atmosfera durante una combustione o formarsi per via fotochimica a partire da ossidi di azoto, IPA e radiazioni solari.

Gli IPA e i N-IPA sono tossici e implicati nella formazione di svariati tumori.

Per le campagne Monitor sono stati analizzati sulle polveri 27 IPA e 12 N-IPA differenti, tra cui anche i principali riconosciuti da IARC come sicuramente o probabilmente cancerogeni.

Sono inoltre state effettuate alcune simulazioni *ad hoc* per stimare le quantità di questi composti rilasciate al suolo dall'inceneritore, a partire dalle misure al camino effettuate dalla Linea Progettuale 1. Il confronto fra la concentrazione misurata in aria e quella stimata dal suolo dal modello ADMS-Urban, relativamente allo stesso periodo temporale, porterebbe ad una stima del contributo dovuto al camino dell'impianto del tutto trascurabile, inferiore al 2%.

### Conclusioni campagne "principali"

In entrambe le campagne, il sito urbano di **Margherita** sembra avere quantità minori di inquinanti rispetto agli altri siti; durante l'inverno, però, si contraddistingue per livelli superiori alla media di alcani a catena corta  $<C_{20}$ , di probabile origine antropica (traffico veicolare).

**Veduro** nella campagna estiva si distingue dagli altri per quanto riguarda gli organici: ha valori minori di carbonio totale, alcani e IPA quindi si conferma in tal senso come minimo del dominio.

Al contrario, in inverno, l'unica classe di composti che lo contraddistingue è quella degli alcani: concentrazioni superiori alla media di alcani a catena lunga suggeriscono fattori legati al riscaldamento.

Nella campagna estiva, elevate concentrazioni di carbonio organico contraddistinguono Pianeta e **Frullo Est**: nel primo sito, sono importanti gli IPA, mentre nel secondo gli alcani. Nella campagna invernale, **Pianeta** è sempre raggruppato insieme ad altri siti, senza mai mostrare caratteristiche peculiari che lo contraddistinguono come massimo del dominio.

Nella campagna invernale, in **Calamosco** si sono misurati livelli di Idrocarburi Policiclici Aromatici maggiori rispetto tutti gli altri siti, soprattutto nel PM2.5 in cui prevalgono gli IPA più pesanti, mentre nel PM1 quelli più leggeri. Nessuno di questi aspetti è emerso nell'elaborazione dei dati della campagna estiva.

Nella campagna invernale, Frullo Est (PM1) nella maggioranza dei casi registra concentrazioni superiori alla media di diversi IPA ed alcani di media lunghezza (C21-C23).

Nel Supersito Frullo Est (PM2.5) durante l'estate si registrano i livelli massimi di carbonio totale, di alcani a catena lunga, e di alcuni IPA, qui presenti in concentrazioni maggiori rispetto gli altri siti ad esclusione di **Frullo Ovest**, che presenta comunque concentrazioni di N-IPA inferiori. Durante l'inverno, **Frullo Est** (PM2.5) è ancora il massimo per quanto riguarda il contenuto di carbonio, ma gli altri analiti sopra menzionati registrano concentrazioni comparabili con quelle misurate altrove; anche in Frullo Ovest le concentrazioni invernali di NIPA sono simili agli altri siti.

Riassumendo ulteriormente, possono essere fatte le seguenti considerazioni:

- In generale, i siti che più spesso hanno mostrato caratteristiche peculiari rispetto agli altri sono Giardini Margherita e Veduro in entrambe le stagioni, ai quali si aggiungono Pianeta e Frullo Est (PM2.5) nella sola campagna estiva, Calamosco e Frullo Est (PM1) nella sola campagna invernale;
- nella campagna invernale, a Calamosco sono presenti in maggiori quantità, rispetto al sito Frullo Est (PM2.5) analiti organici rispetto a quanto osservato nella campagna estiva.

Considerando l'intero arco temporale di campionamento (2 giugno - 24 luglio 2008 e 14 gennaio - 13 marzo 2009), le sorgenti di emissione del particolato PM2.5 raccolto a Frullo Est sono state classificate, in ordine decrescente di importanza:

- solfato e nitrato di ammonio e di potassio → particolato secondario inorganico
- composti organici soprattutto IPA → origine veicolare
- carbonio organico solubile → fenomeni ossidativi di composti organici

### Diossine, furani e policlorobifenili

Diossine, furani e policlorobifenili (PCB) sono stati analizzati sul particolato totale sospeso (PTS) anziché sulle frazioni PM2.5 e PM1, utilizzando i campionatori ad alto volume. Questa scelta è stata dettata dall'esigenza di raccogliere una quantità più elevata di campione da trattare per la chimica analitica strumentale e riuscire a quantificare anche piccole quantità di questi composti. Il campionamento è stato effettuato su filtri di diametro 102 mm a valle dei quali è stata posta una cartuccia di vetro con all'interno un PUF, cioè un cilindro di schiuma poliuretana, per assicurare la cattura dei vapori organici.

### Diossine e furani

Il termine generico "diossine" è riferito a 210 composti organici aromatici clorurati contenenti ossigeno, divisi in due famiglie: PCDD o poli-cloro-dibenzo-diossine (le diossine propriamente dette) e PCDF o poli-cloro-dibenzo-furani, altrimenti chiamati "furani".

Poiché le diossine hanno diversa tossicità, ma producono effetti tossici simili, è stato introdotto il concetto di tossicità equivalente (TEF). I TEF vengono calcolati come valori relativi al congenere più tossico.

In generale, le diossine sono sostanze chimicamente molto stabili e liposolubili: esse tendono, nel tempo, ad accumularsi nei tessuti degli organismi viventi.

È importante rimarcare che le diossine che si trovano in ambiente **non vengono prodotte deliberatamente** ma sono particolari sottoprodotti di alcuni processi chimici e/o di combustione.

Di seguito si riportano i risultati delle campagne Monitor e in particolare alcuni indicatori statistici delle analisi chimiche effettuate. I valori di concentrazione sono espressi sia in I-TEQ che in TEQ-WHO-2005 e le analisi sono state effettuate su tutti i 17 congeneri maggiormente tossici.

PCDD/DF[fg/m <sup>3</sup> ]		I-TEQ			WHO-2005		
		Massimo	Minimo	Media	Massimo	Minimo	Media
Frullo Est (MXW)	S	24.89	3.70	7.84	27.19	4.06	8.41
Pianeta (MXD)	S	13.91	3.53	6.99	14.90	3.51	7.64
Calamosco (CTW)	S	15.34	5.24	8.12	15.61	5.78	8.74
Frullo Est (MXW)	W	28.06	4.83	10.61	28.21	4.88	10.86
Pianeta (MXD)	W	51.55	4.24	17.27	41.72	4.30	16.29
Calamosco (CTW)	W	50.66	4.40	15.64	50.86	4.60	16.12

Parametri statistici di PCDD/PCDF misurati sui campioni Monitor per le due campagne S e W

Per una corretta valutazione dei dati, si ricorda che OMS ha rilevato una concentrazione media europea, nelle aree urbane, di circa 100 fg/m<sup>3</sup>-TEQ.

Concentrazioni superiori a 300 fg/m<sup>3</sup>-TEQ sono un indicatore di fonti di emissioni locali che devono essere identificate e controllate (Air Quality Guidelines for Europe - WHO (2000)). Considerati i valori indicati dall'OMS, i valori registrati durante le due campagne Monitor si possono giudicare bassi.

Il principale costituente della miscela di diossine analizzate è OCDD, una delle meno pericolose (in alcuni campioni supera il 76%). Secondo la letteratura questo congenere è tipico di un processo generico di combustione, come la combustione del legno e delle biomasse.

Dall'analisi in emissione e/o dalla classificazione di letteratura dei profili di contaminazione<sup>1</sup> di PCDD/PCDF si possono ottenere potenziali informazioni sulle sorgenti. Tali profili non possono essere considerati come "rappresentazioni esatte" a causa delle naturali variabilità associate alle sorgenti di contaminazione.

Pur tenendo in considerazione queste limitazioni, osservando i profili di contaminazione nei diversi siti si giunge alla conclusione che le tre stazioni sono tra di loro molto simili e con profili non molto diversi né da quello emissivo dell'inceneritore né da quello del traffico dei veicoli a benzina.

## Policlorobifenili

Sugli stessi campioni (PTS-PUF) sono stati ricercati anche i Poli-Cloro-Bifenili (PCB). Questa classe di composti, a differenza delle diossine, sono molecole deliberatamente sintetizzate dall'uomo durante il secolo scorso, per vari scopi industriali. I PCB sono anch'essi composti aromatici e in particolare sono bifenili (due anelli benzenici collegati da un legame carbonio-carbonio), che hanno in comune alle diossine il fatto di essere variamente clorurati. In base alle posizioni del cloro nella molecola di bifenile si possono ottenere 209 congeneri, numerati da #1 a #209.

In Italia è stato regolamentato il commercio e l'uso dei PCB a partire dagli anni '80 e nel 2001 la Convenzione di Stoccolma ha vietato la produzione, l'uso e il rilascio di tutti i POPs (Persistent Organic Pollutants). Ciononostante queste molecole continuano a fare parte della nostra vita in quanto ne restano ancora grossi quantitativi in apparecchiature elettriche, in alcune plastiche, nei materiali da costruzione utilizzati negli edifici del secolo scorso e, ovviamente, nell'ambiente come inquinamento diffuso.

Tra i 209 congeneri dei PCB ne sono stati individuati 12 (inizialmente 13), le cui proprietà tossicologiche sono simili ai 17 congeneri delle diossine e per questo motivo vengono chiamati "diossinosimili", o PCB-DL.

È possibile dunque calcolare un TEF per PCB compatibile a quello delle diossine e valutare complessivamente la tossicità e il rischio.

Per quanto riguarda le analisi effettuate sui campioni Monitor, sono stati ricercati tutti i 12 PCB-DL, sui quali è stato possibile effettuare il calcolo del TEQ WHO-2005; inoltre sono stati ricercati anche altri congeneri PCB-NDL (non-DL) per una caratterizzazione ambientale più completa, per un totale di 28 congeneri. I congeneri più tossici, #126 e #169, non sono stati rilevati in nessun campione, mentre i congeneri più concentrati e ritrovati in tutti i campioni sono risultati il #118 e il #180. Nella tabella seguente sono riportati i parametri statistici delle concentrazioni rilevate nelle tre Stazioni oggetto di questo studio, per entrambe le campagne.

1. Il profilo di contaminazione è dato dal rapporto tra la concentrazione del congenere e quella del congenere a concentrazione più alta, normalizzato a 100.

PCB totali [fg/m <sup>3</sup> ] TEQ WHO (2005)		PCB-DL			PCB-DL+NDL		
		Massimo	Minimo	Media	Massimo	Minimo	media
Frullo Est (MXW)	S	0.43	0.10	0.21	119.6	17.0	59.4
Pianeta (MXD)	S	0.39	0.09	0.21	110.1	17.0	50.0
Calamosco (CTW)	S	0.29	0.06	0.20	89.7	15.2	42.3
Frullo Est (MXW)	W	0.82	0.04	0.4	259.5	11.4	108.8
Pianeta (MXD)	W	1.09	0.04	0.34	330.9	13.8	117.2
Calamosco (CTW)	W	1.10	0.04	0.41	334.9	22.0	120.6

Parametri statistici di PCB misurati sui campioni Monitor per le due campagne S e W

Dai risultati delle analisi possiamo dire che i valori dei PCB-DL sono bassi e simili a quelli riscontrati per un fondo remoto italiano. I valori riscontrati nei tre siti non indicano rilevanti differenze sia nella campagna estiva che in quella invernale.

La differenza è invece fra le due campagne, in quanto i valori invernali sono più elevati di quelli estivi, un dato che ricalca l'andamento stagionale della concentrazione delle polveri atmosferiche.

Dall'osservazione dei profili di contaminazione si può concludere che per entrambe le campagne ed entrambi i tipi di profili (DL e DL+NDL) vi è un pattern molto simile, anche se la Stazione di Calamosco (CTW), per la sola stagione invernale, sembra essere leggermente differente.

Il profilo di contaminazione dei PCB è sostanzialmente simile per tutte le Stazioni e leggermente differente per quanto riguarda le emissioni dell'inceneritore.

## Mercurio

Il mercurio è presente in atmosfera principalmente in forma gassosa come mercurio elementare Hg(0) con valori di fondo che possono variare da 10<sup>-2</sup> a pochi ng/m<sup>3</sup>. L'insieme di tutte le forme gassose viene indicato come "Mercurio Totale Gassoso" (TGM).

Lo scopo di questa campagna di monitoraggio è stato quello di misurare i valori ambientali di TGM e confrontarli con i valori di fondo noti in contesti territoriali simili, per verificare se in prossimità dei nostri siti di misura fosse presente una sorgente rilevante di mercurio.

Sono state condotte due campagne di tre giorni ciascuna. La prima è stata eseguita in concomitanza al periodo della campagna polveri S, e la seconda nel periodo W, posizionando lo strumento di misura nelle tre Stazioni MXW, CTW e MXD per circa 24h per sito. Lo strumento utilizzato aveva un limite di rilevabilità pari a 10<sup>-1</sup> ng/m<sup>3</sup>.

Nelle tabelle seguenti sono riportati, in ordine, i parametri statistici descrittivi delle concentrazioni medie rilevate nella campagna S e nella campagna W ed infine alcune misure in territorio urbano, di fondo urbano, rurale-urbano e remoto (Dati DIIAR 2003-08), per confronto.

Campagna estiva [ng/m <sup>3</sup> ]	Frullo Est (MXW)	Calamosco (CTW)	Pianeta (MXD)
Data	21/07/08	22/07/08	23/07/08
n. ore	23	24	23
Media	1.7	3.0	1.4
Dev. Standard	0.5	1.5	0.4
Minimo	1.2	1.3	0.9
Massimo	3.2	7.5	3.0

Statistica descrittiva delle misure di TGM della campagna S

Campagna estiva [ng/m <sup>3</sup> ]	Frullo Est (MXW)	Calamosco (CTW)	Pianeta (MXD)
Data	19/02/09	18/02/09	20/02/09
n. ore	24	23	24
Media	3.6	3.6	4.0
Dev. Standard	1.7	0.5	0.7
Minimo	2.1	2.7	3.0
Massimo	9.3	4.9	6.6

Statistica descrittiva delle misure di TGM della campagna W

Campagna [ng/m <sup>3</sup> ]	Primavera	Estate	Autunno	Inverno
MI - fondo urbano	4.0	1.7	3.7	6.3
MI - nord ovest	3.8	1.5	3.7	4.4
Val Posina (A)	-	1.5	-	-
Schio zona ind (B)	-	-	-	3.3
Schio	1.7	2.0	3.0	3.7
Monitor (C)	-	2.0	-	3.7

Confronto tra i valori di Milano nord-ovest e Milano fondo urbano, Schio (VI) e Val Posina (VI), concentrazioni medie stagionali espresse in ng/m<sup>3</sup>. (A) sito remoto, (B) periodo festivo natalizio (2004), (C) valori medi sulle tre postazioni di misura del Progetto Monitor.

## SEM e TEM

Alcuni campioni di PM<sub>2.5</sub> sono stati analizzati in microscopia elettronica a scansione SEM-EDS dalla Sezione di Reggio Emilia di Arpa e in microscopia elettronica a trasmissione TEM dall'Università Ca' Foscari di Venezia. I campioni sono stati raccolti su filtri di policarbonato dall'Università di Bologna per mezzo di un Hydra a doppia testa (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>).

Lo scopo di questa indagine era conoscere la morfologia e la composizione elementare media delle particelle dell'aria ambiente nel sito MXW.

Il metodo di funzionamento, gli ingrandimenti e i campi di visione dei due strumenti sono alquanto differenti; gli strumenti osservano dunque particelle di differente dimensione geometrica e perciò i risultati verranno discussi separatamente, sebbene derivino dagli stessi campioni.

È da evidenziare invece, come aspetto comune alle due tecniche, la limitata porzione di filtro analizzata che implica una limitata rappresentatività e un aspetto puramente qualitativo delle analisi.

Il microscopio elettronico a scansione registra, nei campioni estivi, una alta percentuale di particelle inorganiche rispetto alle organiche; la dimensione prevalente di tutte le particelle osservate ha dimensione compresa fra 400 e 800 nm; nel caso delle particelle inorganiche è stato trovato, in aggiunta, un numero rilevante di particelle con dimensioni comprese fra 1000 e 1200 nm.

La campagna invernale mostra ancora una volta una predominanza di particelle inorganiche, seppur lieve. La maggior parte delle particelle è compresa, come nella campagna precedente, nel range di 400÷800 nm, ma contrariamente alla precedente campagna non sono presenti con la stessa frequenza le particelle con dimensioni comprese fra 1000 e 1200 nm.

Il microscopio elettronico a trasmissione ha la capacità di osservare particelle di dimensione molto inferiore al SEM. Per le due campagne, le indagini effettuate al TEM si sono basate complessivamente sul conteggio di 1550 particelle negli otto campioni S e 1270 negli otto campioni W. È doveroso segnalare che l'area ispezionata è di circa 1300 μm<sup>2</sup> (ovverosia  $1,3 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>) e dunque le considerazioni non possono essere estese a tutto il campione. Infatti lo scopo di una analisi TEM non è la determinazione della densità delle particelle, bensì l'identificazione delle nanoparticelle che possono sfuggire al SEM o altre tecniche di indagine.

Le aree dei diversi campioni osservati con il TEM sono risultati nel complesso

abbastanza omogenee fra loro e anche fra le due campagne, con la differenza che nella campagna W l'unico metallo pesante trovato è stato il ferro, sotto forma principalmente di nanoparticelle o loro agglomerati, mentre per la campagna S in alcuni campioni si sono riscontrati anche nanoparticelle di cerio e rame. Soprattutto le particelle metalliche sono state rilevate in alcuni campioni sotto forma di nanoparticelle, per lo più al di sotto di 50 nm, o loro agglomerati.

## Acidi organici e zuccheri idrosolubili

### Campagna estiva

Nei siti MXD e CTS ci sono i composti più leggeri, tra C<sub>3</sub> e C<sub>9</sub>, segno di sorgenti primarie antropogeniche come i **mezzi di trasporto**. Invece in luglio si ha una concentrazione maggiore delle specie più pesanti, correlabili a **sorgenti biogeniche**.

Nel sito MND vi è una incidenza predominante dei composti più pesanti, legati a sorgenti biogeniche.

Nel sito MXW, si ha un andamento simile a quello del sito MND, inoltre si ha una crescita delle concentrazioni dei composti più pesanti, ed in particolare del Levoglucosano durante la fine del mese di luglio, probabilmente dovuto a fenomeni di **wood burning**, cioè incendi di sterpaglie.

### Campagna invernale

In generale le concentrazioni sono più elevate che in estate (circa il triplo).

Il sito MXD è quello che mostra la maggior concentrazione, ed in particolare delle componenti più leggere, probabilmente a causa della maggior presenza di fonti primarie, come il **traffico**.

Infatti in inverno aumentano in maniera sensibile i C<sub>4</sub>, C<sub>5</sub> ed acido ftalico: l'aumento di concentrazione del C<sub>4</sub> indica un incremento dell'effetto del traffico veicolare (l'acido succinico è un prodotto di ossidazione di precursori derivanti dai combustibili fossili). Il levoglucosano, ritrovato anche nei campioni del periodo estivo, è un indicatore della combustione della vegetazione; nel periodo invernale diventa un **marker per il riscaldamento civile**: i siti urbani infatti mostrano in inverno un contributo decisamente maggiore di questo composto, rispetto al periodo estivo. Al contrario i siti rurali, dove in estate era stato rilevato il picco, durante il periodo invernale mostrano i valori minimi di levoglucosano.

### Monitoraggio del numero di particelle di aerosol

Nell'ambito della LP2 è stata studiata anche la distribuzione e la formazione di particelle ultrafini, definite come il particolato che ha dimensioni inferiori a 100 nanometri. Per la precisione sono state studiate la distribuzione dimensionale e la concentrazione numerica di particelle di aerosol atmosferico comprese tra 5.6 e 560 nm (particelle ultrafini (UFP) sono quelle comprese tra 5.6 e 99.6 nm; particelle non ultrafini (NoUFP) sono quelle comprese tra 99.7 e 560 nm).

È stato utilizzato uno spettrometro ad alta risoluzione per l'analisi dimensionale del particolato, che permette di ottenere una distribuzione dimensionale dell'aerosol sulla base della mobilità elettrica delle particelle.

Il monitoraggio è stato effettuato in cinque delle nove postazioni individuate per il Progetto, in periodi tra loro consecutivi e non del tutto sovrapposti alle campagne "principali". La postazione Pianeta (MXD) ha registrato la maggiore concentrazione di particelle per entrambe le campagne, mentre San Pietro Capofiume (SPC) e Giardini Margherita (GMA) i valori più bassi. Inoltre la distribuzione della concentrazione numerica di particolato nelle due frazioni dimensionali, presenta percentuali di UFP che vanno dal 77 al 92% del totale, con una concentrazione numerica media di particelle maggiore nei giorni lavorativi rispetto ai giorni di fine settimana. Infine, nelle postazioni Frullo Est (MXW), Calamosco (CTW) e Giardini Margherita (GMA) sono stati monitorati, contemporaneamente alla concentrazione numerica delle particelle, anche i valori di concentrazione in massa del particolato PM1 e PM2.5. I due set di dati sono stati messi in correlazione tra loro e il risultato è che per le particelle non ultrafini (NoUFP) si ha correlazione piuttosto elevata con l'andamento delle medie giornaliere del particolato, mentre la stessa cosa non succede con le particelle ultrafini (UFP). Si può quindi ipotizzare che le particelle non ultrafini possano avere una origine comune al particolato PM1 e PM2.5, simili meccanismi di accumulo e trasporto in atmosfera, e che su di esse possano agire allo stesso modo le variabili chimico fisiche dell'atmosfera. È stato possibile verificare la formazione di numerosi eventi di crescita, alcuni dei quali presumibilmente riconducibili ad effettivi episodi di formazione di nuovo particolato (nucleazione); tali fenomeni si sono osservati di frequente nel periodo estivo/primaverile con elevate temperature, maggiore radiazione solare e miglior rimescolamento dell'aria.

### Azione 8. Micrometeorologia e profili di concentrazione

In questo studio sperimentale sono state utilizzate tecniche avanzate per il controllo della qualità dell'aria integrando misure *in-situ* con misure remote sensing permettendo di ottenere una dettagliata analisi della distribuzione degli inquinanti sulle diverse scale spaziali e temporali.

Per quanto riguarda **le misure *in-situ*** l'analisi dei dati raccolti mostra la presenza di un significativo contributo antropico alle concentrazioni di particelle ultrafini ed ossidi di azoto. Si è osservato un andamento stagionale con concentrazioni maggiori durante la campagna invernale sia per quanto riguarda gli ossidi di azoto sia per quanto riguarda il numero di particelle. Sia le particelle sia gli ossidi di azoto hanno concentrazioni medie maggiori nei giorni feriali rispetto ai giorni festivi e sono caratterizzate dalla presenza di un pattern giornaliero con dei massimi la mattina presto (6-7) e la sera tardi (circa le 20), soprattutto per gli ossidi di azoto. Si osserva una certa variabilità del massimo serale, che è talvolta spostato verso la notte tardi ed in questo possono giocare un ruolo combinato sia le emissioni serali sia l'intrappolamento degli inquinanti nello strato limite stabile notturno. Il pattern giornaliero è significativamente diverso nei giorni festivi in cui si ha l'assenza della struttura di picchi appena menzionata. *Questo tipo di trend è compatibile con le emissioni delle attività urbane ed in particolare del traffico veicolare.*

Per quanto riguarda le misure **remote-sensing** il metodo applicato ha fornito mappe sulla distribuzione della concentrazione degli aerosol, all'interno del pennacchio, in tempi relativamente brevi e tali da essere più confidenti con le scale di turbolenza tipiche dell'atmosfera per le distanze prese in esame. SCOPO di questa attività era quello di parametrizzare la figura di dispersione del pennacchio della ciminiera dell'inceneritore, in termini di polveri, usando un MiniLIDAR (Light Detection And Ranging), una apparecchiatura che consente di ottenere la distribuzione spazio-temporale di diversi parametri atmosferici ai fini di studi meteorologici, climatologici ed ambientali. In associazione al MiniLIDAR è stato utilizzato uno spettrometro DOAS (Differential Optical Absorption Spectroscopy) che, raccogliendo la radiazione solare diffusa lungo diversi angoli di zenit, ha fornito set di misure da cui poter ricostruire la struttura del pennacchio in termini di spessori ottici dei gas.

La combinazione di entrambe le metodologie sperimentali (*in-situ* e remote-

sensing) con le simulazioni ottenute con il modello Lapmod ha permesso di evidenziare alcuni possibili contributi dall'impianto durante la stagione estiva.

*L'analisi delle condizioni di stabilità/instabilità dell'atmosfera ha evidenziato che tali episodi si verificano in periodi di instabilità, con un pennacchio soggetto a fasi discendenti ed ascendenti in accordo con la direzione dei flussi verticali turbolenti delle particelle ultrafini.*

Per quanto riguarda la campagna invernale i riscontri con le simulazioni Lapmod sono assenti e si hanno solo due possibili eventi di trasporto di inquinanti dall'impianto con un riscontro fra le misure di particelle ultrafini e misure di ossidi di azoto con la tecnica DOAS.

### Azione 9. Monitoraggio avanzato relativo al contenuto di metalli pesanti e microelementi nel sistema acqua-suolo-pianta

**Obiettivo** dell'azione era quello di valutare la ricaduta di Elementi Potenzialmente Tossici (EPT) sul suolo e su alcune specie vegetali, durante un periodo di monitoraggio di due anni, in alcuni dei punti di indagine già individuati: CTW (Calamosco), MXW (Supersito), GMA (Giardini Maragherita), MXD (Pianeta), MND (Veduro).

Per fare questo sono state condotte due attività in parallelo: la prima finalizzata a determinare la biodisponibilità degli EPT in un sistema suolo/pianta naturale; la seconda ad evidenziare l'effettiva ricaduta di EPT in un sistema suolo/pianta confinato.

*Attività 1:* sono stati effettuati campioni di suolo in profondità (70/80 cm) e campioni di suolo superficiali per poter ricavare l'indice di arricchimento superficiale degli inquinanti. Inoltre nei campioni superficiali sono stati determinati anche i parametri diossine e furani.

*Attività 2:* sono stati effettuati campioni di suolo e di vegetali "confinati" ogni sei mesi per due anni (per un totale di quattro repliche), in modo tale da poter valutare la ricaduta in ambiente di EPT.

Le due attività hanno portato ai **seguenti risultati:**

*Attività 1:* per ogni sito è stato calcolato l'indice di geoaccumulo (Igeo) tra i valori di background (concentrazioni di inquinanti in suoli preindustriali) e i valori rilevati nei campioni di suolo superficiale nei siti di interesse. L'indice Igeo ha messo in evidenza una qualità del suolo che va da "non contaminato" a "moderata-

mente contaminato" per tutti i siti e quasi tutti gli elementi indagati. Il Piombo è l'elemento che presenta l'indice Igeo più elevato. Appare evidente come le emissioni da parte del traffico veicolare abbiano contribuito nel tempo alla concentrazione di Piombo parzialmente immobilizzato nella parte superficiale del suolo. D'altra parte le analisi di biodisponibilità di EPT nel suolo hanno mostrato che i valori degli elementi indagati nei siti di interesse sono inferiori ai valori riportati in letteratura, il che evidenzia una bassa frazione di EPT disponibile nel suolo e quindi assimilata dalle piante. Le analisi di diossine e furani hanno messo in evidenza che non esistono emergenze di accumulo di tali microinquinanti.

*Attività 2:* per quanto riguarda l'esposizione del suolo "tecnologico" (appositamente preparato per effettuare uno studio su un ambiente confinato), si è notato un incremento di alcuni EPT in tutti i siti, rispetto al tempo zero. L'analisi statistica non ha messo in evidenza nessuna differenza significativa tra i diversi siti e i diversi tempi di campionamento: sono invece stati evidenziati diversi apporti di EPT in base alla localizzazione, visto che nei diversi siti sono stati evidenziati accumuli di inquinanti leggermente differenziati. Per questa seconda Attività è stato eseguito anche il biomonitoraggio mediante l'analisi di muschi appositamente messi a dimora nei terreni "tecnologici", in maniera tale da poter calcolare l'indice di arricchimento (EF): la concentrazione di un Elemento Potenzialmente Tossico presente nel muschio viene messa a confronto con la concentrazione dello stesso elemento presente nel terreno di riferimento, dopo aver proceduto a fare una normalizzazione. La maggiore frequenza degli indici di arricchimento nei tessuti dei muschi è risultata nel sito MXW, con valori estremamente alti di Cd e Pb. L'indice di arricchimento di Pb è estremamente alto e diffuso in tutti i siti, con un peggioramento da "moderato" a "severo" della qualità ambientale.

Anche in questo caso, dopo 18 mesi di esposizione, i campioni di terreno "tecnologico" sono stati sottoposti a determinazione di diossine e furani, e **i risultati hanno messo in evidenza che rispetto al tempo zero non ci sono state variazioni significative e che i valori riscontrati sono ben al di sotto dei valori limite indicati dalla legislazione, per tutti i siti.**



## 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 umano<sup>1</sup>. *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 valutazione<sup>2</sup>.

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<sub>mese</sub>*" 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<sub>x</sub>) 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.

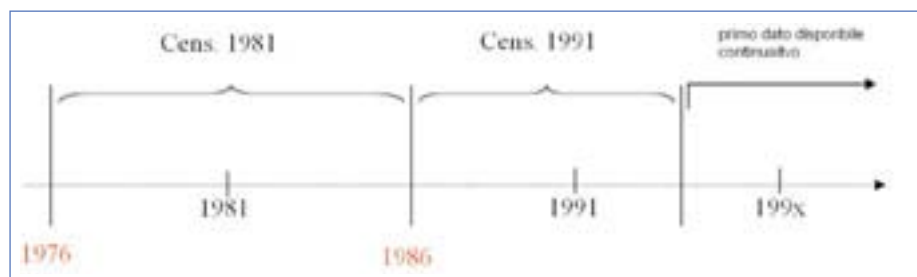
Questo discorso, applicato all'esposizione ad altre fonti, regge per quanto riguarda l'omogeneità delle procedure adottate e del trattamento delle fonti considerate. Risulta viceversa impossibile garantire una pari omogeneità per quanto riguarda i dati di partenza utilizzati per le simulazioni, che provengono 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.

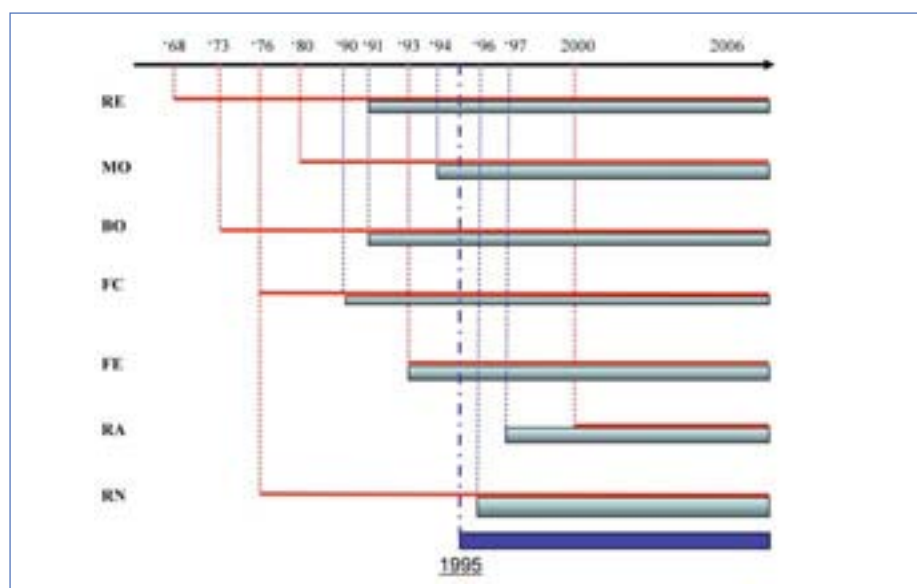


Grafico 1. Disponibilità di informazioni sulla storia residenziale retrospettiva dei soggetti (linea grigia)

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.

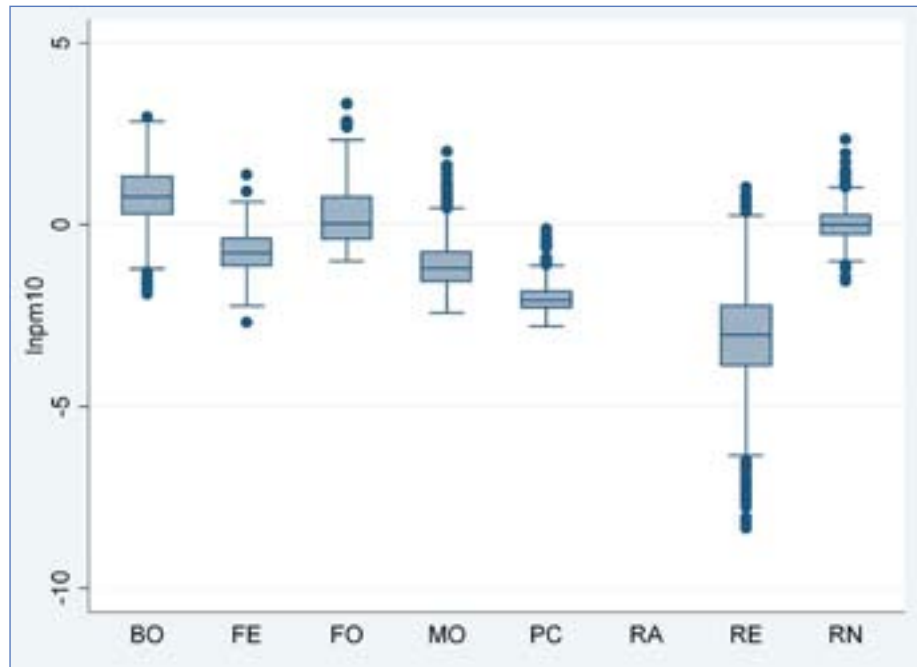


Grafico 2: Esposizione media dei nati per sito, espressa in valore logaritmico. I rettangoli indicano il range interquartile della distribuzione (l'intervallo in cui si colloca il 50% centrale dei dati), le linee continue i valori fino a 1.5 volte il range interquartile, i punti estremi gli outlier della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

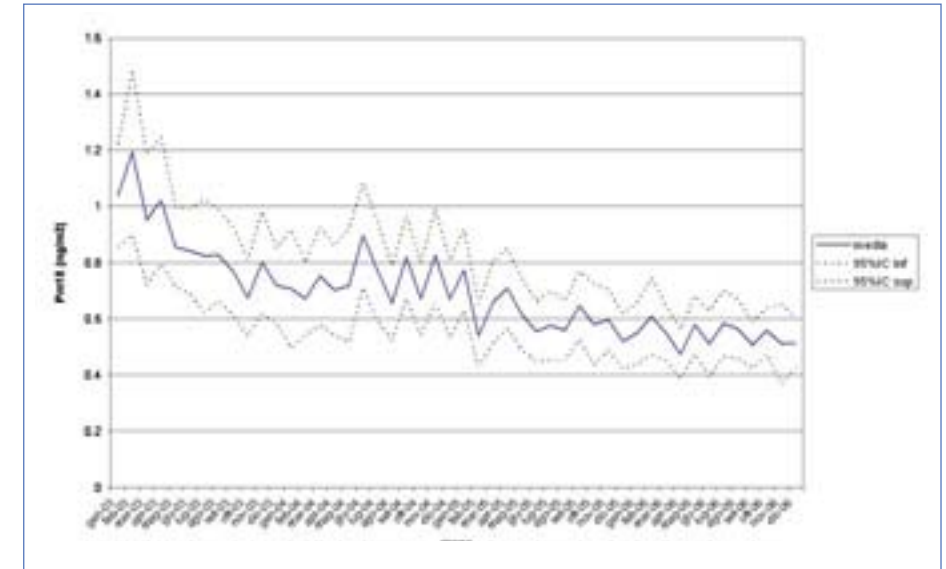


Grafico 3: Andamento temporale del valore medio di esposizione mensile della popolazione dei nati su tutti i siti.

Nel grafico superiore viene descritto l'andamento temporale complessivo del valore medio di esposizione mensile (PM10 in  $\text{ng}/\text{m}^3$ ) 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.

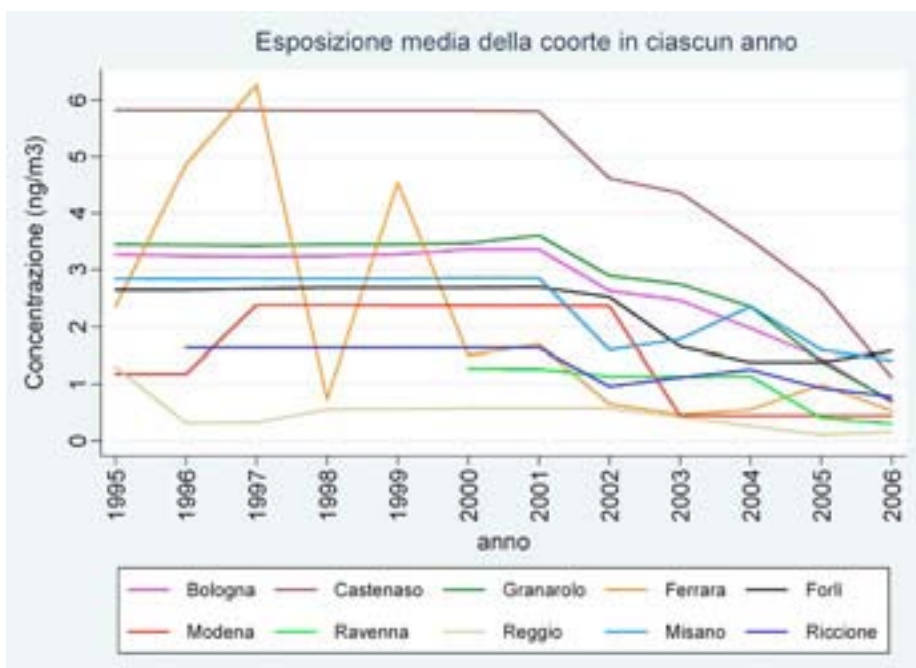
### Coorte retrospettiva

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
<b>Totale</b>	<b>219615</b>	<b>100.00</b>

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.





## LINEA PROGETTUALE 4

Valutazione degli effetti sulla  
salute nella popolazione  
oggetto di indagine

**Responsabile:** Silvia Candela, Azienda Usl di Reggio Emilia,  
Dipartimento di Sanità Pubblica

**Azione 1** - Studi epidemiologici sulla popolazione residente

Responsabile: Silvia Candela (Azienda Usl di Reggio Emilia, Dipartimento di Sanità Pubblica)

**Azione 2** - Studio di mortalità della coorte dei lavoratori esposti

Responsabile: Ferdinando Luberto (Azienda Usl di Reggio Emilia, Dipartimento di Sanità Pubblica)

**Enti coinvolti:**

Azienda Usl di Reggio Emilia, Dipartimento di Sanità Pubblica

Azienda Usl di Modena, Dipartimento di Sanità Pubblica

Regione Emilia-Romagna, Servizio Sanità Pubblica

Arpa Emilia-Romagna, Centro tematico regionale Ambiente e salute

Servizio Sanitario Regionale Lazio, Dipartimento di Epidemiologia



Lo studio degli effetti sanitari ha riguardato la popolazione residente nell'area di 4 km di raggio intorno a ogni inceneritore per rifiuti solidi urbani (RSU) e ha valutato l'occorrenza di effetti associabili a:

1. esposizioni di breve durata (effetti a breve termine, relativi agli esiti riproduttivi)
2. esposizioni di lunga durata (effetti a lungo termine, che hanno considerato la mortalità e l'incidenza di tumori).

Lo studio intendeva anche indagare eventuali effetti sulla salute dei lavoratori degli impianti di incenerimento, in relazione all'esposizione professionale. Non è stato tuttavia possibile ricostruire con affidabilità e completezza la coorte dei lavoratori, se non a partire da anni recenti e si è quindi dovuto rinunciare a questa parte dello studio.

L'analisi degli effetti riproduttivi ha considerato i 9950 nati nella aree in studio nel periodo 2003-2006; l'indirizzo materno è stato georeferenziato e l'esposizione è stata attribuita utilizzando modelli matematici di dispersione al suolo delle emissioni misurate, utilizzando il PM10 come tracciante.

E' stata osservata un'associazione tra l'esposizione e l'esito "nati pretermine", la cui frequenza aumenta con i livelli di esposizione, mentre nessuna associazione è stata rilevata per il basso peso nei nati a termine, i "piccoli per età gestazionale", la gemellarità, il rapporto tra i sessi alla nascita. Anche gli aborti spontanei risultano associabili con l'esposizione a inceneritore, sia pur con minor forza rispetto ai nati pretermine. Al fine di verificare la consistenza dei risultati ottenuti, si prevede la replicazione dello studio sugli effetti riproduttivi relativamente ad anni più recenti (2007-2010).

Per quanto concerne le malformazioni, lo studio ha incontrato rilevanti difficoltà nel reperimento certo e completo dei nati malformati nelle aree in studio. Pur non avendo rilevato alcuna differenza tra le aree in studio e la media regionale, è stato evidenziato un andamento crescente con i livelli di esposizione della prevalenza di tutte le malformazioni considerate congiuntamente. I risultati ottenuti, per i problemi sopra segnalati, non forniscono elementi per l'attribuzione di un nesso causale tra malformazioni ed esposizione a inceneritore. Per gli effetti a lungo termine sono state analizzate tre coorti di residenti in prossimità degli inceneritori: una coorte generale, costituita dai 219615 soggetti residenti al 01/01/1995, seguita per gli esiti in studio fino al 31/12/2005, e due coorti di dimensioni inferiori. La prima di queste è composta dai soggetti presenti nelle aree in studio almeno dal 1991 al 1999 (102843 soggetti), la seconda dalle persone residenti allo stesso indirizzo ininterrottamente dal 1982 al 1995 (24132 soggetti). Tutti i soggetti sono stati georeferenziati e l'esposizione è stata attribuita utilizzando lo stesso modello di dispersione al suolo citato in precedenza, a partire dai dati storici di emissioni riferiti al 1995. Nel complesso per gli effetti a lungo termine lo studio non ha messo in evidenza una coerente associazione tra livelli di esposizione e mortalità o incidenza di tumori.

## Azione 1. Studio degli effetti sulla popolazione residente

### Introduzione

Lo studio degli effetti sanitari ha riguardato la popolazione residente nell'area di 4 km di raggio intorno a ogni inceneritore per rifiuti solidi urbani (RSU) e ha valutato l'occorrenza di effetti associabili a:

1. esposizioni di breve durata (effetti a breve termine)
2. esposizioni di lunga durata (effetti a lungo termine).

Gli effetti considerati a breve termine sono stati quelli riproduttivi, per i quali in letteratura sono riportati pochi studi, con risultati non conclusivi. In particolare tra la metà degli anni '70 e l'inizio degli anni '80 furono rilevati sia l'inversione del rapporto tra i sessi alla nascita che un incremento di nascite gemellari nella popolazione residente in prossimità di inceneritori in Scozia, ma quei risultati non furono confermati da successive rilevazioni, locali o in altri Paesi. Per quanto riguarda altri possibili effetti, uno studio condotto a Taiwan rilevava un incremento, non significativo, del rischio di nascite pretermine per esposizioni elevate agli inquinanti emessi dagli inceneritori.

Sono state inoltre considerate le malformazioni congenite, che possono essere ascritte tra gli effetti a breve termine, per la possibile azione teratogena di alcuni inquinanti direttamente sul feto, ma non è possibile escludere che meccanismi genetici o epigenetici, agendo sui genitori anche in tempi antecedenti il concepimento, abbiano un ruolo nella genesi delle malformazioni. Per questa ragione, e per le peculiarità metodologiche dello studio di questo esito, le malformazioni sono trattate separatamente dagli altri effetti riproduttivi. Per le malformazioni congenite la letteratura sulla eventuale relazione con la residenza in prossimità di inceneritori è più ricca di quella relativa agli effetti citati nel paragrafo precedente, ma i risultati degli studi non sono tra loro coerenti. Tra gli studi che rilevano un eccesso di rischio nei nati esposti agli inquinanti emessi dagli inceneritori, due studi francesi successivi rilevano un modesto incremento di difetti ostruttivi dell'apparato urinario, che gli autori ascrivono verosimilmente all'esposizione alle diossine emesse dagli inceneritori di più antica costruzione.

Per quanto riguarda gli effetti a lungo termine, sono state valutate sia la mortalità per cause non traumatiche, tumorali o non tumorali, che l'incidenza di tumori. Su questi temi in letteratura sono riportati negli ultimi anni numerosi

rapporti o revisioni che riassumono lo stato delle conoscenze. In sintesi: non vi sono evidenze adeguate per alcuna causa di morte o specifica sede tumorale, tuttavia vi sono limitate evidenze che l'esposizione elevata agli inquinanti emessi dagli inceneritori possa aumentare il rischio di incidenza del tumore del fegato, dei sarcomi dei tessuti molli e del linfoma non Hodgkin, ed evidenze più limitate relativamente ai tumori di stomaco, colon-retto e polmone.

### **Effetti a breve termine: effetti riproduttivi, escluse le malformazioni congenite**

#### *Obiettivo*

Valutare la possibile associazione tra l'esposizione a inquinanti emessi dagli inceneritori per RSU e i seguenti eventi della gravidanza: rapporto tra sessi alla nascita (Sex Ratio - SexR), nascite gemellari (Multiple Births - MB), nascite pretermine (Preterm Births - PTB), piccoli per età gestazionale (Small for Gestational Age - SGA), basso peso alla nascita nei nati a termine (Low Birth Weight - LBW), aborti spontanei.

#### *Metodi*

Lo studio ha considerato tutti i nati (11937) registrati in anagrafe da madri residenti nelle aree di 4 km di raggio intorno agli otto inceneritori di rifiuti solidi urbani presenti in regione nel periodo 2003-2006. Di questi sono entrati nello studio i 9950 nati per i quali è stato possibile ottenere informazioni sia sugli esiti della gravidanza che su alcune caratteristiche materne, attraverso record linkage con il data base CedAP (Certificato di Assistenza al Parto). L'indirizzo di ogni bambino è stato georeferenziato e caratterizzato da un livello di esposizione alle emissioni dell'inceneritore, categorizzate in cinque livelli, e ad altre fonti di inquinamento (quattro livelli), valutate attraverso l'applicazione di modelli di dispersione al suolo. Gli esiti della gravidanza sono stati analizzati sia attraverso il confronto con i tassi regionali per ciascun livello di esposizione che, entro le aree in studio, con l'applicazione di modelli di regressione logistica per valutare la relazione tra livelli crescenti di esposizione e occorrenza di ciascun esito. Con metodologia analoga, riferendo l'esposizione alla donna gravida, è stata anche analizzata la prevalenza di aborti spontanei (1786 nel periodo 2002-2006), i cui dati sono stati ottenuti dalle Schede di Dimissione Ospedaliera (SDO). L'analisi ha tenuto conto sia dell'esposizione ad altre fonti di inquinamento che delle caratteristiche materne (età, ordine di gravidanza,

titolo di studio, nazionalità) e i risultati sono espressi come Odds Ratio, con i rispettivi Intervalli di Confidenza al 95% (OR, IC 95%).

#### *Risultati*

Complessivamente sono stati osservati 128 parti gemellari, 4958 maschi, 606 nati pretermine, 1046 piccoli per età gestazionale e 180 sottopeso tra i nati a termine. Per nessun esito e nessun livello di esposizione si rileva una differenza significativa rispetto ai tassi regionali del periodo in esame. Per quanto riguarda il confronto interno alle aree in studio SexR, MB e LBW non sono associati con l'esposizione a inceneritore, mentre i nati pretermine (PTB) e, in misura minore, SGA mostrano un andamento crescente con i livelli di esposizione (p del trend per pretermine <0,001; p del trend per SGA <0,05). Per questi due esiti gli ORs (IC 95%) del livello di esposizione maggiore verso il minore sono rispettivamente 1,75 (1,25-2,46) e 1,21 (0,93-1,56), sostenuti da 71 e 112 soggetti. Per PTB si rileva inoltre un potenziale effetto sinergico tra l'esposizione a inceneritore e quella ad altre fonti di inquinamento e si osserva un trend significativo pure per i nati molto pretermine (< 32 settimane, 72 soggetti). Per PTB e SGA è stata anche effettuata l'analisi della regressione esprimendo l'esposizione su scala continua (Spline Cubiche Ristrette): per PTB è apprezzabile un aumento del rischio con l'aumentare dei livelli di esposizione, mentre per SGA non si osserva un risultato analogo. Infine sono state effettuate diverse analisi di sensibilità per l'esito PTB che hanno confermato i risultati sopra riportati. Per gli aborti spontanei, è stato rilevato un andamento crescente della prevalenza con i livelli di esposizione (p del trend = 0,003), benché per nessun livello di esposizione si osservino ORs significativi (OR dell'esposizione più elevata verso la minore = 1,18, IC 95%: 0,99 – 1,41).

#### *Conclusioni dello studio sugli effetti riproduttivi, escluse le malformazioni congenite*

Per nessuno degli esiti considerati si rilevano differenze significative tra le aree in studio e le medie regionali. Tuttavia, considerando l'occorrenza di ogni esito all'interno delle aree in relazione ai livelli di esposizione, si manifestano risultati diversificati. L'esposizione a inceneritore non mostra alcun effetto sul rapporto tra sessi, sulle nascite gemellari, sul basso peso alla nascita. L'esito piccoli per età gestazionale, non esplorato in alcun studio precedente, mostra

un trend debolmente significativo per livelli crescenti di esposizione, benché i livelli più elevati non presentino una prevalenza dell'esito significativamente più alta del livello di riferimento. Lo studio ha invece rilevato un'associazione coerente e statisticamente significativa tra livelli di esposizione ad emissioni da inceneritore e nascite pretermine. L'aumento progressivo del rischio in relazione agli indicatori di esposizione è suggestivo di un rapporto causale. Si è pure osservato un andamento crescente della prevalenza di aborti spontanei in relazione ai livelli di esposizione. In generale la mancanza di dati individuali sulle abitudini tabagiche materne indebolisce l'inferenza causale. Tuttavia, con metodo indiretto, è stato stimato che la prevedibile diffusione dell'abitudine durante la gravidanza non può spiegare l'osservazione di eccesso di nati pretermine.

## Malformazioni congenite

### Obiettivo

Valutare se la prevalenza di nati malformati, diagnosticati nel primo anno di vita, è significativamente associata con l'esposizione agli inquinanti emessi dagli inceneritori.

### Metodi

I nati considerati nello studio, così come le modalità di valutazione dell'esposizione, sono quelli già descritti nel paragrafo precedente. Le malformazioni considerate provengono dal Registro regionale delle malformazioni congenite (IMER), che registra i casi segnalati dagli ospedali su base volontaria, diagnosticati nella prima settimana di vita. A questi sono stati aggiunti i casi di malformazione ricavati dalle schede di dimissione ospedaliera (SDO) nel primo anno di vita, che sono state sottoposte al vaglio degli esperti IMER. La verifica delle SDO è stata effettuata in cieco rispetto all'informazione sull'esposizione, utilizzando in parte procedure automatiche in parte revisionando direttamente le cartelle cliniche. Per le malformazioni urinarie, segnalate in letteratura come associabili all'esposizione a inceneritori, è stata effettuata la revisione di tutte le cartelle cliniche corrispondenti ai casi segnalati dalle SDO. L'analisi è stata effettuata con le modalità descritte precedentemente.

### Risultati

Su 9598 nati entrati in analisi, sono stati rilevati 273 malformati, pari al 2,84%, per un totale di 340 malformazioni. La proporzione osservata non è differente da quella rilevata nella popolazione residente al di fuori delle aree in studio. Tuttavia, considerando la prevalenza di malformati all'interno delle aree, si rileva un andamento crescente con l'esposizione a carico della totalità delle malformazioni ( $p$  trend = 0,052), per le quali gli OR del livello maggiore di esposizione vs il minore sono 1,77 (IC95%: 1,10 – 2,86). Tra i gruppi di malformazioni, quelle urinarie (riferite a soli 24 casi) non mostrano una differenza significativa rispetto alla prevalenza media regionale né un'associazione significativa con i livelli di esposizione all'interno dell'area (OR del livello maggiore di esposizione vs il minore = 1,33, IC 95%: 0,36 – 4,91). Non sono state osservate associazioni significative con malformazioni di altri apparati, tuttavia le malformazioni del sistema osteomuscolare e degli arti (68 casi) mostrano una prevalenza significativamente aumentata in corrispondenza del livello più elevato di esposizione (OR = 3,66, IC 95% 1,49 – 8,97), pur in assenza di un trend significativo ( $p$  del trend = 0,073). Lo studio ha evidenziato la difficoltà a utilizzare le SDO per l'individuazione dei nati malformati, a causa della presenza di errori di compilazione in una materia molto complessa come la diagnosi di malformazione e, d'altro canto, ha rilevato la copertura non omogenea sul territorio regionale del Registro IMER, che pur presenta dati di ottima qualità.

### Conclusioni

Lo studio delle malformazioni congenite ha utilizzato due fonti differenti (Registro regionale delle malformazioni e SDO), integrandole con procedure innovative e, come tali, da verificare ulteriormente. Come risultato si osserva un andamento crescente con l'esposizione a carico della totalità delle malformazioni (limiti di interpretazione a causa della eterogeneità eziologica), pur non rilevando alcun eccesso nelle aree in studio rispetto alla prevalenza media regionale. Si rileva inoltre un eccesso di malformazioni dell'apparato osteomuscolare per il livello più elevato di esposizione, pur in assenza di un trend significativo. Il risultato complessivo, a causa delle difficoltà rilevate nella individuazione dei nati malformati e dell'esigua numerosità della casistica, non è informativo di una associazione causale con l'esposizione a inceneritore.

## Effetti a lungo termine

### Obiettivo

Valutare la mortalità e l'incidenza dei tumori maligni in relazione alla esposizione alle emissioni di sei inceneritori di RSU attivi in Emilia-Romagna attualmente e nell'anno 1995.

### Metodi

La popolazione oggetto dello studio è costituita dai residenti al 01/01/1995 in un'area di 4 km di raggio dagli inceneritori. Le residenze di tutti i soggetti sono state georeferenziate tramite Sistemi Informativi Geografici e ad ogni soggetto è stata attribuita l'esposizione puntuale derivante dall'applicazione del modello di ricaduta al suolo delle emissioni relative all'anno 1995.

Complessivamente la coorte analizzata per l'esito mortalità è composta da 219615 soggetti che si riduce a 195421 soggetti per l'esito incidenza tumori (coorte '95). Il follow-up della coorte è esteso fino al 31/12/2006, o al verificarsi dell'evento in studio, se antecedente.

Sono inoltre state considerate due sottocoorti rispettivamente composte dai soggetti presenti nelle aree in studio almeno dal 1991 al 1999 (102843 soggetti) (coorte '91) e dalle persone residenti allo stesso indirizzo ininterrottamente dalla data di inizio dell'attività dell'inceneritore al 1995. Quest'ultima coorte, di particolare interesse per la possibilità di identificare una durata certa di esposizione, è costituita solo da 24132 soggetti residenti nell'area in studio di Modena dal 1982 al 1995 (coorte di Modena).

In particolare, sono state analizzate le cause di morte e le sedi tumorali più frequenti o per le quali esisteva in letteratura una segnalazione di possibile associazione con l'esposizione a inceneritori. Tra queste, i sarcomi dei tessuti molli, tumori rari di difficile classificazione, sono stati considerati con particolare attenzione: lo studio ne ha riguardato esclusivamente l'incidenza e sono stati valutati in relazione alla sede e alla morfologia.

La relazione tra esposizione alle emissioni da inceneritori e gli esiti in studio è stata stimata usando i modelli di regressione di Poisson e correggendo i rischi per esposizione ad altre fonti, condizioni socio-economiche, stimate attraverso l'Indice di Deprivazione calcolato per sezione di censimento, età e periodo di calendario. È stato anche calcolato il valore di  $p$  del trend dell'associazione,

per valutarne il senso e il gradiente.

### Risultati

La mortalità per cause non tumorali non risulta associata con l'esposizione a emissioni da inceneritore. Per le cause tumorali la mortalità per tumore del fegato e tumore del pancreas nei maschi è significativamente associata nel livello di esposizione più elevato (rispettivamente IRR = 1,97, IC95%: 1,11-3,50; IRR = 1,66, IC95%: 1,08-2,53). La mortalità per tumore del fegato mostra anche un trend statisticamente significativo ( $p = 0,031$ ). Dall'analisi dei dati di incidenza risulta un'associazione significativa per il tumore del pancreas nei maschi della coorte principale (IRR del livello di esposizione più elevato: 1,93, IC 95%: 1,15 - 3,22) e del colon nelle femmine della coorte di Modena (IRR = 1,84, IC 95%: 1,12 - 3,01), relativi rispettivamente a 191 e a 134 casi, con aumento di incidenza all'aumentare dell'esposizione. Tra i tumori segnalati in letteratura per la loro possibile associazione con l'esposizione a inceneritori, sono osservati rischi significativamente in eccesso per livelli di esposizione diversi dal maggiore, senza trend, per il linfoma non Hodgkin nelle femmine della coorte di Modena, per il tumore del fegato nei maschi della coorte principale e del polmone nei maschi della coorte di Modena e nelle femmine della coorte '91. Il linfoma non Hodgkin considerato nei due sessi congiuntamente nella coorte di Modena (81 casi) presenta un incremento di rischio non significativo all'aumentare dell'esposizione. Tra i tumori non esplorati da studi precedenti, il tumore dell'ovaio presenta rischi in eccesso per livelli di esposizione intermedi nella coorte '95 e in quella '91, il tumore del corpo dell'utero presenta invece un trend al limite della significatività nella coorte di Modena ( $p = 0,057$ ).

Il tumore dello stomaco e il sarcoma dei tessuti molli, per i quali esiste in letteratura un'evidenza limitata di associazione con l'esposizione a inceneritori, non presentano in questo studio alcun eccesso di rischio.

### Discussione

Per consentire un'interpretazione razionale dei molteplici e differenti risultati ottenuti, sono stati considerati diversi aspetti, tra cui principalmente i problemi connessi con l'effettuazione di test multipli e la coerenza interna dei risultati ottenuti dallo studio.

In questo studio sono stati eseguiti numerosi test statistici e ciò comporta la

probabilità di ottenere risultati significativi per effetto del caso, con probabilità tanto maggiore quanto più numerosi sono i test effettuati. E' quindi indispensabile, per ponderare il significato delle associazioni individuate, valutare la coerenza interna dei risultati, tra livelli di esposizione, coorti esaminate, generi. La presenza di risultati significativi per livelli di esposizione diversi da quello più elevato, in assenza di un trend significativo o almeno ai limiti della significatività, è di difficile interpretazione e poco verosimilmente associabile all'esposizione in studio, soprattutto se relativa a risultati non replicati tra coorti. Così il tumore dell'ovaio e quello del polmone in entrambi i generi forniscono risultati non coerenti tra livelli di esposizione in tutte le coorti considerate, in nessuna delle quali l'incidenza maggiore è associata al livello più elevato di esposizione, né si osserva alcun trend significativo. Non dissimile è il comportamento del tumore del fegato nei maschi, ma a differenza dei tumori di polmone e ovaio, la sua incidenza è sempre in eccesso per ogni livello di esposizione in ciascuna coorte, benché significativo solo per il secondo livello della coorte '95.

Per quanto riguarda le coorti in studio, la coorte '95 è la più ampia ma anche la meno definita per quanto riguarda la durata dell'esposizione e la latenza, potendo comprendere soggetti presenti nelle aree in studio per periodi molto differenti, senza alcuna possibilità di precisare l'inizio dell'esposizione. Per questa ragione è considerata "esplorativa". La coorte '91 è meno ampia della prima ma meglio definita per quanto concerne la durata minima di esposizione, poiché comprende solo soggetti residenti nelle aree in studio, allo stesso indirizzo, per almeno nove anni, benché nessuna informazione sia disponibile circa la durata reale dell'esposizione. La coorte di Modena comprende pochi soggetti, che tuttavia presentano durata dell'esposizione e latenza certe. Come tale fornisce risultati di particolare interesse. E' quindi importante che eventuali risultati delle coorti '95 o '91 siano confermati, o almeno non contraddetti, dalla coorte di Modena, mentre eventuali risultati di quest'ultima, anche se non confermati dalle due coorti più numerose, sono tuttavia da tenere in considerazione.

Di fatto nella coorte di Modena l'unica sede tumorale che appare significativamente associata con l'esposizione è il colon nelle femmine. Il risultato non è replicato nelle due coorti più ampie. Sempre nella coorte di Modena occorre segnalare il trend al limite della significatività per il tumore del corpo dell'utero,

non replicato nelle due coorti maggiori e, con incertezza maggiore, l'aumentare dell'incidenza di linfomi non Hodgkin all'aumentare del livello di esposizione nei due sessi considerati congiuntamente. Considerando le due coorti più numerose, occorre valutare il tumore del pancreas e quello del fegato nei maschi.

Venendo alla coerenza tra generi, il tumore del pancreas e quello del colon forniscono risultati non coerenti: il tumore del pancreas nelle femmine non presenta mai eccessi di rischio, così come il tumore del colon nei maschi della coorte di Modena. Per quanto riguarda il tumore del fegato, altra sede di qualche interesse, nelle femmine il livello maggiore di esposizione presenta rischi relativi minori di uno in ciascuna coorte considerata. Questa diversità di risultato tra generi potrebbe essere interpretata come espressione di fattori di rischio differenti da quelli ambientali in studio, che agiscono in modo selettivo nell'uno o nell'altro sesso: stili di vita, esposizioni professionali. Non si può tuttavia escludere un diverso effetto dei fattori ambientali nei due generi, connesso alle caratteristiche biologiche tipiche di ciascuno di essi, ma questa interpretazione parrebbe più appropriata per tumori a componente endocrina, nei quali cioè il diverso assetto ormonale potrebbe modificare l'effetto dell'esposizione.

#### *Conclusioni dello studio sugli effetti a lungo termine*

Nel complesso, lo studio non ha messo in evidenza una coerente associazione tra livelli di esposizione e mortalità o incidenza di tumori. Alcune sedi tumorali, colon nelle donne e linfoma non Hodgkin, per le quali esisteva già una debole evidenza a priori, sono risultate associate con l'esposizione in studio nella coorte di Modena, pur con diversa forza dell'associazione. Il tumore del fegato, anch'esso già segnalato in letteratura, è risultato variamente associato con l'esposizione nelle diverse coorti indagate. Infine per il tumore del pancreas, non esplorato in altri studi, è stata osservata nei maschi un'associazione con l'esposizione nella coorte maggiore. Queste associazioni, di cui non è possibile valutare il rapporto di causalità con l'esposizione a RSU, rappresentano gli unici indizi sulla possibile cancerogenicità delle emissioni da inceneritori.

## Conclusioni della linea progettuale 4. Effetti sulla popolazione residente

Mentre per gli effetti a lungo termine (mortalità, incidenza tumori) i risultati di questo lavoro non evidenziano in modo coerente un incremento di rischio connesso con l'esposizione a inceneritore, i risultati degli esiti riproduttivi suggeriscono la possibilità di un incremento di rischio connesso alle nascite pretermine e, in minor misura, agli aborti spontanei. E' pure stato rilevato un eccesso di nati malformati, relativamente alla totalità delle malformazioni, associato al livello maggiore di esposizione. I risultati dello studio devono essere inseriti nel complesso di conoscenze preesistenti e contribuiscono al complessivo processo di riconoscimento delle potenzialità nocive di un agente/esposizione, ovvero alla costruzione di un livello di evidenza progressivamente meno incerto.

Un ulteriore contributo al miglioramento delle conoscenze verrà dalla replica dello studio sugli effetti riproduttivi su un periodo più recente, che potrà includere dati individuali sul fumo di tabacco e consentirà anche di valutare se i cambiamenti impiantistici nel frattempo intercorsi abbiano comportato una modifica nelle stime modellistiche dell'esposizione e negli esiti qui segnalati.

### Azione 2. Studio di coorte occupazionale

Lo studio occupazionale riguardava i lavoratori addetti alla conduzione e manutenzione di sette inceneritori in Emilia-Romagna e, contrariamente agli altri studi, necessitava della completa collaborazione dei gestori per la costruzione della coorte.

La fonte primaria sono stati i libri matricola, con notevoli difficoltà legate all'assenza di libri dedicati relativi ai periodi più lontani, quando gli addetti erano operai municipali, la cui mansione variava secondo le necessità del Comune. Oltre a ciò il lungo periodo di calendario e i numerosi cambi di proprietà e di gestione di cui sono stati oggetto gli inceneritori non hanno favorito il reperimento di dati affidabili.

Sono stati comunque individuati 468 soggetti, 454 maschi e 14 femmine, che avevano lavorato negli inceneritori nel periodo compreso tra l'avvio di ogni impianto, variabile tra il 1968 e il 1999, e il 31.12.2007.

È stato in ogni caso effettuato l'accertamento dello stato in vita ed è stata

contemporaneamente verificata la validità delle informazioni ricevute tramite controlli interni, con i gestori, ed esterni, con le Aziende USL (AUSL) presso le quali è stata reperita documentazione.

Sia la verifica della congruità nel tempo della numerosità dei lavoratori, effettuata con i gestori, che i controlli incrociati tra dati aziendali e dei servizi AUSL, quando possibili, hanno dato esito insoddisfacente, evidenziando notevoli carenze nell'individuazione dei lavoratori soprattutto nei periodi più lontani nel tempo, che sono quelli di maggior interesse in uno studio di mortalità, mentre i dati diventano affidabili, sulla base delle considerazioni precedenti, solo per i soggetti assunti a partire dai primi anni '90.

I controlli effettuati hanno inoltre evidenziato una notevole misclassificazione delle mansioni, relativa non solo alle differenti mansioni interne agli inceneritori, ma anche al possibile avvicendamento di tipologie di lavori tra interno ed esterno agli inceneritori.

Su richiesta del CS è stata effettuata una stima della rappresentatività dei soggetti reclutati rispetto alla possibile consistenza della coorte. Preliminarmente, per ciascun inceneritore, è stato individuato l'anno in cui il numero dei lavoratori addetti può essere considerato affidabile, controllando con la media degli addetti negli anni successivi. Successivamente è stata valutata la dinamica degli ingressi e delle uscite per anno. Questi dati sono stati applicati agli anni precedenti e la stima che ne deriva è che i 468 soggetti rappresentano verosimilmente dal 53 al 60% della possibile coorte complessiva.

Si sottolinea che i soggetti che non è stato possibile recuperare sono quelli con maggiore età anagrafica, maggiore durata dell'esposizione e, in caso di decesso, del periodo di latenza.

In considerazione dei problemi riscontrati nella ricostruzione accurata dei componenti della coorte, anche dopo avere sentito il Comitato Scientifico è stato deciso di sospendere lo studio e di non procedere all'analisi dei dati.

La coorte potrà essere aggiornata successivamente lavorando a partire dal periodo in cui i dati forniti dai gestori sono considerati affidabili.

Ovviamente, lavorando su soggetti giovani e con esposizione di breve durata, la sensibilità di eventuali futuri studi nel riconoscere effetti avversi di esposizione nell'ambiente di lavoro degli inceneritori sarà limitata per molti anni.



## LINEA PROGETTUALE 5

Valutazione degli effetti  
tossicologici dell'aria prelevata  
in prossimità degli impianti  
di incenerimento

**Responsabile:** Annamaria Colacci, Arpa Emilia-Romagna

**Azione 1 -** Modelli in vitro per lo studio della risposta infiammatoria  
Responsabile: Francesco Di Virgilio (Università di Ferrara)

**Azione 2 -** Studio dell'impatto ambientale da sostanze genotossiche  
derivanti dall'attività degli impianti di incenerimento  
Responsabile: Francesca Cassoni (Arpa Emilia-Romagna)

**Azione 3 -** Modelli in vitro predittivi del rischio cancerogeno  
Responsabile: Monica Vaccari (Arpa Emilia-Romagna)

**Azione 4 -** Approcci di tossicogenomica per l'individuazione di profili genici di  
espressione in linee cellulari esposte a particolato  
Responsabile: Paola Silingardi (Arpa Emilia-Romagna)

**Azione 5 -** Valutazione del rischio cancerogeno  
Responsabile: Sandro Grilli (Università di Bologna)

**Azione 6 -** Relazione conclusiva e supporto alla comunicazione  
Responsabili: Annamaria Colacci (Arpa Emilia-Romagna)

### **Enti coinvolti:**

Arpa Emilia-Romagna (Centro tematico regionale Cancerogenesi ambientale e  
valutazione del rischio, Laboratorio tematico Mutagenesi ambientale)  
Università di Bologna, Dipartimento di Patologia Sperimentale – Sezione di  
Cancerologia  
Università di Ferrara, Dipartimento di Medicina Sperimentale e Diagnostica  
Università degli studi di Parma, Dipartimento di Genetica, Biologia dei  
microrganismi, Antropologia, Evoluzione

I risultati ottenuti nella Linea progettuale 5 sono concordi nel mostrare un profilo tossicologico simile nei campioni di aria prelevati nel sito di massimo impatto dell'inceneritore (Frullo Est) e nel sito appartenente allo stesso dominio, ma non interessato dalla ricaduta dei fumi dell'impianto (Calamosco). Molti indici, anzi, imputano al sito Calamosco un'attività tossicologica più elevata. Inoltre l'analisi condotta esclude che ci sia un rischio cancerogeno legato all'attività dell'impianto. Sulla base dei risultati ottenuti si può concludere che la presenza dell'inceneritore considerato nello studio non incrementa il livello di inquinamento presente nell'area.

## Introduzione

La base razionale di questa linea poggia sulla evidenza scientifica che l'esposizione ai contaminanti ambientali di vario genere può innescare una serie di eventi che si traducono in effetti a carattere acuto e cronico. La risposta più immediata è spesso di carattere infiammatorio. Gli effetti acuti, al perdurare dell'esposizione, tendono a cronicizzarsi e a creare un ambiente ideale per l'insorgenza di effetti più gravi e a lungo termine. È possibile delineare un percorso temporale che collega gli effetti immediati che conseguono all'esposizione con gli effetti più tardivi a carattere stocastico (figura 1).

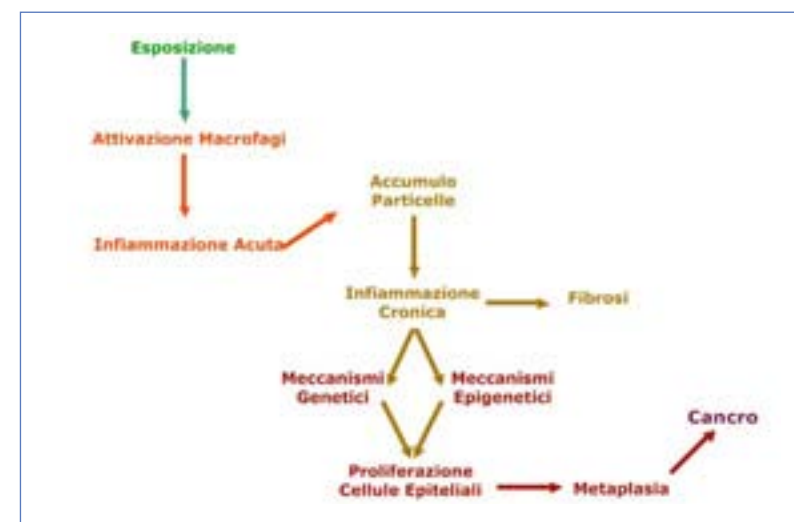


Fig. 1 Processo multifasico in risposta a insulti ambientali

Ci siamo, dunque, chiesti se fosse possibile tracciare a livello biologico e molecolare le diverse fasi della eventuale risposta a una esposizione ambientale puntiforme, quale quella rappresentata da un inceneritore, e identificare marcatori di esposizione precoci che potessero essere utili in una predizione di rischio per la salute umana.

Le conoscenze scientifiche sull'argomento erano (e sono) ancora piuttosto limitate, ma le evidenze riportate in letteratura confortano le scelte metodologiche operate (le voci bibliografiche sono a disposizione degli interessati).



Sulla base, dunque, dell'analisi della letteratura, delle pregresse esperienze delle singole unità operative afferenti alla linea progettuale e della discussione avvenuta in seno al Comitato Scientifico del progetto Monitor, sono state operate le opportune scelte metodologiche e concettuali per raggiungere l'obiettivo generale, consistente nell'evidenziare i possibili rischi per la salute della popolazione attualmente residente nelle aree interessate dalla ricaduta di un impianto di incenerimento.

Di seguito verranno descritti i punti principali delle metodologie adottate e dei principali risultati raggiunti, rimandando per maggiori dettagli alle relazioni delle singole azioni che costituiscono parte integrante del presente documento.

### L'impianto di incenerimento e i siti di raccolta dei campioni

L'intera sperimentazione della Linea progettuale 5 (LP 5) è stata eseguita sull'inceneritore di Bologna, per brevità denominato Frullo, dall'ubicazione dell'impianto in Via del Frullo.

L'inceneritore del Frullo ha costituito il punto di riferimento di tutti gli approfondimenti metodologici e sperimentali operati nel progetto Monitor. Questo inceneritore, infatti, rappresentava, al momento in cui è stata operata la scelta, l'impianto tecnologicamente più avanzato presente nella regione Emilia-Romagna. L'impianto era già stato oggetto nel 2005 di una approfondita campagna di monitoraggio che aveva consentito di eseguire una prima valutazione dell'eventuale rischio derivante dall'esposizione e una comparazione con l'impianto dismesso, a cui l'attuale impianto andava a sostituirsi (per ulteriori approfondimenti: [www.aria.provincia.bologna.it/progetti/progetti.html](http://www.aria.provincia.bologna.it/progetti/progetti.html)). Il vecchio impianto, a sua volta, era stato al centro di una campagna di monitoraggio, precedente (1998-2000) con una estesa caratterizzazione chimica (ma non tossicologica) dei campioni d'aria raccolti nelle immediate vicinanze. L'impianto attuale è inoltre al centro di un progetto di monitoraggio speciale che consentirà di raccogliere, anche negli anni a venire, informazioni più dettagliate utili per la caratterizzazione chimica e tossicologica dei campioni d'aria raccolti nei siti di ricaduta individuati nelle precedenti campagne di monitoraggio.

La storia pregressa dell'inceneritore di Bologna lo rendeva, dunque, l'implan-

to ideale non solo per rispondere alle esigenze immediate del presente studio, ma anche per analizzare le ricadute dell'evoluzione tecnologica in termini di riduzione del rischio per la salute umana.

Tutti questi aspetti sono stati considerati e approfonditi durante la ideazione e realizzazione dell'Azione 3 e dell'Azione 5 della LP 5, i cui principi metodologici erano già stati applicati nelle precedenti campagne di monitoraggio del Frullo. Sulla base del modello di ricaduta e dei siti evidenziati sono stati prescelti quattro siti di riferimento per la raccolta dei campioni d'aria, in particolare di PM<sub>2.5</sub>, per la caratterizzazione tossicologica eseguita nell'ambito delle azioni 1, 2, 3 e 4. L'Azione 5, invece, ha eseguito la valutazione e stima del rischio sulla base dei dati di caratterizzazione chimica eseguita su campioni raccolti su un numero più ampio di siti. Per facilitare la comprensione dei risultati si da qui di seguito una breve descrizione dei siti considerati.

*Siti considerati negli studi sperimentali (azioni 1-4)*

**Frullo Est:** rappresenta il punto di massima ricaduta dell'inceneritore, scelto, rispetto a Frullo Ovest, perché corrispondente al sito già oggetto di studi nella menzionata campagna di monitoraggio.

**Calamosco:** un sito adiacente al Frullo, ma posto sopravento in direzione Est, rispetto all'inceneritore. Secondo il modello di ricaduta adottato, su questo sito agiscono le stesse fonti di possibile contaminazione che influenzano l'area del Frullo, con esclusione dell'inceneritore stesso. Tale sito è stato scelto come "bianco" dell'inceneritore.

**Giardini Margherita:** un sito all'interno di un grande parco cittadino, situato a Sud-Ovest rispetto all'impianto del Frullo. Questa area rappresenta il fondo urbano, cioè il punto di minima contaminazione della città di Bologna. Tra l'altro, questa area gode di particolari condizioni di ricambio d'aria e questo rafforza maggiormente la scelta di questo sito come riferimento del minimo di esposizione urbana.

**S. Pietro Capofiume:** frazione del comune di Molinella (BO) sita a Nord-Est rispetto all'impianto di incenerimento, sede di una stazione meteorologica, scelto come sito rurale e, quindi, possibilmente rappresentativo del livello mi-

nimo di contaminazione dell'aria tra le aree considerate.

*Ulteriori siti considerati nella stima del rischio cancerogeno (Azione 5)*

**Frullo Ovest:** rappresenta il punto di massima ricaduta dell'inceneritore, scelto, specularmente a Frullo Est.

**F19:** un sito adiacente al Frullo, ma posto sopravento in direzione Ovest, rispetto all'inceneritore. Secondo il modello di ricaduta adottato, su questo sito agiscono le stesse fonti di possibile contaminazione che influenzano l'area del Frullo, con esclusione dell'inceneritore stesso. Tale sito è stato scelto come "bianco" dell'inceneritore.

**Veduro:** fondo rurale, posto all'interno del dominio.

**Pianeta:** massima influenza di tutte le fonti.

Nell'ambito del disegno sperimentale della LP 5, il profilo tossicologico dei campioni prelevati nel massimo del dominio (Frullo Est) è stato comparato con i profili ottenuti negli altri siti di confronto. Il disegno sperimentale risponde al quesito principale consistente nel definire se e quanto l'aria nel punto di massima ricaduta dell'impianto di incenerimento fosse più tossica e offrisse più rischi di quelli rilevati negli altri siti.

## La linea progettuale e le azioni: overview

La Linea progettuale 5 (LP 5) consta di sei azioni. Le azioni 1-5 mirano ad approfondire i meccanismi d'azione che sottendono le fasi principali del processo che si innesca in risposta all'esposizione ambientale. L'Azione 6, al pari di quanto accade nelle altre linee progettuali di Monitor, ha una funzione di cerniera rispetto alle altre azioni e provvede alla comunicazione dei risultati e alla stesura della documentazione, ivi incluso il presente documento (vedi rapporto finale LP 7). La figura 2 offre una panoramica completa delle azioni.

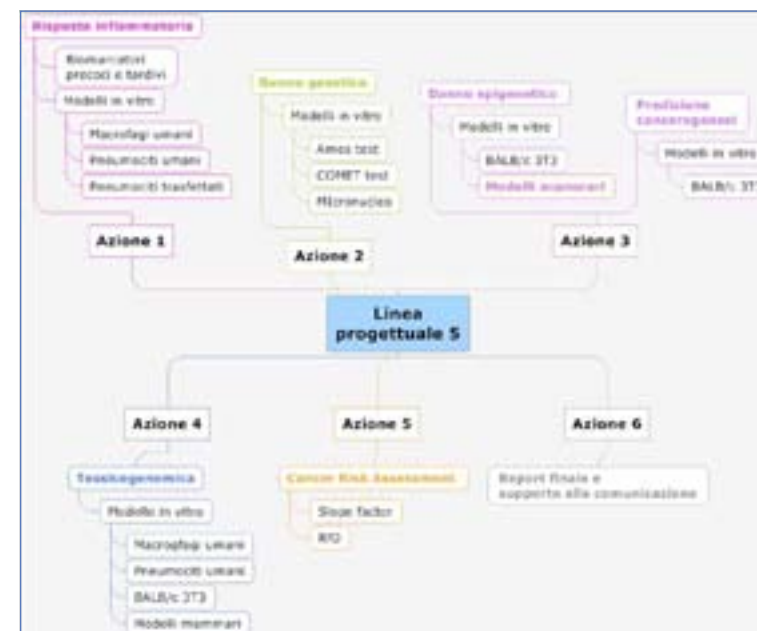


Fig. 2 Panoramica degli endpoint analizzati e dei test utilizzati nelle azioni della LP 5

## Modelli sperimentali e endpoint misurati

Una descrizione dei modelli e dei protocolli sperimentali utilizzati è riportata nelle relazioni conclusive delle singole azioni. Tuttavia è qui necessario evidenziare alcuni principi che hanno ispirato il disegno sperimentale dell'intera LP 5. Il progetto Monitor nasce in un momento in cui è particolarmente accesa l'attenzione verso i test tossicologici alternativi, in sostituzione dei test sull'animale. Pur nella consapevolezza che i tempi di una sostituzione totale dei test sull'animale siano ancora prematuri, l'utilizzo di test in vitro convalidati o in via di convalidazione internazionale, che prevedono l'utilizzo di cellule procarioti o eucarioti, e l'uso estensivo e intensivo di tecniche di biologia molecolare per identificare in marcatori molecolari, comuni e universali, di risposta all'esposizione, ha portato alla definizione di modelli sperimentali con un buon livello di predittività per gli endpoint proposti.

In questa ottica, la maggior parte dei modelli impiegati nella LP 5 ha fatto ricorso a test in vitro e all'uso di colture cellulari (tabella 1).

Si è anche cercato di convergere su modelli comuni o funzionali a più azioni per migliorare l'interpretazione comparativa dei dati ottenuti nelle diverse azioni e facilitare la chiave di lettura dei risultati in termini di rischio per la salute umana.

Di conseguenza, lo studio di tossicità, mutagenesi e cancerogenesi è stato condotto mediante una batteria di test, tutti convalidati o in via di convalidazione, di complessità crescente, i cui risultati consentono una valutazione complessiva e completa della capacità della miscela testata di indurre danni irreversibili e a lungo termine. In ognuno di questi test sono stati analizzati più endpoint, intesi come indicatori specifici dell'effetto considerato (tabella 2). Le attività dell'Azione 1 e dell'Azione 4 hanno prediletto l'utilizzo di modelli cellulari comuni, perché l'analisi in trascrittomica, con la identificazione dei geni modulati dall'esposizione, potesse eventualmente spiegare il meccanismo d'azione di risposta infiammatoria.

Tab. 1 Modelli biologici utilizzati nello studio

Origine	Nome identificativo	Descrizione
Batteri	Salmonella typhimurium TA 98, TA 100	Ceppi batterici, comunemente impiegati nel test di Ames (test di retromutazione)
Topo	J774	Linea macrofagica murina, derivata dalla stabilizzazione di un sarcoma di topo femmina BALB/c. particolarmente indicata per studiare la risposta monolitica-macrofagica in risposta a stimoli infiammatori
	BALB/c 3T3.	Linea di fibroblasti murini derivata da topo maschio BALB/c. Diversi cloni di questa linea sono utilizzati per lo studio della cancerogenesi in vitro (protocollo ECVAM in convalidazione)
Uomo	A549.	Linea stabilizzata di pneumociti derivata da un tumore in donna caucasica. Costituisce il modello di polmone più diffuso, anche recentemente proposto per supportare lo sviluppo di test alternativi di tossicità a dose-ripetuta (tossicità sub cronica e cronica)
	Humi	Linea normale (non trasformata), stabilizzata con virus SV40, ottenuta con cellule umane epiteliali di mammella
	T47D	Linea stabilizzata di cellule umane da carcinoma duttale, ottenute da effusione pleurica
	Leucociti	Leucociti periferici derivati da prelievo di sangue fresco di donatori sani non fumatori

Tab. 2 Endpoint misurati e loro significato biologico

Effetto analizzato	Modello/Test	Endpoint misurato	Significato biologico
Risposta Infiammatoria	cellule murine J774, pneumociti umani A549, monociti primari di donatori sani	Rilascio di ATP e di IL1-beta	Le molecole ricercate sono rilasciate come risposta immediata a uno stress cellulare
Danno genetico	Salmonella typhimurium (Test di Ames)	Retromutazioni	E' il test di elezione per individuare l'induzione di mutazioni puntiformi
	Comet assay (test della Cometa) in linfociti periferici	rotture a singolo e/o doppio filamento del DNA e siti in cui la struttura del DNA è deformata	Evidenza danno primario a carico del DNA nelle singole cellule non ancora riparato, né fissato.
	Micronucleo in linfociti periferici	Formazione di micronuclei (frammentazione del nucleo)	Evidenza rotture dei cromosomi (sostanze clastogene) o perdita dei medesimi (sostanze aneugeniche)
Danno epigenetico	Cellule BALB/c 3T3	Efficienza clonale	Risposta delle cellule all'effetto tossico di composti chimici
		Trasformazione cellulare	Consente di verificare le proprietà cancerogene dei composti chimici
Tossicogenomica	Cellule T47D, Humi, A549	Profili di espressione genica	Individuazione delle interazioni gene-ambiente in risposta a stress ambientali

## I campioni analizzati

In linea generale, LP 5 si è focalizzata, come già ampiamente detto, sui campioni PM2.5 come indicatore della qualità dell'aria (PM2.5). Alcune azioni, tuttavia, hanno curato alcuni approfondimenti. Nell'Azione 1 sono stati analizzati anche campioni di PM10 di aria urbana. Nell'Azione 2 è stato curato anche un aspetto relativo ai terreni, sia terreni naturali prelevati negli stessi punti di raccolta dei campioni di aria sia terreni artificiali, preparati in laboratorio e posti in scatole di raccolta nei siti prescelti per tutti gli altri test. Sempre nell'Azione 2, sono stati analizzati anche gli aspetti di mutagenesi relativi ai campioni prelevati al camino nell'ambito dell'attività della linea progettuale 1 (LP 1). La tabella 3 offre una lettura sintetica della tipologia di campioni analizzati in ogni singola azione.

Tab. 3 Tipologia di campioni analizzati in ogni singola azione

Tipologia di campione	Az 1	Az 2	Az 3	Az 4	Az 5
Emissioni	-	✓	-	-	-
Terreni	-	✓	-	-	-
PM 2.5 Frullo	✓	✓	✓	✓	✓
PM 2.5 Calamosco	✓	✓	✓	✓	✓
PM 2.5 Giardini Margherita	✓	✓	✓	✓	✓
PM 2.5 S. Pietro Capofiume	✓	✓	✓	-	✓
PM10 aria urbana	✓	-	-	-	-

I campioni di aria PM2.5 sono stati raccolti in due periodi, riferiti alla stagione estiva (dal 13 giugno al 24 luglio 2008) e invernale (dal 14 gennaio al 9 marzo 2009).

Da tutti i filtri di raccolta giornaliera è stato ottenuto un unico estratto per stagione. L'estratto è stato suddiviso in aliquote e distribuito secondo le esigenze delle Unità Operative afferenti alla linea progettuale (UO) per le attività previste dalle azioni 1, 2, 3 e 4.

La scelta di ottenere dall'estrazione un unico campione è stata operata tenendo conto di due fattori, uno di carattere puramente contingente, determinato dalla necessità di volumi discretamente elevati di materiale da testare, non altrimenti ottenibili da ogni singolo filtro (o dalla coppia dei filtri raccolti giornalmente), l'altro dettato dagli obiettivi di base della LP 5, volti ad analizzare gli esiti di una esposizione media, prolungata e non gli episodi collegati a picchi di esposizione.

Una delle tappe più critiche è stata la scelta del solvente di estrazione che ha dovuto soddisfare i seguenti criteri: 1) essere in grado di estrarre la maggior parte degli inquinanti presenti nel particolato; 2) avere una tossicità tollerabile per il materiale biologico (batteri, cellule) con cui viene in contatto durante i test; 3) essere in grado di miscelarsi adeguatamente con i terreni di coltura, così da avere una soluzione omogenea. Dopo alcune prove preliminari, la scelta si è orientata sull'acetone.

## Risultati di linea e considerazioni generali

I risultati ottenuti nelle singole azioni sono dettagliatamente descritti nelle relazioni di riferimento. Qui di seguito si cercherà di dare una interpretazione globale dei risultati raggiunti, di fornire una valutazione critica e di offrire suggerimenti per le azioni future.

L'attività di ricerca della LP 5 è stata condotta con l'intento di verificare l'impatto dell'inceneritore di Bologna, quale impianto modello, su una serie di endpoint in grado di disegnare un profilo tossicologico di campioni, che includono PM2.5 prelevato nei siti di raccolta identificati e descritti precedentemente, campioni prelevati al camino, e suoli interessati dalla ricaduta dell'inceneritore o rappresentativi degli altri siti.

## Profilo tossicologico da endpoint biologici

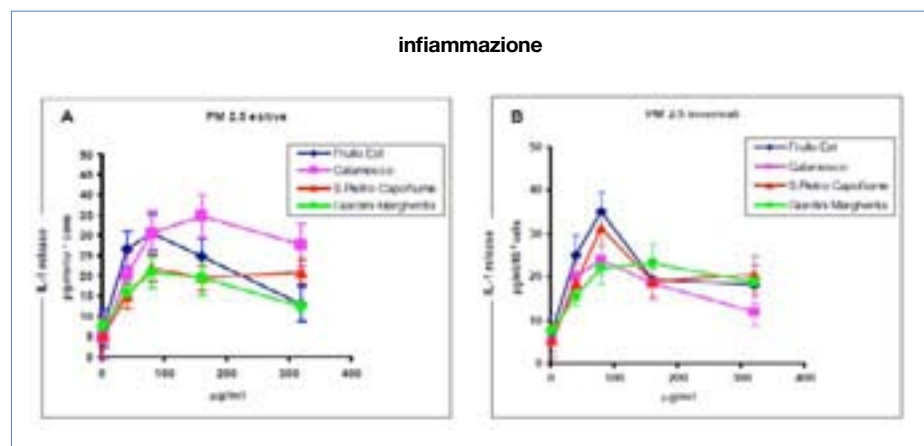
Per facilitare la comparazione dei dati, per ogni endpoint considerato viene fornita una tabella che identifica le concentrazioni di particolato utilizzate negli esperimenti. Come premessa essenziale, va ricordato che il contenuto di particolato nei filtri di raccolta riflette differenze stagionali, con i filtri della campagna invernale più "pesanti" di quelli raccolti nella campagna estiva.

Tab. 4 Volume campionato in ogni sito e corrispondenza in peso delle polveri

SITO	Estate			Inverno		
	Volume campionato (m <sup>3</sup> )	peso polveri (mg)	µg/m <sup>3</sup>	Volume campionato (m <sup>3</sup> )	peso polveri (mg)	µg/m <sup>3</sup>
Frullo Est	1245,14	29,05	23,33	1997,81	70,76	35,42
Calamosco	1242,33	26,22	21,11	2104,74	72,56	34,47
G. Margherita	1243,91	23,31	18,74	2106,20	62,26	29,56
S. Pietro C.	1243,49	17,27	13,89	2101,93	70,13	33,37

Negli endpoint biologici, volti a descrivere eventuali capacità del particolato di indurre effetti infiammatori, o più specificamente pro-infiammatori, tossici, mutageni e/o cancerogeni, non si osservano differenze significative fra i campioni raccolti nel sito Frullo Est (massimo impatto dell'inceneritore) da quelli raccolti nel sito di Calamosco, mentre i campioni relativi al fondo urbano (Giardini Margherita) e aria rurale (S. Pietro Capofiume) mostrano valori più bassi (con eccezione dei terreni di cui si dirà più avanti).

*Proprietà infiammatorie*



Corrispondenza metri cubi e milligrammi di particolato utilizzato nell'esperimento relativa alla Figura 3

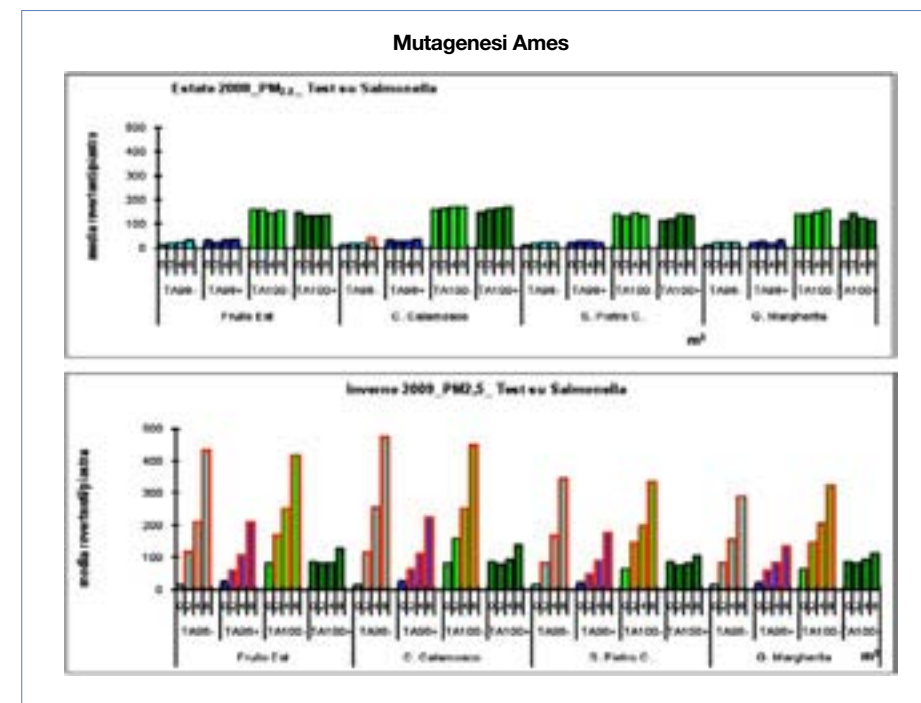
SITO	Estate 2008		Inverno 2009	
	m³	µg/ml	m³	µg/ml
Frullo Est	3,43	80	2,26	80
	6,86	160	4,52	160
	13,72	320	9,03	320
Calamosco	3,79	80	2,32	80
	7,58	160	4,64	160
	15,16	320	9,28	320
Giardini Margherita	4,27	80	2,71	80
	8,54	160	5,41	160
	17,08	320	10,83	320
S. Pietro Capofiume	5,76	80	2,40	80
	11,52	160	4,79	160
	23,04	320	9,59	320

**Fig. 3** Studio comparativo dell'attività di rilascio di IL-1beta stimolata da particolato raccolto nei quattro siti prescelti. Monociti sono stati isolati dal sangue periferico di donatori, incubati in piastra (5 x 10<sup>5</sup>/ml/piastra, 24 piastre) per cinque giorni e poi esposti a particolato alle concentrazioni di 80, 160, 320 µg/ml per 6 ore. I dati sono riportati come media di tre repliche per punto per due donatori (totale sei repliche)

In fig. 3 si può notare una spiccata differenza fra il comportamento dei campioni raccolti in estate, dove il campione "Calamosco" è il più efficiente in indurre rilascio di IL1-beta, e quanto si osserva con i campioni invernali dove si ha un picco di rilascio più alto per i campioni Frullo e S. Pietro. Va tuttavia annotato che già alla dose 80 µg/ml (pari a circa 2.2 m³/ml) c'è un effetto tossico nelle cellule trattate, effetto che aumenta alle dosi di trattamento più elevate. A questa estesa tossicità si deve, probabilmente, una inibizione del rilascio di interleuchina.

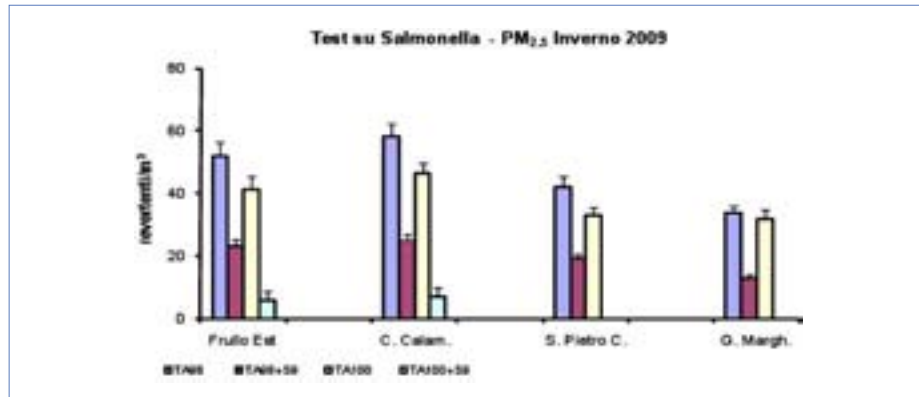
*Mutagenesi*

Anche per il test di mutagenesi in Salmonella (Test di Ames, fig. 4) si nota uno spiccato effetto stagionale con tutti i campioni estivi non mutageni e tutti i campioni invernali positivi nel test. I campioni raccolti nel dominio (Frullo Est e Calamosco) risultano significativamente più mutageni rispetto ai campioni dell'area rurale e del fondo urbano. Il sito Calamosco mostra l'attività mutagena più elevata (fig. 5).



SITO	Estate 2008		Inverno 2009	
	m <sup>3</sup>	µg	m <sup>3</sup>	µg
Supersite	2	46,67	2	70,84
	4	93,33	4	141,67
	8	186,66	8	283,34
Chiesa Calamosco	2	42,21	2	68,95
	4	84,42	4	137,90
	8	168,84	8	275,79
S. Pietro Capofiume	2	27,79	2	66,74
	4	55,57	4	133,47
	8	111,13	8	266,93
Giardini Margherita	2	37,49	2	59,13
	4	74,97	4	118,25
	8	149,93	8	236,50

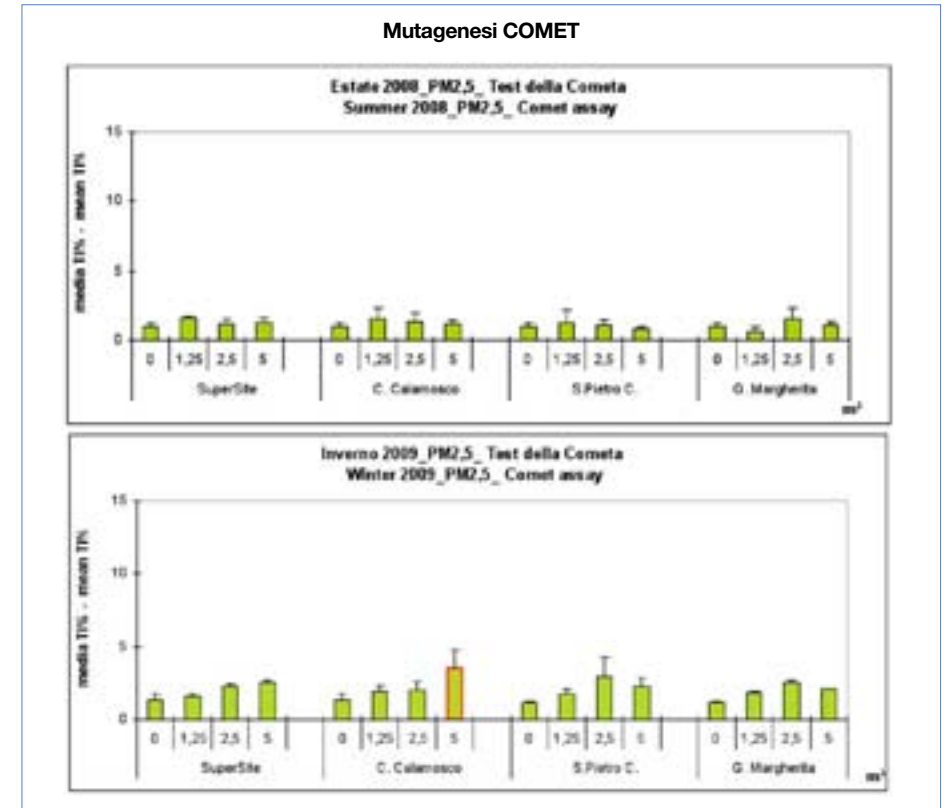
**Fig.4** Studio comparativo dell'attività mutagenica (Test con Salmonella) di particolato raccolto nei quattro siti prescelti. Gli estratti dei campioni sono stati sottoposti a test di mutagenesi sui ceppi TA98 e TA100 di Salmonella typhimurium (metodo di incorporazione in piastra) in accordo con i metodi standard (Ames). Le piastre sono state trattate con 2, 4, 8 m<sup>3</sup> di particolato. I dati sono riportati come media dei revertenti per piastra ad ogni dose saggiata. Le barre con la linea rossa rappresentano i risultati significativamente diversi dal controllo (T/C > 2). Supersite = Frullo EST



**Fig.5** Comparazione degli effetti mutageni dei campioni invernali

I risultati ottenuti nel test della Cometa (fig 6) confermano sostanzialmente i dati ottenuti nel test di Ames, con i campioni estivi tutti negativi e con il campione Calamosco invernale unico positivo nel test.

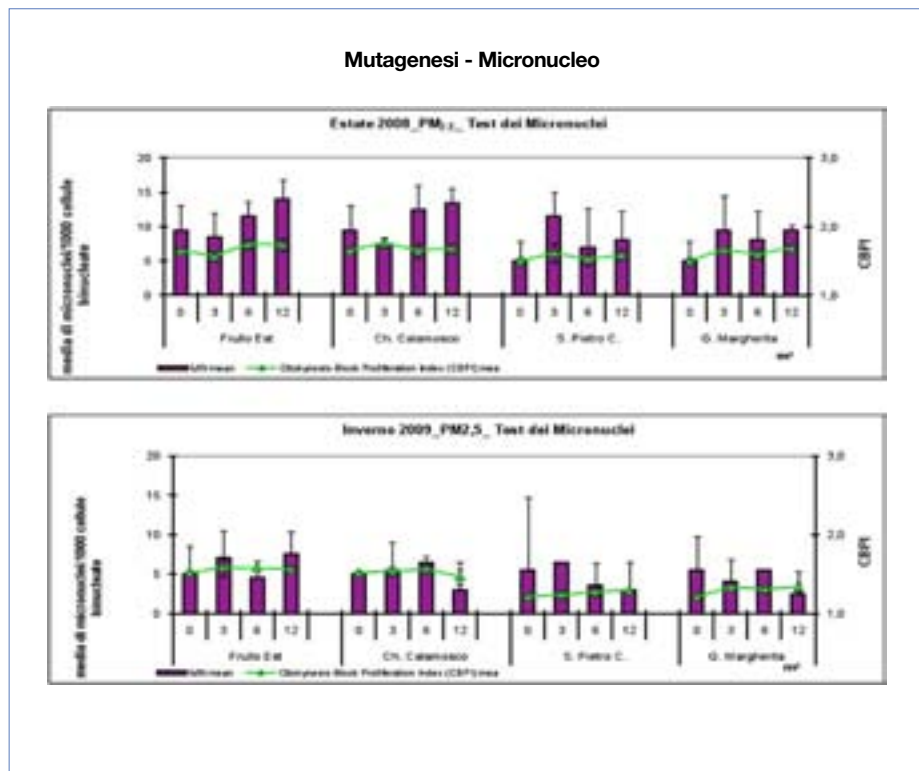
Tutti i campioni di PM2.5 prelevati in estate 2008 e in inverno 2009 non hanno indotto micronuclei in linfociti umani (fig. 7). L'indice di vitalità (CBPI) alle varie dosi non ha dimostrato variazioni, evidenziando la mancanza di attività tossica.



Corrispondenza peso particolato/volume trattamento

SITO	Estate 2008		Inverno 2009	
	m <sup>3</sup>	µg	m <sup>3</sup>	µg
Supersite	1,25	29,17	1,25	44,27
	2,5	58,33	2,5	88,54
	5,0	116,66	5,0	177,09
Chiesa Calamosco	1,25	26,38	1,25	43,09
	2,5	52,77	2,5	86,19
	5,0	105,53	5,0	172,37
S. Pietro Capofiume	1,25	17,37	1,25	41,71
	2,5	34,73	2,5	83,42
	5,0	69,46	5,0	166,83
Giardini Margherita	1,25	23,43	1,25	39,95
	2,5	46,86	2,5	73,91
	5,0	93,70	5,0	147,81

**Fig.6** Studio comparativo dell'attività mutagenica (Test della Cometa) di particolato raccolto nei quattro siti prescelti. Leucociti di donatori sani (10<sup>6</sup> leucociti/piastra) sono stati incubati con concentrazioni scalari (1.25, 2.5, 5 m<sup>3</sup>) di estratto per 1 h. Il DNA da cellule lisate, sottoposto a corsa elettroforetica su vetrino e marcato con bromuro di etidio viene osservato in fluorescenza. Il valore quantitativo del danno è dato dal coefficiente angolare delle rette di regressione dose-effetto dei campioni positivi e di quelli che presentano, comunque, un R<sup>2</sup> ≥ 0,60. La significatività viene calcolata rispetto al controllo non trattato tramite test della mediana. Supersite = Frullo Est



Corrispondenza peso particolato/volume trattamento

SITO	Estate 2008		Inverno 2009	
	m <sup>3</sup>	µg	m <sup>3</sup>	µg
Supersite	3	70,00	3	106,25
	6	139,99	6	212,51
	12	279,98	12	425,01
	3	63,32	3	103,42
Chiesa Calamosco	6	126,63	6	206,84
	12	253,26	12	413,68
	3	41,68	3	100,10
S. Pietro Capofiume	6	83,35	6	200,20
	12	166,70	12	400,39
	3	56,22	3	88,69
Giardini Margherita	6	112,45	6	177,38
	12	224,89	12	354,75

**Fig.7** Studio comparativo dell'attività mutagenica (test del micronucleo) di particolato raccolto nei quattro siti prescelti. Linfociti di donatori sani (10<sup>5</sup> leucociti/piastra) sono stati incubati con concentrazioni scalari (0, 3, 6, 12 m<sup>3</sup>) di estratto in due repliche indipendenti. Supersite = Frullo EST

I test di mutagenesi sono stati condotti anche su campioni di terreni naturali, prelevati negli stessi siti di prelievo dei campioni d'aria, e su terreni artificiali preparati in laboratorio e disposti negli stessi siti. Dai dati derivanti da tutti i test effettuati, tutti i campioni di suolo naturale, in entrambe le stagioni sono risultati positivi senza mostrare una più elevata mutagenicità a carico del campione Frullo Est. I suoli artificiali sono risultati generalmente negativi (dati riportati nella relazione finale di azione).

#### Cancerogenesi in vitro

Nel test di citotossicità gli estratti organici di particolato urbano raccolto sia nella stagione invernale che in quella estiva hanno indotto significativi effetti citotossici sulle cellule BALB/c 3T3 A31-1-1 (fig. 8).

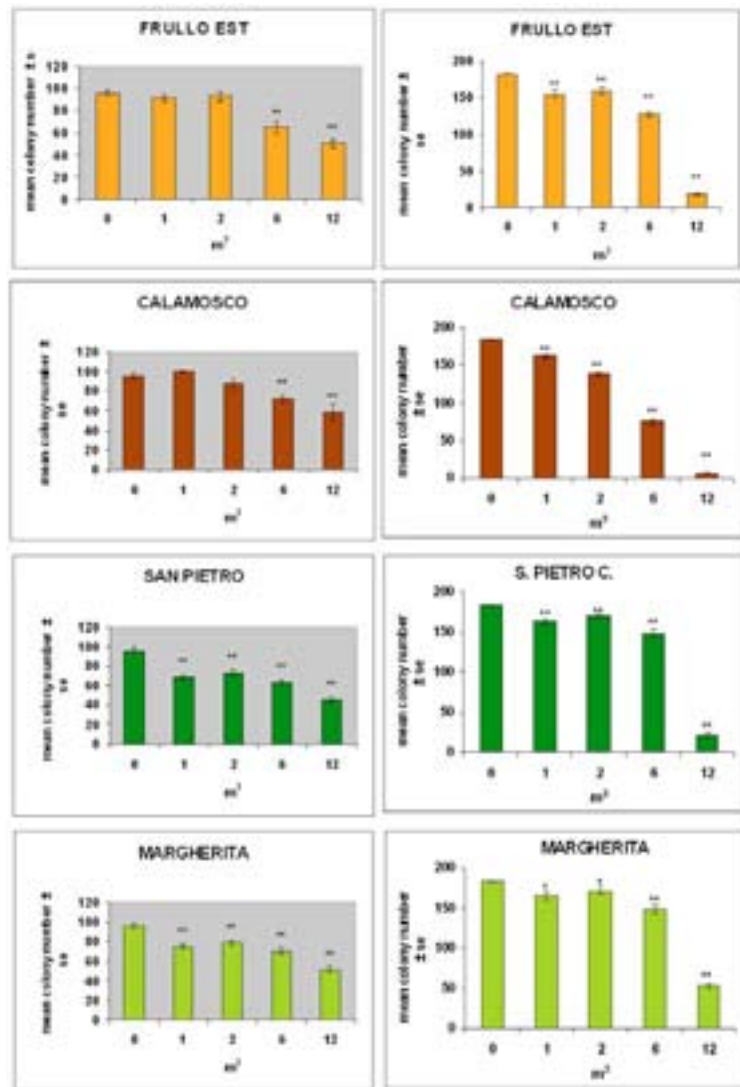
Tutte le dosi di estratto saggiato (1-2-6-12 m<sup>3</sup>) hanno determinato una riduzione significativa del numero medio di colonie/piastra nelle cellule BALB/c 3T3 A31-1-1, indipendentemente dal sito di provenienza.

Tuttavia, tutti i campioni raccolti nella stagione estiva sono risultati negativi nel test di trasformazione, predittivo per la cancerogenicità. Nello stesso test, i campioni raccolti nel sito di Calamosco e nel sito rurale di S. Pietro Capofiume sono invece in grado di indurre un significativo incremento della trasformazione cellulare alla dose più alta saggiata (fig 9).

Corrispondenza metri cubi e milligrammi di particolato utilizzato nell'esperimento relativa alle Figure 8 e 9

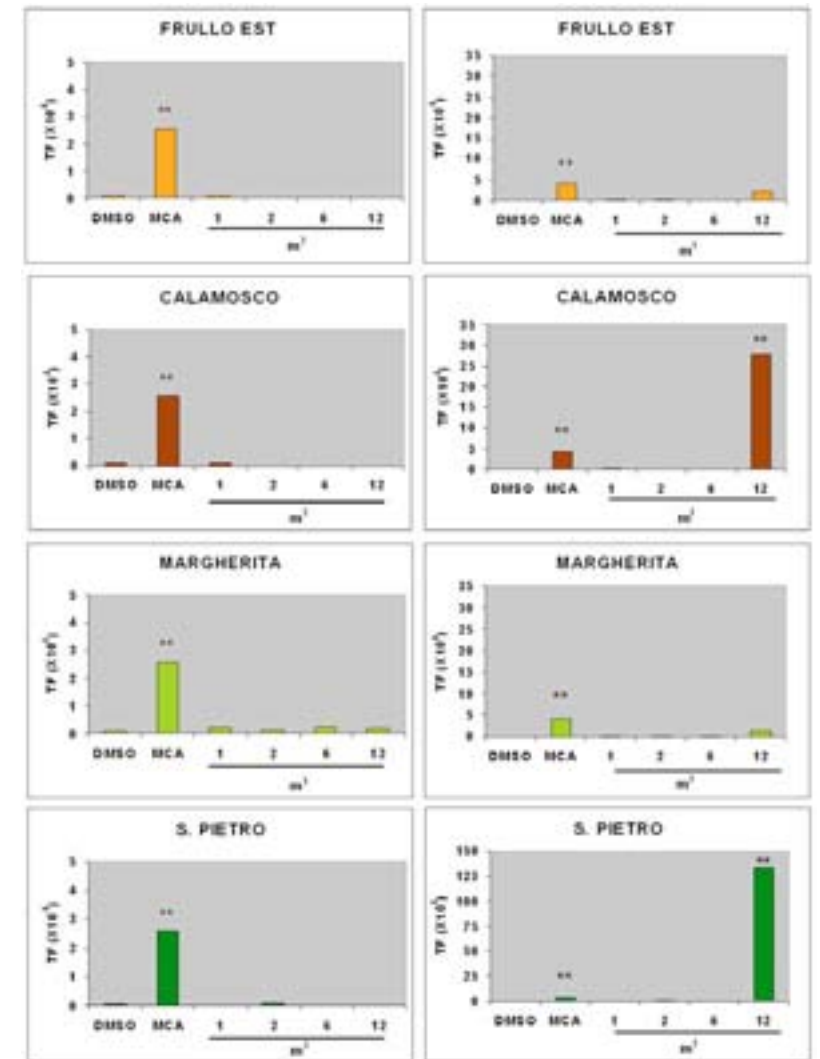
SITO	Estate 2008		Inverno 2009	
	m <sup>3</sup>	µg	m <sup>3</sup>	µg
Frullo Est	1	23,33	1	35,42
	2	46,66	2	70,83
	6	139,99	6	212,50
	12	280	12	425,01
	1	21,11	1	34,47
Calamosco	2	42,21	2	68,95
	6	126,63	6	206,84
	12	253,27	12	413,68
	1	18,74	1	29,56
Giardini Margherita	2	37,48	2	59,12
	6	112,45	6	177,37
	12	224,89	12	354,75
	1	13,89	1	33,37
S. Pietro Capofiume	2	27,78	2	66,73
	6	83,35	6	200,19
	12	166,70	12	400,39

Tossicità - Modello BALB/c 3T3



**Fig.8** Effetti citotossici misurati in cellule BALB/c 3T3 dopo esposizione a particolato raccolto nei quattro siti prescelti. Le cellule (250 cellule/piastra) sono state incubate per 48 ore con concentrazioni scalari di estratto. I dati sono riportati come numero di colonie per piastra e sono una media (±ES) di 5 repliche. Significatività statistica: \* p<0.05, vs controllo solvente, Student t test; \*\* p<0.01, vs controllo solvente, Student t test.

Trasformazione - Modello BALB/c 3T3



**Fig.9** Frequenza di trasformazione in cellule BALB/c 3T3 dopo esposizione a particolato raccolto nei quattro siti prescelti. Le cellule (30.000 cellule/piastra) sono state incubate per 48 ore con concentrazioni scalari di estratto. I dati sono riportati come Trasformation frequency (TF) un indice ricavato dal numero di foci maligni di origine monoclonale riscontrato in ogni trattamento per il numero delle cellule a rischio (cellule sopravvissute all'effetto tossico acuto dell'estratto). Significatività statistica: \*\* p<0.01, vs controllo solvente, Poisson rates comparison. MCA = 3-metilcolantrene, utilizzato come controllo positivo (cancerogeno) alla concentrazione di 2.5 µg/ml/piastra



In conclusione, in tutti gli endpoint biologici saggiati non si evidenziano differenze significative tra il profilo tossicologico tracciato per il sito di Frullo EST e quello del suo controllo Calamosco. Quest'ultimo, anzi, in molti test (rilascio Il1-beta, campione estivo, Ames campione invernale, Comet campione invernale, citotossicità e trasformazione nel modello BALB/c 3T3, campione invernale) è risultato il campione più efficiente nell'indurre effetti rilevabili.

Al di fuori della problematica relativa alle conseguenze della presenza dell'inquinatore, i test eseguiti evidenziano, comunque, un inquinamento generalizzato che coinvolge anche i siti teoricamente più "puliti" come San Pietro e Giardini Margherita. Il particolato in generale ha attività infiammatoria e anche pro-infiammatoria, come dimostrato in un esperimento condotto ad hoc in Azione 1 su particolato di origine urbana (PM10) e su un pool di PM2.5 prelevato durante le campagne di Monitor. La maggiore mutagenicità, nel test di Ames, dei campioni prelevati in inverno, conferma le osservazioni effettuate nel corso degli anni che hanno sempre evidenziato forti differenze stagionali.

### Profilo tossicologico da endpoint biomolecolari

La tossicogenomica studia in quale modo il genoma di un organismo risponde ai fattori ambientali di stress e agli inquinanti. La tossicogenomica combina la tossicologia con la genomica per comprendere il ruolo delle interazioni gene-ambiente nella insorgenza dei disturbi e delle patologie legate a specifiche esposizioni.

Una delle tecniche di tossicogenomica maggiormente impiegata per lo studio delle esposizioni ambientali è la trascrittomiche mediante l'utilizzo della tecnica di DNA microarray. Con questa tecnica è possibile riconoscere la variazione di espressione di migliaia di geni (l'intero genoma che, a seconda dell'organismo va da qualche migliaio di geni a decine di migliaia) in cellule che siano state esposte a singoli composti, chimici, miscele complesse di composti o, come nel caso di questo studio, a estratti di matrici ambientali. Con questo approccio è anche possibile ottenere elementi utili per identificare il modo d'azione o il meccanismo d'azione di composti chimici. Ogni esposizione determina uno specifico profilo trascrittomico, cioè modifica l'espressione di determinati geni. In questo progetto, è stata valutata l'espressione genica di tre diverse linee cellulari umane (T47D, HuMI, A549) e di una murina (BALB/c 3T3) in risposta

al trattamento con estratti di PM2.5 campionati nei siti Frullo Est, Calamosco e G. Margherita, sia durante la stagione estiva che invernale.

Per tutti i campioni è stata scelta una unica dose di trattamento pari a 8 m<sup>3</sup> ricavata da un preliminare test di citotossicità su tutte le linee cellulari prescelte e condotto con il campione Calamosco inverno, risultato più tossico negli esperimenti precedentemente descritti.

**Tab.5** Corrispondenza metri cubi e microgrammi di particolato utilizzato negli esperimenti di tossicogenomica

SITO	Estate 2008		Inverno 2009	
	m <sup>3</sup>	µg	m <sup>3</sup>	µg
Frullo Est	8	62,22	8	94,44
Calamosco	8	56,28	8	91,33
Giardini Margherita	8	49,98	8	78,83

La scelta del tempo di trattamento (4 ore) si è invece basata su dati di letteratura che dimostrano come dopo 4-6 ore di esposizione a miscele ambientali complesse si può, in molti sistemi cellulari, misurare una risposta trascrittomiche consistente e rappresentativa della risposta acuta della cellula all'insulto tossico. Le procedure di estrazione dell'RNA e di ibridazione sono riportate in dettaglio nella relazione finale di Azione 4.

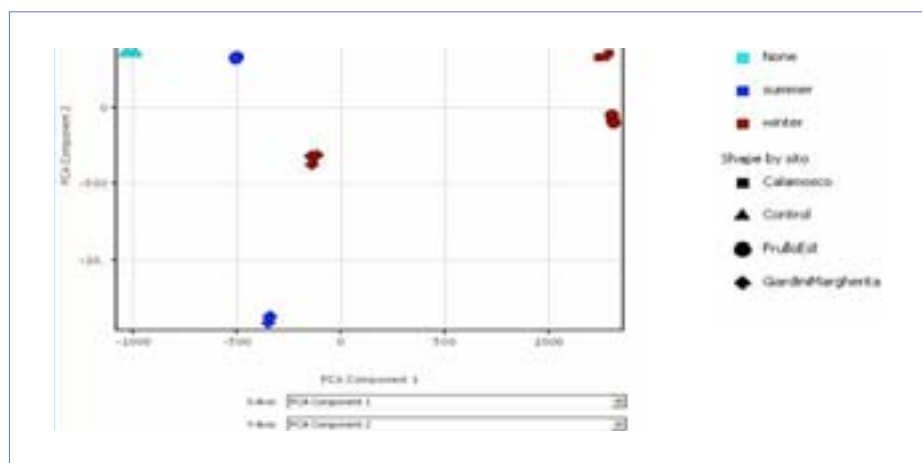
Qui di seguito verranno date alcune informazioni di base per orientare la lettura dei risultati, rimandando per gli opportuni approfondimenti alla relativa relazione.

#### Modello cellulare T47D

Questa linea cellulare (insieme alla linea Humi) fornisce un modello d'organo rappresentativo della mammella. In particolare, le cellule T47D hanno recettori per estrogeni, androgeni, prolattina, calcitonina, oltre al recettore aril-idrocarburo, offrendo, dunque, la possibilità di studiare miscele contenenti interferenti o perturbatori endocrini. In effetti, la linea T47D si è dimostrata particolarmente informativa. Per questa ragione i risultati relativi a questo modello saranno trattati con maggiore enfasi.

L'analisi statistica per verificare la significatività degli scostamenti dell'espressione genica nelle cellule esposte rispetto alle cellule non esposte è consistita in due test statistici. L'analisi di tutti i campioni è stata effettuata con One-way

ANOVA (ANalysis Of VAriance). In questa fase di analisi, è stata valutata l'espressione di alcuni dei principali marcatori di risposta a miscele ambientali complesse in modo da "misurare" e confrontare la sensibilità delle linee cellulari ai trattamenti con PM. Il profilo di espressione dei geni identificati tramite ANOVA ( $p < 0.01$ , Bonferroni) è stato utilizzato per ricavare, tramite Principal Component Analysis (PCA), le componenti principali che meglio descrivono i trattamenti. Questa analisi viene utilizzata quando si hanno a disposizione un numero elevato di variabili e si suppone che l'informazione relativa a queste variabili sia ridondante. Applicando l'analisi si riduce il numero di variabili, accorpando quelle che forniscono lo stesso tipo di informazione, fino ad avere due o tre componenti tra loro ortogonali. È un'analisi molto utile per visualizzare i risultati di un'analisi complessa, come quella ricavabile da esperimenti di microarray (in cui il numero di osservazioni per trattamento è numeroso quanto il numero di geni differenzialmente espressi) in uno spazio a tre o due dimensioni in modo da visualizzare le somiglianze e le differenze tra i vari campioni (fig. 10). In questa analisi si identifica una componente principale, che include la massima variabilità dei dati e una seconda componente, ortogonale alla prima con il resto dell'informazione. In questo modo si disegna uno spazio a due dimensioni (nel nostro caso) in cui i dati sono confrontati come raggruppamenti di variabili simili. Nella figura 10 i geni modulati sono raggruppati in base a due variabili: il sito dove è stato prelevato il campione e la stagione di campionamento.



**Fig 10.** Analisi delle componenti principali (PCA) in cellule T47D esposte agli estratti di particolato raccolto in tre siti prescelti. I dati sono il risultato di tre repliche biologiche. Il controllo è rappresentato da cellule non trattate

La risposta trascrizionale nella T47D è fortemente dipendente dalla stagione, soprattutto in Calamosco e FrulloEst. I due siti infatti tendono a raggrupparsi insieme, a seconda della stagione, mostrando un comportamento molto simile (fig. 10). Inoltre, i profili trascrizionali di Calamosco e FrulloEst nella stagione invernale sono, nel confronto con Giardini Margherita, decisamente più distanti e differenti dal controllo solvente.

Nella "two-sample analysis" è stato invece effettuato un confronto a coppie degli estratti Frullo Est vs G.Margherita, Calamosco vs G. Margherita e Frullo Est vs Calamosco approfondendo poi nei dettagli il significato biologico delle modulazioni trascrizionali. Questo confronto tra i trattamenti è stato effettuato con un t-test e confermato con LIMMA (Linear Models for Microarray Analysis) un altro approccio statistico specificamente disegnato per esperimenti di microarray.

Tenendo presente il marcato effetto della stagione nella risposta trascrizionale delle T47D si è deciso di mettere a confronto i trattamenti separando la stagione invernale da quella estiva.

In fig. 11 è riportato il numero di geni differenzialmente espressi per ogni confronto. L'analisi è stata effettuata con il t-test. Limma ha dato risultati sostanzialmente simili.

T47D (T-test, FDR<0.01, fold-change >1.2)						
	Inverno			Estate		
	Total	Up	Down	Total	Up	Down
Frullo EST vs G. Margherita	5329	2623	2706	6019	3069	2950
Calamosco vs G. Margherita	4850	2359	2491	6591	3628	2963
Frullo EST vs Calamosco	1261	541	720	358	180	178

**Fig 11.** Numero di geni differenzialmente espressi sulla base del T-test (FDR<0.01) e con un valore assoluto di fold-change maggiore di 1.2 nella linea T47D. FDR = false discovery rate, proporzione attesa di falsi positivi

Per l'interpretazione biologica dei dati, cioè per identificare il ruolo dei geni che risultano diversamente espressi nelle cellule esposte rispetto alle cellule non esposte, sono stati utilizzati due strumenti: Pathway Express (PE) e Gene Set Enrichment Analysis (GSEA). Per i dettagli metodologici si rimanda alla relazione finale.

Il quadro restituito dall'analisi PE nei campioni invernali non mostra differenze significative rispetto alle funzioni biologiche influenzate dall'esposizione ai campioni testati. Frullo Est e Calamosco differiscono tra loro per un numero esiguo di geni, mostrando, anche in questo approccio biomolecolare, che i campioni d'aria raccolti in questi due siti hanno un profilo tossicologico sostanzialmente simile e differiscono in egual misura dal profilo identificato per il campione Giardini Margherita (dati riportati nella relazione finale dell'Azione 4). La Gene Set Enrichment Analysis GSEA applicata agli stessi confronti tra siti ha permesso di confermare e ampliare queste osservazioni. Si evince che i campioni Frullo e Calamosco sono molto simili e entrambi differiscono da Giardini Margherita.

I risultati danno evidenza che la gran parte dei processi modulati sia in Frullo-Est che in Calamosco si raggruppano nei seguenti percorsi biologici:

- Attivazione del sistema immunitario e della risposta infiammatoria
- Regolazione della coagulazione ed emostasi
- Modulazione di processi di regolazione della crescita cellulare.

Tra i processi biologici identificati dalla analisi GSEA come significativamente arricchiti in Frullo e Calamosco rispetto a G.Margherita ritroviamo anche Female Pregnancy. Questo processo biologico raggruppa i trascritti che sono coinvolti nelle varie fasi della gravidanza. Poiché molta recente letteratura riporta una relazione fra inquinamento ambientale, soprattutto relativo alla matrice aria e alle componenti inquinanti derivanti dal traffico veicolare, e effetti sulla funzione riproduttiva, si è deciso di approfondire questo specifico Gene Set, identificando i geni che determinano l'arricchimento positivo nei differenti confronti (fig 12).

Female pregnancy analysis	Enrichment score: 1.9 FDR: 0.04 (p-value<0.01)	Enrichment score: 1.67 FDR: 0.17 (p-value<0.01)	Enrichment score: 1.62 FDR: 1 (p-value<0.01)
Gene description	Frullo vs Margherita	Calamosco vs Margherita	Frullo vs Calamosco
<b>angiotensinogen</b>	<b>AGT</b>	<b>AGT</b>	<b>HPGD</b>
<b>corticotrophin releasing hormone</b>	<b>CRH</b>	<b>CSH2</b>	<b>CRH</b>
<b>tachykinin 3 (neuromedin K, neurokinin beta)</b>	<b>TAC3</b>	<b>TAC3</b>	<b>PSG7</b>
<b>hydroxyprostaglandin dehydrogenase 15- (NAD)</b>	<b>HPGD</b>	PPARD	<b>PSG5</b>
<b>collagen, type XVI, alpha 1</b>	<b>COL16A1</b>	<b>CRH</b>	PSG4
<b>pregnancy-specific beta-1-glycoprotein 5 precursor</b>	<b>PSG5</b>	SPRR2D	<b>COL16A1</b>
<b>pregnancy-specific beta-1-glycoprotein 7</b>	<b>PSG7</b>	COL16A1	<b>AGT</b>
<b>pregnancy-specific beta-1-glycoprotein 9</b>	<b>PSG</b>	PRLHR	PSG11
<b>ghrelin/obestatin preprohormone</b>	<b>GHRL</b>	<b>ADM</b>	PSG8
<b>chorionic somatomammotropin hormone 2</b>	<b>CSH2</b>		<b>TAC3</b>
<b>adrenomedulin</b>	<b>ADM</b>		SCGB1A1
Fc fragment of IgG, receptor, transporter, alpha	FCGRT		PSG6
transcription factor CP2-like 1	TFCP2L1		PSG1
pregnancy-specific beta-1-glycoprotein 8	PSG8		<b>PSG9</b>
pregnancy-specific beta-1-glycoprotein 1	PSG1		SPRR2C
secretoglobin, family 1A, member 1 (uteroglobin)	SCGB1A1		<b>GHRL</b>
pregnancy-specific beta-1-glycoprotein 6	PSG6		GHSR
pregnancy-specific beta-1-glycoprotein 11	PSG11		
growth hormone secretagogue receptor	<b>GHSR</b>		
small praline-rich protein 2D	SPRR2D		

Fig 12. Lista dei geni che contribuiscono alla formazione di un fattore di arricchimento positivo (enrichment core genes) per il processo biologico Female Pregnancy nella GSEA.

Dall'elenco riportato si evidenzia che il confronto fra Frullo e Giardini è caratterizzato da un valore di arricchimento più alto. L'arricchimento del confronto Frullo vs Calamosco non è significativo secondo i criteri imposti in questo studio (FDR = 1). Una simile attenzione è stata posta anche al processo biologico "Coagulation", individuando i geni più importanti riportati in fig. 13.

"Coagulation" analysis	Enrichment score: 2.10 FDR: 0.012	Enrichment score: 1.54 FDR: 0.11	Enrichment score: 1.20 FDR: 0.75
Gene description	Frullo vs Margherita	Calamosco vs Margherita	Frullo vs Calamosco
plasminogen activator, tissue (PLAT)	<b>PLAT</b>	<b>PLAT</b>	GNAQ
tissue factor pathway inhibitor	<b>TFPI</b>	<b>F7</b>	<b>PLAT</b>
platelet factor 4 (chemokine (C-X-C motif) ligand 4)	PF4	<b>TFPI</b>	KNG1
coagulation factor VII	<b>F7</b>	GNAQ	<b>F2</b>
coagulation factor XII	F12	PF4	LMAN1
integrin, alpha 2	ITGA2	<b>F2</b>	THBD
coagulation factor II	<b>F2</b>	LMAN1	<b>F7</b>
protein S (alpha) (PROS1)	PROS1	F5	
plasminogen (PLG)	PLG	PLG	
Wiskott-Aldrich syndrome	WAS	F12	
von Willebrand factor (VWF)	VWF	WAS	
		C4BPB	
		TMPRSS6	

**Fig 13.** Lista dei geni che contribuiscono alla formazione di un fattore di arricchimento positivo (enrichment core genes) per il processo biologico Coagulation nella GSEA.

I risultati ottenuti nel modello T47D in risposta al trattamento con estratti invernali di particolato evidenziano che, in presenza di un bersaglio cellulare idoneo, l'esposizione a una qualche componente presente negli estratti attiva circuiti trascrizionali che convergono su geni coinvolti nella gravidanza e parto. Per le molecole ad attività ormono-simile, anche piccole modulazioni a livello trascrizionale possono produrre significativi affetti a livello fisiologico. Questo dato meriterebbe perciò ulteriori indagini sia per la conferma del dato in quanto tale (sulle T47D e sugli stessi estratti) sia per capire quanto sia generalizzabile e fisiologicamente rilevante nell'organismo umano.

I dati microarray relativi alla linea T47D trattata con gli estratti estivi sono stati analizzati con lo stesso approccio seguito per i dati della campagna invernale. Molti dei processi biologici evidenziati nell'analisi della campagna invernale ritornano anche nella campagna estiva, con la differenza sostanziale che il pathway Female Pregnancy non risulta coinvolto, suggerendo che le componenti inquinanti che lo attivano siano presenti solo nella stagione invernale

### Gli altri modelli cellulari

La linea di mammella HuMI ha risentito del forte effetto citotossico degli estratti in esame, che ha determinato uno spegnimento a carico di molti geni, tanto da non risultare particolarmente informativa. Infatti, già dopo solo 4 ore di trattamento con la dose 8 m<sup>3</sup> l'effetto trascrizionale prevalente nella popolazione cellulare trattata è quello di un massiccio arresto della proliferazione dovuta all'insulto tossico.

Tuttavia, in via generale la risposta nelle HuMI è abbastanza simile a quella che si osserva nella linea pneumocitaria A549, dove la citotossicità indotta dagli estratti è stata più modesta, e l'inibizione trascrizionale ha riguardato solo certi processi biologici relativi alla migrazione leucocitaria nei tessuti e ai sistemi di adesione tra cellule.

Nella linea murina BALB/c 3T3, è stato evidenziato un maggior effetto tossico da parte di Calamosco, con una attivazione anche dei marcatori di morte cellulare per apoptosi.

In conclusione, nonostante le differenze linea-dipendenti, gli estratti Frullo Est e Calamosco hanno un comportamento sempre piuttosto simile, che li differenzia da Giardini Margherita, con effetti più marcati a carico di Calamosco. Si può, dunque, concludere dai dati ottenuti in tutte le linee cellulari testate, che gli effetti osservati non sono diversi per Frullo rispetto al suo controllo Calamosco, suggerendo che non vi siano effetti direttamente e solamente ascrivibili all'attività dell'inceneritore.

### Predizione del rischio cancerogeno da esposizione

Il maggior contributo al raggiungimento di questo obiettivo è stato fornito dall'Azione 5, nell'ambito della quale è stata condotta un'analisi di tutti i dati ottenuti dalla caratterizzazione chimica dei campionamenti effettuati nelle due campagne, estesa, dove possibile, a tutti i siti considerati nel progetto Monitor e precisamente:

- Frullo Est e Frullo Ovest, siti di massima ricaduta,
- Calamosco e F19, siti di minimo impatto dell'inceneritore
- Giardini Margherita, fondo urbano
- Veduro, fondo rurale
- Pianeta, massima influenza di tutte le fonti

L'analisi è stata condotta per i campioni PM2.5 e PM1

I microinquinanti considerati sono stati:

- Idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e NitroIPA
- Diossine, furani e policlorurati bifenili (PCB) diossino-simili

Si tratta di miscele complesse, la cui composizione è difficile da definire completamente. Ai fini del calcolo del rischio, così come per fini normativi, ci si riferisce al composto più pericoloso di ogni classe considerata, per gli IPA e Nitro-IPA è rappresentato dal benzo(a)pirene, (B(a)P) cancerogeno, mentre per le diossine, furani e PCB è rappresentato dalla tetraclorodibenzo-p-diossina (TCDD), classificata come cancerogena in US-EPA e IARC. La stima di rischio è stata effettuata per ogni contaminante misurato trasformato in B(a)P equivalenti o TCDD equivalenti e per la somma di tutti i contaminanti misurati in ogni sito. Per i dettagli metodologici si rimanda alla relazione dell'Azione 5. Qui si ricorda che si considera comunemente che non ci sia un incremento di rischio di cancro dovuto a una esposizione quando il valore rilevato sia uguale o inferiore a  $1 \times 10^{-6}$ , valore che indica la probabilità che si verifichi un caso di tumore ogni milione di soggetti esposti

Le valutazioni sui dati raccolti nelle due campagne di monitoraggio sono così riassumibili:

1. IPA e NitroIPA sono stati considerati come totale di IPA oppure somma di quegli IPA e NitroIPA con un fattore di potenza cancerogena superiore al valore del composto di riferimento Benzo(a)pirene (B(a)P) e dei trasformati in BaP equivalenti). La concentrazione di questi composti, di PCB (totale, dioxin-like e non dioxin-like), di diossine e di furani nei campioni prelevati nei siti di massima ricaduta (Frullo est e Frullo ovest) non è risultata superiore rispetto ai campionamenti effettuati presso i siti di minima ricaduta (Calamosco e F19, che costituiscono i rispettivi controlli) in entrambe le campagne di monitoraggio (estiva 2008 e invernale 2009). Alla luce di tali osservazioni sperimentali e sulla base dei modelli di ricaduta valutati, l'impatto sulla qualità dell'aria dell'impianto di termovalorizzazione di Bologna sembra non sussistere.

2. Confrontando le misurazioni di IPA e NIPA effettuate nelle due campagne di monitoraggio si osserva un (atteso) aumento nella concentrazione di tali

contaminanti di circa un ordine di grandezza durante la stagione invernale 2009, analogamente ai valori trasformati in B(a)P equivalenti. I livelli di PCB, invece, risultano simili e paragonabili nei due differenti periodi di campionamento. Per quanto riguarda le concentrazioni di diossine e furani si osserva un aumento significativo nella campagna invernale rispetto a quella estiva ma, in seguito alla trasformazione del dato in tetraclorodibenzo-p-diossina (TCDD) equivalenti, valore più predittivo per gli effetti tossici, tale significatività viene persa. Di nuovo non si osservano nei siti di massima ricaduta (Frullo est e Frullo ovest) valori superiori ai siti dei controlli (rispettivamente Calamosco e F19).

3. In riferimento alla valutazione del rischio cancerogeno si può affermare che i livelli di B(a)P misurati in entrambe le campagne di monitoraggio sono inferiori al valore limite posto su base annua (1 ng/mc) presente nel riferimento normativo (D.Lgs 152/07). In particolare le concentrazioni di B(a)P misurate durante la campagna di monitoraggio estiva sono di 2 ordini di grandezza inferiori rispetto a tale limite e quelle relative alla campagna invernale sono inferiori di circa 1 ordine di grandezza al limite di legge. Se si considera l'esposizione al solo B(a)P la stima di rischio cancerogeno resta sempre almeno un ordine di grandezza al di sotto del valore comunemente considerato quale espressione di assenza di eccesso di rischio ( $1 \times 10^{-6}$ ) (fig. 14A). La somma di IPA e NitroIPA, trasformati in B(a)P equivalenti porta a una stima di rischio di  $1 \times 10^{-4}$  nella stagione invernale (fig. 14B), senza differenze fra il sito dell'inceneritore e del suo controllo. Per quanto riguarda gli IPA, rileviamo dunque che un rischio di eccesso di tumori esiste, anche se non direttamente dipendente dall'attività dell'inceneritore, ma si rende evidente solo quando si sommano le concentrazioni di tutti gli inquinanti presenti nella miscela (fig 14B).

4. La stima del rischio cancerogeno relativa al valore trasformato in TCDD equivalenti non mostra differenze nelle due campagne (estiva ed invernale). La stima del rischio tumorale è sempre inferiore a 1 su 1 milione (considerato assenza di eccesso di rischio), anche quando si sommano le concentrazioni di tutti gli inquinanti misurati (fig 15). Non si evidenziano differenze significative tra il Frullo e il suo controllo (Calamosco), la cui stima

anzi risulta leggermente superiore, Si rimarca che si tratta di miscele complesse, comprendenti, oltre alla diossina TCDD, altri composti policlorurati diossino-simili e che le stime di rischio non possono tener conto delle possibili interazioni. Tuttavia la stima effettuata sommando tutti i composti con meccanismo d'azione simile dovrebbe rendere conto del possibile effetto additivo.

Rischio di cancro (A)		
PM <sub>2.5</sub>	Estate	Inverno
	B(a)P	B(a)P
Frullo est	1.10 x10 <sup>-8</sup>	3.99 x10 <sup>-7</sup>
Calamosco	1.43 x10 <sup>-8</sup>	10.22 x10 <sup>-7</sup>
Frullo ovest	1.21 x10 <sup>-8</sup>	1.94 x10 <sup>-7</sup>
F19	1.98 x10 <sup>-8</sup>	3.72 x10 <sup>-7</sup>
Castenaso	1.32 x10 <sup>-8</sup>	3.31 x10 <sup>-7</sup>
Margherita	0.99 x10 <sup>-8</sup>	2.96 x10 <sup>-7</sup>
Pianeta	1.76 x10 <sup>-8</sup>	2.09 x10 <sup>-7</sup>
Veduro	0.44 x10 <sup>-8</sup>	4.42 x10 <sup>-7</sup>

Rischio di cancro (B)		
PM <sub>2.5</sub>	Estate	Inverno
	B(a)P eq.	B(a)P eq.
Frullo est	0.93 x10 <sup>-5</sup>	1.04 x10 <sup>-4</sup>
Calamosco	0.58 x10 <sup>-5</sup>	2.15 x10 <sup>-4</sup>
Frullo ovest	0.75 x10 <sup>-5</sup>	0.64 x10 <sup>-4</sup>
F19	1.04 x10 <sup>-5</sup>	0.88 x10 <sup>-4</sup>
Castenaso	0.61 x10 <sup>-5</sup>	0.85 x10 <sup>-4</sup>
Margherita	0.51 x10 <sup>-5</sup>	0.65 x10 <sup>-4</sup>
Pianeta	0.61 x10 <sup>-5</sup>	1.35 x10 <sup>-4</sup>
Veduro	0.42 x10 <sup>-5</sup>	1.17 x10 <sup>-4</sup>

**Fig 14.** Valori di rischio cancerogeno in relazione all'inalazione cronica (per tutta la vita) del solo B(a)P (A) o della somma di tutti gli IPA e NitroIPA, espressi in benzo(a)pirene-equivalenti (B) in relazione alla concentrazione rilevata nei vari siti.

Rischio di cancro				
PM <sub>2.5</sub>	Estate	Inverno	Estate	Inverno
	PCB totali		CDD+PCDF+DL-PCB TCDD eq.	
Frullo est	4.27 x10 <sup>-8</sup>	6.05 x10 <sup>-8</sup>	6.59 x10 <sup>-7</sup>	6.77 x10 <sup>-7</sup>
Calamosco	3.59 x10 <sup>-8</sup>	7.34 x10 <sup>-8</sup>	6.54 x10 <sup>-7</sup>	9.23 x10 <sup>-7</sup>
Pianeta	4.20 x10 <sup>-8</sup>	6.68 x10 <sup>-8</sup>	5.99 x10 <sup>-7</sup>	9.01 x10 <sup>-7</sup>

**Fig 15.** Valori di rischio cancerogeno in relazione all'inalazione cronica (per tutta la vita) di PCB o della somma di tutte le diossine e composti diossino simili, espressi in tetracloodiossina equivalenti in relazione alla concentrazione nei vari siti.

5. I valori di rischio stimato sono compatibili con la negatività dei campioni analizzati nell'Azione 3 della LP 5 nel saggio di trasformazione in vitro con il modello cellulare BALB/c 3T3 A31-1-1 la cui sensibilità è dell'ordine di 1 su 10.000. Relativamente all'approccio alle diossine (TCDD-equivalenti) tramite TDI (tolerable daily intake), la dose derivante dall'inalazione è in tutti i casi simile e inferiore al TDI di più di 2 ordini di grandezza. In altri termini, valori così bassi di diossine inalate non costituiscono un problema sanitario.

In conclusione, non si registra con l'analisi effettuata un eccesso di rischio imputabile all'impianto di incenerimento considerato.

### Considerazioni generali e raccomandazioni

I risultati ottenuti nella LP 5 sono concordi nel mostrare un profilo tossicologico simile, anche se non completamente identico, nei campioni di aria prelevati nel sito di massimo impatto dell'inceneritore (Frullo Est) e nel sito appartenente allo stesso dominio, ma non interessato dalla ricaduta dei fumi dell'impianto (Calamosco). Molti indici, anzi, imputano al sito Calamosco un'attività tossicologica più elevata. Anche l'analisi dei microinquinanti rilevati in tutti i siti dove è stata eseguita la raccolta dei campioni e la caratterizzazione chimica del particolato non mostra situazioni preoccupanti legate alla predizione di un eccesso di rischio di tumori imputabili all'attività dell'impianto di incenerimento. Potremmo, dunque, concludere che al quesito principale, alla base del disegno dello studio della LP 5 e relativo alla valutazione di rischi futuri per la sa-

lute umana della popolazione attualmente residente nelle aree interessate da inceneritori, si può rispondere che l'inceneritore, dai risultati di questo studio, non incrementa il rischio di tumori.

Va, tuttavia, considerato che l'impianto di incenerimento oggetto dello studio (Frullo) è un impianto relativamente nuovo (entrato in funzione nel 2005, in sostituzione del vecchio impianto), sottoposto, come tutti gli impianti in esercizio, a un monitoraggio permanente. Sul Frullo inoltre il monitoraggio si estende anche all'aspetto tossicologico. Se da un canto questo aspetto indica un modello da seguire per minimizzare l'impatto ambientale degli inceneritori, dall'altro rende palese che questi risultati non possono essere generalizzati a impianti più vecchi e più impattanti, ma si prestano a una inferenza su impianti con le stesse caratteristiche di quello studiato.

Preme, comunque, sottolineare alcuni aspetti di innovazione che questa linea di ricerca offre.

L'approccio integrato dell'analisi tossicologica con un endpoint di infiammazione, tre endpoints, a complessità crescente, di mutagenesi, un endpoint di cancerogenesi in vitro ben si inserisce nella pressante richiesta da parte della Unione Europea di sviluppo di test alternativi per la predizione del rischio e offre un modello spendibile in più matrici e situazioni ambientali. L'elevata ripetibilità dei test, corredata da serie storiche, patrimonio dei singoli laboratori partecipanti, rende possibile, anche in futuro, indagare e comparare altre fonti e altre componenti. In Azione 1, fra l'altro, è stato messo a punto un biosensore che costituirà un altro sensibile e specifico strumento per misurare gli stadi più precoci della risposta infiammatoria all'insulto ambientale.

L'analisi tossicogenomica, già ampiamente considerata sia nella letteratura scientifica che nella normativa europea vigente (es Reg CE 1907/2006 (REACH), Reg CE 1223/2009 (Cosmetici)) quale strumento innovativo e potente per la predizione del rischio di composti chimici, già applicata da altri ricercatori in studi relativi all'inquinamento generalizzato dell'aria, ha dimostrato, anche in questo studio, di essere uno strumento versatile, in grado di discriminare fra più fonti, di individuare marcatori di esposizione e di predizione del rischio e di consentire una lettura a più moduli dei risultati. È stato inatteso, ma non sorprendente, che i risultati ottenuti nel modello mammario più sensibile, con recettori per sostanze ad attività ormonale o ormono-simile, portino l'attenzione su possibili effetti sulla fisiologia del parto di inquinanti

presenti nell'aria, che tuttavia non sembra di potere attribuire alle emissioni dell'inceneritore.

La valutazione del rischio ha consentito una interpretazione più estesa della caratterizzazione chimica dei microinquinanti e ha rafforzato i risultati ottenuti nelle indagini eseguite con gli approcci biologici e biomolecolari.

Va, comunque, detto che - ai fini della conoscenza dei rischi ambientali (non solo quelli causati dall'inceneritore) della popolazione residente - l'indagine fin qui eseguita non può ritenersi completa ed esaustiva.

Manca, per esempio, un'analisi altrettanto dettagliata di altre fonti inquinanti e a maggiore impatto, quale il traffico veicolare, da comparare ai profili tossicologici e genici ottenuti per i siti oggetto dello studio, e in particolare modo i siti Frullo Est e Calamosco, e da includere nella procedura di valutazione del rischio. Una indagine futura non può prescindere da questa preziosa informazione per comprendere la reale entità degli effetti osservati negli studi di tossico genetica e quantificarne il peso all'interno di una più generale esposizione ad aria inquinata.

I metodi utilizzati nei test biologici potrebbero essere completati aggiungendo lo studio di altre variabili all'interno dell'esperimento. Per esempio, lo studio della cancerogenesi in vitro potrebbe avvantaggiarsi di uno schema sperimentale di iniziazione/promozione, che risulta molto utile in caso di esposizioni a basse dosi a cancerogeni non mutageni o a cancerogeni incompleti. Nello studio di tossicogenomica sarebbe molto utile poter inserire uno schema sperimentale a più dosi e con una esposizione prolungata e a più tempi (time-course), che risulta essere sempre molto informativa sulla risposta stadio-temporale della cellula.

Di tutto ciò si dovrebbe tenere conto nell'eventualità di studi successivi al progetto Monitor.

Riteniamo, comunque, che il lavoro svolto e i risultati raggiunti non soddisfino solo gli obiettivi della linea, ma anche l'assioma di partenza che poneva la condizione di utilizzare al meglio le tecnologie più avanzate e gli approcci più innovativi per indagare ciò che prima non era stato indagato.

## LINEA PROGETTUALE 6

Definizione di un protocollo  
per la Valutazione di  
impatto sanitario

**Responsabile:** Marinella Natali, Regione Emilia-Romagna,  
Servizio Sanità pubblica

**Azione 1-** Modelli, applicazioni, simulazioni  
Responsabile: Fabrizio Bianchi (CNR, Pisa)

**Azione 2 -** Comunicazione  
Responsabile: Liliana Cori (CNR, Roma)

**Azione 3 -** Stesura linee guida  
Responsabile: Manuela Bedeschi (Azienda Usl di Reggio Emilia, Dipartimento  
di Sanità Pubblica)

### **Enti coinvolti:**

Regione Emilia-Romagna (Servizio Sanità Pubblica, Servizio Valutazione  
impatto e promozione sostenibilità ambientale)  
Azienda Usl di Reggio Emilia, Dipartimento di Sanità Pubblica  
Azienda Usl di Rimini, Dipartimento di Sanità Pubblica  
Azienda Usl di Forlì  
Arpa Emilia-Romagna (Direzione tecnica, Centro tematico regionale  
Ambiente e Salute)  
CNR Pisa  
CNR Roma



La Valutazione di Impatto Sanitario (VIS) è un percorso che aiuta ad integrare in modo sistematico le conoscenze relative agli effetti sulla salute nella valutazione di politiche, programmi e progetti nei settori non strettamente sanitari (economia, istruzione, ambiente, trasporti, ecc.). La Linea progettuale 6 (LP 6) del Progetto Monitor ha elaborato un modello di VIS per nuovi impianti di incenerimento, una procedura di VIS applicabile a piani e programmi o progetti diversi da nuovi impianti di incenerimento e una prima applicazione della procedura di VIS per la pianificazione dell'ambiente costruito. La ricerca effettuata dalla LP 6, infatti, ha prodotto modelli di VIS adattati alle specificità del contesto regionale. Il percorso effettuato si è articolato in un'ampia analisi della letteratura ha portato all'identificazione delle tipologie di VIS in uso oggi nel mondo; partendo da queste diversi round di consultazione di esperti hanno definito quali sono le caratteristiche salienti di un modello di VIS per la Regione Emilia-Romagna; il modello è poi stato testato in modo sperimentale su un caso reale di un impianto di incenerimento (inceneritore del Frullo, Granarolo dell'Emilia, BO) ed infine esteso a progetti, politiche e programmi.

Obiettivo generale della linea progettuale 6 (LP 6) del progetto Monitor è l'elaborazione di un modello di VIS applicabile a progetti di impianti di incenerimento o combustione di futura realizzazione.

La VIS è un percorso che aiuta ad integrare in modo sistematico le conoscenze relative agli effetti sulla salute nella valutazione di politiche, programmi e progetti nei settori non strettamente sanitari (economia, istruzione, ambiente trasporti, ecc.). Essa rappresenta al tempo stesso un aiuto alla decisione per i responsabili politici ed un mezzo per responsabilizzare gli attori implicati (stakeholders). Caratteristiche essenziali della VIS sono il sostegno al processo decisionale nella scelta tra opzioni diverse, mediante la previsione delle conseguenze per la salute delle comunità coinvolte dalle differenti opzioni che possono essere realizzate, e la partecipazione dei portatori di interessi. La VIS, infatti, è un percorso che coinvolge le persone che possono subire conseguenze e sono interessate alle decisioni in discussione.

La LP 6 di Monitor si è articolata in 3 azioni ed i prodotti sotto indicati, quando non diversamente specificato, sono disponibili nel sito di progetto ([www.arpa.emr.it/monitor](http://www.arpa.emr.it/monitor)) e pubblicati nel volume "La Valutazione di impatto sulla salute, un nuovo strumento a supporto delle decisioni" (collana di documentazione Quaderni di Monitor, 02/2010, Bologna, ottobre 2010).

## Azione 1. Modelli, applicazioni, simulazioni

### Obiettivi

Costruzione di un modello di VIS per la valutazione degli impatti di salute in popolazioni esposte ad inquinamento da impianti di incenerimento dei rifiuti, adattato al contesto regionale.

### Attività effettuate

Una prima parte di lavoro ha portato alla raccolta e analisi della letteratura sulla VIS a livello internazionale e all'identificazione dei vari approcci utilizzati nei diversi modelli di VIS ad oggi disponibili. I modelli, raggruppati per tipologia (approccio socioeconomico di tipo anglosassone, approccio biomedico/quantitativo di tipo tedesco, approccio equity oriented tipicamente UK), sono poi stati rielaborati in un questionario e proposti ad un gruppo di 6 "esperti" regionali e non,

i quali hanno identificato, in base alla propria esperienza, le caratteristiche essenziali di un modello di VIS da applicarsi al territorio regionale. La seconda fase sperimentale della ricerca ha visto l'applicazione del modello identificato dal lavoro della fase precedente ad un caso concreto (con metodologia Metaplan, metodo che nasce e si diffonde in Germania negli anni '70 grazie al lavoro dei fratelli Wolfgang ed Eberhard Schnelle; si tratta in sintesi di un metodo di facilitazione particolarmente attento alla gestione dei processi di comunicazione nei gruppi di lavoro, basato sulla raccolta di opinioni dei partecipanti e la loro successiva organizzazione in blocchi logici fino alla formulazione di piani di azione in cui sono evidenziate problematiche rilevate e possibili soluzioni) per effettuare una valutazione partecipata degli impatti, ed infine una validazione del modello stesso tramite tre round di Delphi che hanno coinvolto un ulteriore gruppo di esperti. Nel Report finale dell'Azione 1 della LP 6 di Monitor (giugno 2009) sono contenute tutte le informazioni di dettaglio relative alle procedure descritte.

## Risultati

Modello di VIS per impianti di incenerimento.

## Azione 2. Comunicazione nella VIS

### Obiettivi

L'azione 2 ha considerato gli aspetti comunicativi e inclusivi del modello di VIS e prodotto raccomandazioni specifiche.

### Attività effettuate

È stato intrapreso un esame della letteratura sulla VIS relativamente alla comunicazione; sono state poi effettuate interviste ai collaboratori delle Linee Progettuali di Monitor per esplorare i temi della comunicazione e le conoscenze in materia di VIS. Le interviste realizzate a 12 componenti di 6 delle linee progettuali di Monitor hanno permesso di esplorare i punti di vista in merito alle attività di informazione e comunicazione e le competenze in materia di VIS, per meglio definire la metodologia VIS in materia, e per mirare le attività di formazione e informazione relative al progetto. Una serie di elementi utili sono: l'esistenza di esperienze articolate in materia, di competenze e strumenti e quindi di una domanda/necessità di comunicazione. Si esplicita la contraddizione di istituzioni

che "comunicano in quanto esistono" in maniera però non sufficientemente esplicitata o strutturata, e quindi non includono una policy o delle linee guida, e di persone che si trovano ad operare senza strumenti adeguati (limitato finanziamento, scarsa valutazione indipendente delle attività). C'è ampio accordo tra gli intervistati sulla centralità della comunicazione, ma interessanti specifiche che riguardano la fase di presa delle decisioni, che si sostiene vanno lasciate ai tecnici, per il timore di "rallentare o addirittura in certi casi bloccare il processo decisionale", in particolare nel caso delle decisioni sugli inceneritori. C'è una diffusa apertura alla trasparenza, alla continuità e all'approfondimento tecnico, e la netta sensazione che i cittadini vadano seguiti e assicurati garantendo i controlli. Minore disponibilità reale nei confronti della partecipazione pubblica. Conoscenze, opinioni, applicabilità e legislazione in materia di VIS sono state esplorate. La conoscenza dello strumento VIS è generica. L'utilità della VIS è indicata in modo positivo, e non si limita al caso di impianti, ma è indicata come strumento per le strategie, così come avviene in ambito europeo. Le istituzioni che possono attivare un percorso di VIS rappresentano un problema aperto, così come le aperture effettive in materia di partecipazione pubblica. L'applicabilità della VIS nella legislazione è considerata centrale e possibile a livello regionale, almeno per una fase iniziale, con i dubbi relativi al possibile aggravio di procedure.

## Risultati

Raccomandazioni relative alla comunicazione nella VIS. Le indicazioni e opportunità di approfondimento riferite alla VIS sono: rafforzare le attività di formazione sulla VIS e applicazione a casi concreti di collocazione di nuovi inceneritori, con particolare riferimento a partecipazione pubblica, valutazione e feedback del percorso in termini di aumento della responsabilità, trasparenza e qualità della presa di decisioni.

## Azione 3. Definizione di un protocollo per la VIS

### Obiettivi

Redazione di un protocollo di VIS, sulla scorta delle indicazioni emerse dalle Azioni 1 e 2.

### Attività effettuate

Il gruppo di lavoro del progetto Monitor, ha sviluppato a partire dal modello di cui sopra, un protocollo per svolgere la VIS su diverse tipologie di oggetti che possa essere utilizzato localmente sul territorio regionale.

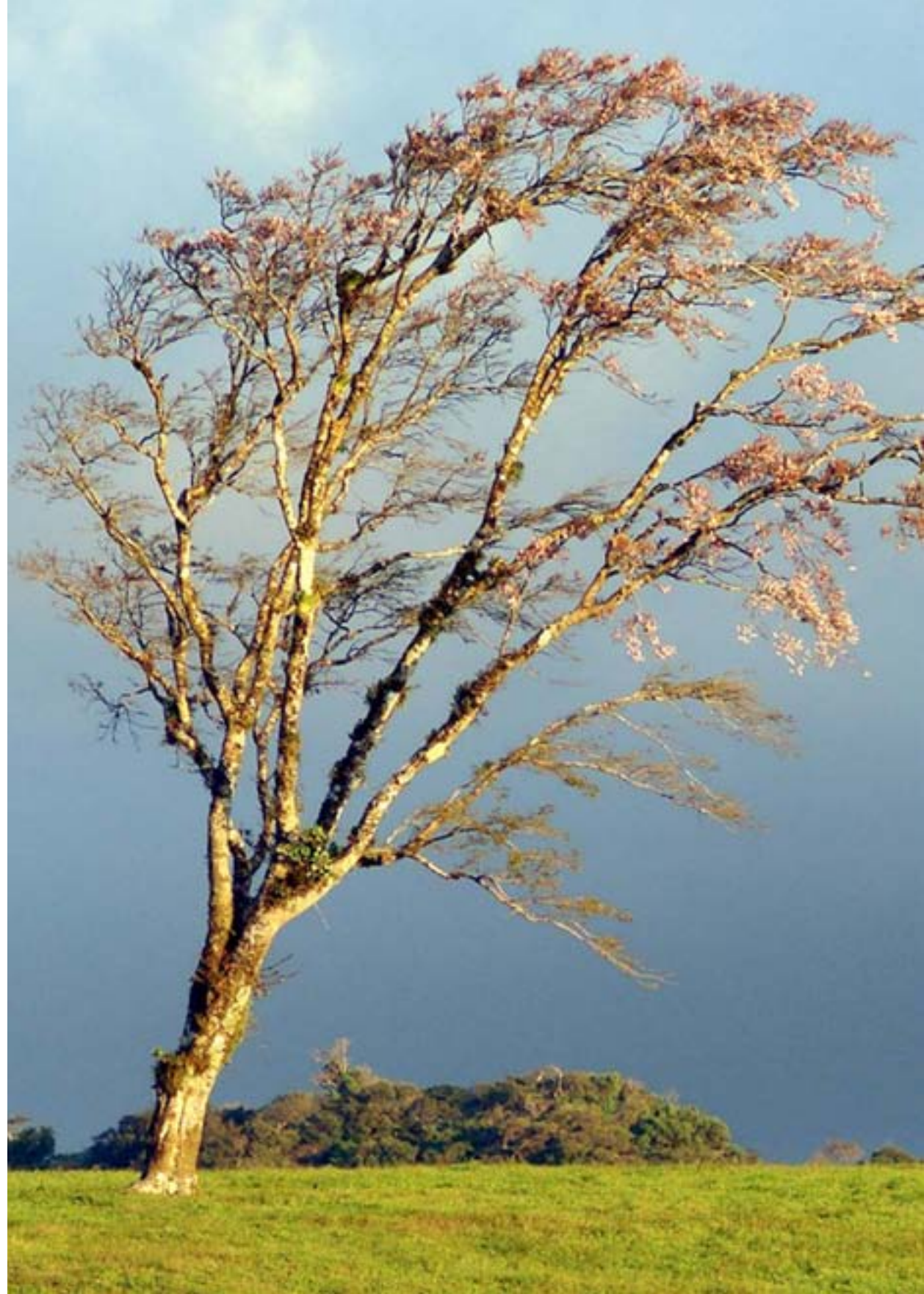
### Risultati

Il percorso ha portato all'elaborazione di:

- un modello di VIS applicabile a progetti e politiche;
- un modello di VIS che è stato incluso nelle Linee Guida per l'ambiente costruito prodotte dalla Regione Emilia-Romagna<sup>1</sup>.

Un ulteriore sviluppo derivato dal progetto Monitor è il progetto Valutazione di Impatto sulla Salute per la Pubblica Amministrazione (VISPA), coordinato dal Servizio sanità pubblica della Regione Emilia-Romagna, che ha l'obiettivo di verificare "sul campo" il protocollo VIS elaborato nell'ambito di Monitor. Finanziato dal Centro nazionale per la prevenzione ed il controllo delle malattie (Ministero della Salute), il progetto coinvolge sei regioni, per un totale di 38 operatori dei Dipartimenti di sanità pubblica, che nel corso del 2011 hanno applicato il protocollo VIS elaborato da Monitor ai casi che hanno valutato in Conferenza dei servizi.

1. Nel 2007 si sono avviati infatti i lavori per la stesura delle Linee Guida per il miglioramento dell'ambiente costruito e la promozione della salute, quale ulteriore approfondimento dei contenuti socio-sanitari individuati nel documento "Individuazione dei contenuti conoscitivi e valutativi nei processi di pianificazione previsti dalla L.R. 24 marzo 2000 n. 20". In tale contesto la VIS rappresenterebbe un innovativo strumento di valutazione in grado di valutare la coerenza tra gli impatti prodotti dall'ambiente costruito (e anche, singolarmente, dai diversi oggetti che lo compongono) e la promozione della salute dei cittadini, considerata in senso estensivo in termini di possibilità di adottare stili e condizioni di vita sani.



# LINEA PROGETTUALE 7

## Comunicazione

**Responsabile: Paolo Tamburini, Regione Emilia-Romagna**

**Azione 1** - Comunicazione generale del progetto “sorveglianza inceneritori”

Responsabile: Mauro Bompani (Arpa Emilia-Romagna)

**Azione 2** - Repertorio informativo e documentazione

Responsabile: Francesco Saverio Apruzzese (Arpa Emilia-Romagna)

**Azione 3** - Progettazione di modelli e protocolli di comunicazione e gestione dei conflitti

Responsabile: Enrico Cancila (ERVET)

**Azione 4** - Comunicazione sul rischio

Responsabile: Francesco Saverio Apruzzese (Arpa Emilia-Romagna)

### **Enti coinvolti:**

Regione Emilia-Romagna (Servizio Comunicazione, educazione alla sostenibilità)

Arpa Emilia-Romagna (Area comunicazione, Centro tematico regionale Ambiente e salute, Servizio Sviluppo organizzativo, formazione, educazione ambientale)

ERVET (Area Politiche per lo Sviluppo sostenibile)

Università di Modena e Reggio Emilia (Dipartimento di Scienze di sanità pubblica, Dipartimento di Biologia animale, Dipartimento di Scienze biomediche, Dipartimento di Scienze sociali, cognitive e quantitative)

La Linea progettuale 7 aveva lo scopo generale di **migliorare l'accesso alle informazioni sugli inceneritori e il processo di comunicazione sul rischio per la salute collettiva e l'ambiente coinvolgendo la pubblica amministrazione, le imprese, i cittadini**. La consapevolezza di partenza era duplice: da un lato la necessità di integrare il metodo e gli strumenti comunicativi con l'insieme della ricerca, il dibattito e la governance in tema di inceneritori; dall'altro la necessità di accrescere il coinvolgimento responsabile degli attori sociali ed economici. Due obiettivi complessivi sui quali la Linea progettuale 7 e le sue azioni hanno sperimentato ed elaborato modelli e proposte che consentono di fare alcuni passi in avanti, ma che necessitano, data la loro portata, di essere ulteriormente sviluppati.

La Linea progettuale 7 "Comunicazione", a differenza degli altri ambiti di ricerca di Monitor, aveva una **caratteristica trasversale e di servizio all'intero progetto Monitor**. Nel suo insieme ha sviluppato azioni utili a divulgare i risultati dell'intero progetto attraverso strumenti comunicativi web, multimediali e cartacei, congiuntamente ad attività di documentazione, formazione e project-work mettendo a disposizione di enti locali e attori sociali strumenti di comunicazione, valutazione e gestione dei rischi e conflitti ambientali.

La Linea progettuale 7 era divisa in quattro azioni: la prima ha sviluppato la comunicazione generale interna ed esterna a supporto del progetto Monitor; la seconda ha creato un servizio di documentazione e repertorio di esperienze a supporto dell'insieme dei ricercatori di Monitor; la terza, partendo da un ricognizione della situazione regionale in materia di comunicazione e coinvolgimento degli stakeholders, ha consentito di isolare i criteri di riferimento per la progettazione di modelli e protocolli di comunicazione e gestione dei conflitti ambientali, nonché di realizzare attività divulgative e formative per gli stakeholders; la quarta azione ha consentito di realizzare una ricognizione sui principali modelli di analisi della percezione del rischio e di sperimentarli in alcuni focus group sui territori con gli attori interessati dalla presenza degli inceneritori.

## Azione 1. Comunicazione generale del progetto Monitor

L'Azione 1 si configura come un'attività a professionalità specifiche (realizzazione sito internet, ufficio stampa, produzione di materiali cartacei, organizzazione eventi, ecc.) a supporto delle attività tecnico scientifiche e attiva anche dopo la conclusione del progetto. Essa presenta dunque una diversità strutturale rispetto alle altre tre azioni, tutte con goal specifici raggiunti con la redazione di report e pubblicazioni, analogamente alle altre attività di tipo tecnico scientifico.

La comunicazione di Monitor, sia durante le attività sia dopo il loro termine, ha rispettato le condizioni formali stabilite dal regolamento assunto dal Comitato scientifico e dal Comitato di progetto: trasparenza e completezza della comunicazione e massima tempestività della diffusione delle conoscenze prodotte. Ogni step del percorso scientifico giudicato completo e autoconsistente da parte del Comitato di progetto e validato dalla discussione in Comitato scientifico, è stato reso immediatamente pubblico, sul sito web apposito, con informazioni ai media, con presentazioni pubbliche (spesso gestite autonomamente dalle altre linee e azioni).

Le attività dell'Azione 1 si sono rivolte a introdurre e sviluppare i principali strumenti propri di un piano di comunicazione. Cronologicamente, esse sono state:

- Individuazione del **nome del progetto**: Monitor (Monitoraggio degli inceneritori nel territorio dell'Emilia-Romagna).
- Individuazione del **marchio** e delle applicazioni più diffuse (carta intestata, format per slide di presentazione e pubblicazione cartacee, ecc.).
- **Sito internet** e sue articolazioni interne. La principale suddivisione del sito è tra area pubblica e area con visibilità riservata ai soli componenti del progetto (una platea allargata a circa 100 persone). L'area pubblica ha riorganizzato la presentazione del progetto, suddividendolo nei seguenti quattro campi di interesse, riscontrabili dall'analisi delle discussioni pubbliche e identificabili secondo il senso comune, prescindendo dunque - ove necessario - dall'articolazione tecnico scientifica delle linee progettuali: emissioni degli inceneritori, effetti sull'ambiente, effetti sulla salute, comunicazione e conflitti ambientali. L'area riservata contiene le bozze dei documenti, segnalandone lo stato della discussione, in attesa dell'approvazione alla pubblicazione nella parte visibile a tutti, un forum di discussione sui singoli elaborati, un archivio dei semilavo-

rati prodotti, delle presentazioni nelle riunioni interne, di convocazioni incontri, verbali e allegati, la rassegna stampa (estratta dalla rassegna stampa di Arpa, e dunque ad accesso limitato, regolato da contratto con fornitore esterno), l'archivio dei format e delle applicazioni del marchio, ad uso dei componenti dei gruppi di lavoro.

- Pubblicazione di una **brochure-pieghevole** riportante i dati salienti del progetto, gli obiettivi, le responsabilità.
- La realizzazione di una presentazione in formato **PowerPoint** utile ad incontri divulgativi e dibattiti pubblici.
- La commissione e la realizzazione di un **video** che presenta la metodologia, le diverse fasi del progetto, la sintesi dei risultati.
- L'organizzazione di una survey della stampa e la raccolta nell'area riservata dei ritagli riguardanti gli inceneritori e il progetto Monitor.
- L'attività di ufficio stampa a supporto delle iniziative svolte nell'ambito del progetto.
- La progettazione e realizzazione di una **collana editoriale** regionale "Quaderni di Monitor" che sta pubblicando in forma divulgativa o integrale i report conclusivi delle singole azioni e linee progettuali, articolati nei quattro grandi temi ricordati sopra, ed è una produzione del tutto autonoma della Regione e di Arpa. I singoli volumi, anche se e quando riportano brevi testi introduttivi di componenti del Comitato scientifico, non implicano che il Comitato scientifico stesso abbia condiviso e validato il contenuto dei quaderni. I pareri del Comitato scientifico sono invece pubblicati congiuntamente alla edizione online, integrale, dei report delle singole linee progettuali, dei quali fanno parte integrante.

I quaderni pubblicati sono liberamente accessibili all'indirizzo [www.arpa.emr.it/pubblicazioni/monitor/generale\\_1485.asp](http://www.arpa.emr.it/pubblicazioni/monitor/generale_1485.asp)

Fino alla conclusione di un sufficiente numero di attività delle diverse Linee progettuali di Monitor sono inevitabilmente stati assai pochi gli eventi pubblici organizzati per discutere e divulgare i risultati del progetto. Il primo evento di presentazione con forte rilevanza pubblica si è tenuto nel settembre 2010: un seminario pubblico per la presentazione e la discussione di una certa mole di elaborati finali di azioni e linee di progetto. Tra essi spiccava lo studio sulle caratteristiche della natalità nelle zone circostanti gli inceneritori, a confronto

con la media regionale. La scelta comunicativa strategica è stata basata sulla completezza, tempestività, comprensibilità e trasparenza nella diffusione delle conoscenze acquisite su questo specifico aspetto, per la sua indubbia rilevanza sociale e mediatica.

Il rigore adottato sia nell'indagine sia nella discussione dei suoi esiti, lo sforzo compiuto per sintetizzare tali risultati in forme comprensibili anche da parte di un pubblico non specialistico, hanno consentito una notevole riduzione di incomprensioni e conflitti e favorito una discussione nel merito dei temi analizzati. Anche l'affidabilità e l'autorevolezza del lavoro dell'Agenzia e in generale del progetto Monitor si sono giovate della specifica strategia di comunicazione adottata. Il programma del seminario è disponibile all'indirizzo:

[www.arpa.emr.it/cms3/documenti/\\_cerca\\_eventi/2010/invito\\_Monitor\\_14set2010.pdf](http://www.arpa.emr.it/cms3/documenti/_cerca_eventi/2010/invito_Monitor_14set2010.pdf)

Le relazioni consegnate dagli autori e comunicati stampa riassuntivi sono disponibili all'indirizzo: [www.arpa.emr.it/pubblicazioni/monitor/notizie\\_1837.asp](http://www.arpa.emr.it/pubblicazioni/monitor/notizie_1837.asp)

## Azione 2. Repertorio di esperienze e documentazione

L'Azione 2 della Linea progettuale 7 è stata progettata per attivare un supporto documentale utile in primo luogo alle altre linee progettuali del progetto Monitor e, successivamente, come base per futuro servizio ad altri fruitori di interessi. A progetto avviato, il Comitato Scientifico e i Responsabili delle altre LP hanno richiesto alcune modifiche rispetto alla natura dell'attività documentale così come veniva proposta, suggerendo di ridimensionare le fasi previste dall'azione stessa e di assemblarle con le Azioni 3 e 4 della LP 3, con specifico riferimento all'attività di produzione di review e agli aggiornamenti bibliografici su temi specifici riguardanti la salute in relazione agli inceneritori, le migliori tecnologie disponibili e i monitoraggi animali intorno agli impianti; tale decisione è stata motivata oltre che dal constatare una sostanziale omogeneità nei prodotti documentali considerati necessari, anche dal fatto che il fornitore principale era il medesimo, ovvero l'Università di Modena.

In seguito alla stipula della Convenzione tra Arpa e l'Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia (Dipartimento di Biologia Animale, Dipartimento di Scienze di Sanità Pubblica, Dipartimento di Scienze Biomediche e successivamente con il Dipartimento di Ingegneria dei Materiali), sono stati prodotti:

- un aggiornamento bibliografico relativo ai rischi sanitari per le popolazioni che risiedono in prossimità di aree in cui sono presenti impianti di incenerimento dei rifiuti solidi urbani. La ricerca bibliografica è stata effettuata su MEDLINE, relativamente al periodo 2004 - maggio 2008, introducendo nella ricerca parole chiave in varie combinazioni (epidemiologia, salute, inceneritori, esposizione occupazionale, popolazione generale, monitoraggio ambientale e biologico). Sono stati utilizzati, inoltre, motori di ricerca e/o i siti web delle principali agenzie nazionali ed internazionali che si occupano a vario titolo di salute e di inceneritori;
- una ricognizione della bibliografia recente (fino al 2009) relativa ai diversi effetti ambientali della presenza di impianti di incenerimento e più in generale sulle problematiche legate alle emissioni atmosferiche, al biomonitoraggio nelle aree soggette alle emissioni e soprattutto all'applicazione di saggi e analisi ecotossicologiche per valutazioni di rischio ecologico legato alle emissioni in atmosfera;
- una ricerca bibliografica su aspetti impiantistici, tecnologici, produzione e abbattimento di inquinanti di impianti di incenerimento, condotta sia attraverso l'utilizzo di diversi motori di ricerca pubblici come ad esempio Google, oppure di pertinenza specifica dell'Università di Modena e Reggio Emilia (Science Direct), sia attraverso la consultazione di riviste dell'Ateneo o di Atti di convegno nazionali ed internazionali a cui il personale del Dipartimento ha partecipato oppure a cui ha avuto accesso come socio di Società di settore. I documenti analizzati, sia italiani che stranieri, sono circa 25.

Tutti questi materiali non sono stati inseriti nell'area riservata del sito Monitor perché non soggetti a parere del CS, ma sono disponibili presso il Centro tematico regionale Ambiente e salute di Arpa, sia in formato cartaceo che elettronico (per informazioni: Laura Ersparmer, [l.ersparmer@arpa.emr.it](mailto:l.ersparmer@arpa.emr.it)).

### Azione 3. Progettazione di modelli e protocolli di comunicazione e gestione dei conflitti e attività di formazione e di project work con i referenti degli enti locali

Nel corso delle attività sono stati analizzati “sul campo”, con interviste e incontri diretti, i conflitti ambientali legati agli inceneritori presenti in regione oltre ai meccanismi e agli strumenti partecipativi e comunicativi attivati sul territorio per affrontare le esigenze di circolazione delle informazioni e trasparenza. In diverse realtà risultavano già avviate iniziative per cercare di superare la semplice contrapposizione tra gestori e comitati di cittadini, con enti e poteri pubblici spesso “tirati per la giacca” quando non considerati acquiescenti alle imprese. Queste iniziative hanno dato vita a strumenti di vario tipo: tavoli di garanzia o strutture di rappresentanza dei residenti e di confronto quali i RAB (Residential Advisory Board), ciascuna analizzata nel corso del progetto evidenziandone obiettivi, modalità realizzative e risultati <sup>2</sup>.



2. L'analisi di dettaglio è disponibile nel Report conclusivo 3.2 “Analisi e sistematizzazione delle esperienze di comunicazione e coinvolgimento in corso sul territorio nazionale ed internazionale con riferimento a contesti ad elevato impatto ambientale” nella sezione “Risultati delle attività” del sito di progetto [www.arpa.emr.it/pubblicazioni/monitor/generale\\_1526.asp](http://www.arpa.emr.it/pubblicazioni/monitor/generale_1526.asp)

Il confronto con altre esperienze italiane e straniere, non necessariamente legate a impianti di incenerimento, nelle quali gli strumenti di partecipazione hanno influito positivamente non solo sui conflitti, ma anche, a volte, sulle stesse scelte infrastrutturali poste alla loro attenzione, ha permesso di isolare “sette suggerimenti”. Questi ruotano attorno alla consapevolezza che **i conflitti ambientali possono essere evitati, o ancora meglio trasformati in occasioni di sviluppo delle conoscenze e del miglioramento delle decisioni**; però a certe condizioni:

- se gli interlocutori si ritengono reciprocamente affidabili (per ottenere questa premessa iniziale, è necessaria la più grande trasparenza delle conoscenze e degli obiettivi di ciascuno);
- se stabiliscono forme del confronto stabili nel tempo e dotate di un livello, anche minimo, di organizzazione;
- se cercano di intervenire anticipando le occasioni di potenziale conflitto;
- se stabiliscono un terreno di confronto e obiettivi ben definiti e circoscritti, mirando dunque a proposte e soluzioni concretamente praticabili ed efficaci.

Sette suggerimenti<sup>3</sup> che sono stati oggetto di confronto anche con realtà esterne al progetto<sup>4</sup> e che Monitor consegna a tutte le categorie di soggetti attivi a livello locale sui temi della comunicazione e che possono essere un utile riflessione sulle relazioni esistenti fra comunicazione e conflitti ambientali.

### Conoscersi reciprocamente e conoscere il territorio

La capacità di ciascun attore<sup>5</sup> di riconoscere responsabilità e competenze appropriate al ruolo del soggetto cui ci si rivolge (tecniche piuttosto che politiche, di tipo decisionale piuttosto che di controllo e garanzia, di informazione piuttosto che di tutela degli interessi) è determinante per l'instaurarsi di dinamiche di comunicazione e interazione efficaci nell'ambito locale. Questa capacità, deve realizzarsi su due piani complementari:

- relazionarsi efficacemente con ciascuna delle altre categorie di soggetti, sviluppando aspettative coerenti con il ruolo di ciascuno. In alcuni dei contesti

3. I sette suggerimenti sono rinvenibili nel Cap. 5 conclusivo del quaderno “Inceneritori e conflitti ambientali” disponibile on line nella sezione Documentazione del sito di progetto [www.arpa.emr.it/pubblicazioni/monitor/generale\\_1485.asp](http://www.arpa.emr.it/pubblicazioni/monitor/generale_1485.asp)

4. Ci si riferisce in particolare all'evento di formazione tenutosi a Bologna, lunedì 11 gennaio 2010 i cui atti sono disponibili sul sito [http://www.arpa.emr.it/pubblicazioni/monitor/notizie\\_1574.asp?idlivello=762](http://www.arpa.emr.it/pubblicazioni/monitor/notizie_1574.asp?idlivello=762)

5. Ricordiamo che l'indagine era suddivisa in 5 tipologie di attori: enti pubblici, autorità di controllo, gestori, giornalisti, associazioni e/o comitati.

oggetto della nostra indagine gli attori locali, anche quelli non istituzionali, dimostrano una effettiva capacità di individuare i propri interlocutori e di rivolgersi ad essi in modo coerente. In altri, questo non avviene con altrettanta efficacia.

- formulare richieste comprendendo le esigenze e gli interessi degli altri interlocutori piuttosto che agire sulla base di singoli interessi contrapposti. Anche in questo caso, le situazioni riscontrate sui territori sono diverse; fattore influenzante risulta essere il grado di emergenza e conflittualità esistente a livello locale, nel senso che quanto più queste spingono gli attori in gioco ad interagire (tramite canali diretti o indiretti), tanto più essi imparano a ragionare in un'ottica allargata piuttosto che per specifiche posizioni.

La capacità di “conoscersi e riconoscersi” deve completarsi tramite una maggiore consapevolezza del territorio e della comunità locale cui possono contribuire, come verificato anche in alcuni casi a livello locale, la conduzione di indagini locali sulla percezione del rischio o sulle opinioni diffuse della popolazione e la standardizzazione sul territorio delle modalità di acquisizione, elaborazione e rilascio delle informazioni da parte dei soggetti controllori (ad es. Arpa e Asl). È inoltre buona norma che ciascuno degli attori in gioco impari a ricevere e valutare in senso critico i feedback legati ai propri strumenti o alle proprie iniziative di comunicazione.

### Valorizzare le capacità positive dell'associazionismo locale

L'opportunità deriva da una triplice considerazione. In primo luogo, l'attivismo locale è un elemento imprescindibile della nostra società che assume, con differenti livelli di intensità, un carattere antagonista. Può trasformarsi da elemento di contrapposizione in elemento propositivo? Le esperienze, soprattutto internazionali ci rispondono di sì e ciò dipende fortemente dalla tempistica con cui viene attivato confronto (nelle situazioni in cui la sua spinta propositiva è stata immediatamente canalizzata in strumenti di confronto, anche informali e non istituzionalizzati, il conflitto locale è rimasto basso). In secondo luogo, la qualità del confronto locale è direttamente proporzionale alla competenza dimostrata dall'associazionismo locale. Il confronto locale appare qualitativamente più elevato laddove l'associazionismo locale (anche quando fortemente antagonista) è competente nell'individuare di volta in volta gli interlocutori cui rivolgersi e le richieste da esprimere, nell'ottenere accesso ai dati e nell'utilizzare strumenti di



comunicazione efficaci. In buona parte dei territori, specie in quelli dove il conflitto è più acceso, questa competenza c'è, viene esercitata dall'associazionismo e conviene venga riconosciuta. Infine l'attivismo locale si dimostra soggetto dinamico e informato, in grado di attivare e alimentare, in mancanza di un riconoscimento diretto da parte dei soggetti istituzionali, canali paralleli di acquisizione e rilascio di informazioni riguardo gli inceneritori, la loro sostituibilità, i loro impatti ambientali e sanitari. Conviene riconoscere tale potenzialità e condurla su un terreno di lavoro comune.

### **Partire dai buoni presupposti esistenti a livello locale, sfruttando anche gli strumenti di coinvolgimento già attivi**

Il panorama regionale registra diverse iniziative messe in campo dai diversi soggetti. I gestori degli impianti sono impegnati, già da alcuni anni, nello sviluppo di strategie e strumenti di responsabilità sociale. Gli enti competenti hanno inserito negli atti più recenti di autorizzazione amministrativa degli inceneritori prescrizioni che riguardano anche la disponibilità e l'accessibilità dei dati e dell'informazione al pubblico (Parma<sup>6</sup>). È importante però essere consapevoli che ogni ambito locale ha dei buoni presupposti, che possono essere consolidati. Conviene peraltro partire da quegli organi di governo decentrato (consigli di quartiere, circoscrizione) e/o strumenti già previsti negli statuti e nei regolamenti delle amministrazioni locali (consulte, forum tematici) facendo sì che l'attività di questi strumenti, quali canali riconosciuti di dialogo con la comunità locale venga razionalizzata e consolidata per non rischiare la delegittimazione.

### **Inquadrare correttamente l'oggetto del confronto**

Le esigenze di dialogo dei diversi attori che entrano in relazione (tramite strumenti istituzionali o tramite le iniziative specifiche attivate nei diversi ambiti) tendono a non coincidere, per due diversi ordini di difficoltà. Sul piano della relazione causa-effetto risulta difficile rispondere alle esigenze di certezza e chiarezza inerenti gli impatti ambientali e sanitari imputabili agli impianti di incenerimento. Ecco perché diventano fondamentali alcuni passi preliminari all'impostazione di qualsiasi strumento efficace di comunicazione e dialogo:

- condividere il valore assegnato al principio di precauzione<sup>7</sup>;
- inquadrare la corretta scala territoriale di riferimento (impianto, area industriale, ecc.);
- individuare univocamente dati e metodi per la discussione (se possibile riconosciuti e standardizzati).

Sul piano degli obiettivi occorre chiarezza iniziale sia su scopo del coinvolgimento (informazione, consultazione o co-decisione?) che sul livello di governance cui si riferisce il coinvolgimento. Quando le aspettative iniziali di uno o più soggetti, su una o entrambe le dimensioni non vengono appagate, il confronto ha mostrato segnali di deriva.

### **Ottimizzare la funzione dei diversi attori e degli strumenti di riferimento**

Diventa importante dare certezze in merito al ruolo di ciascuno degli attori in gioco. Le esigenze di chiarezza emergono soprattutto in riferimento alle Autorità di controllo (Arpa e Asl) e ai mass media (Tv e carta stampata). Per le prime, al ruolo tradizionale di soggetti tecnici di controllo strumentali alle amministrazioni locali si aggiunge ora la competenza di veicolatori dell'informazione ambientale esercitata con modalità diversificate nei diversi ambiti locali. I mass media, invece, sono consapevoli del proprio ruolo di divulgatori dell'informazione ma, per loro stessa ammissione, hanno una limitata capacità di esercitarla efficacemente, poiché non sempre hanno le competenze utili a discriminare tra informazione accreditata scientificamente e non, tra dati acclarati e semplici opinioni (ad esempio relativamente alle relazioni causa-effetto). Appare quindi auspicabile, l'attivazione di iniziative che permettano loro una maggiore autonomia di analisi e valutazione e conseguente maggiore capacità di approfondire e comprendere le dinamiche locali.

### **Garantire stabilità e efficacia delle forme di confronto attivate**

Preventiva condivisione di scopi e obiettivi, costanza nel tempo dell'iniziativa nonché dei criteri di lavoro adottati (ad es. definire modalità di redazione e pubblicazione dei verbali) si sono dimostrate caratteristiche comuni alle iniziative di successo analizzate. Anche la scelta della tempistica di riferimento gioca un

6. Si veda Autorizzazione Integrata Ambientale (AIA) già rilasciata dalla Provincia che include misure di informazione ai cittadini, prescrizioni di monitoraggio allargato - non ristretto alle emissioni -, interventi di compensazione.

7. Il principio di precauzione vuole che le esigenze di chiarezza riguardino non soltanto gli impatti effettivamente imputabili agli impianti di incenerimento ma anche quegli impatti che sono ipotizzabili (ma non dimostrati) sulla base di elementi scientifici di incertezza.

ruolo determinante: vi è un deficit di credibilità quando l'attivazione dello strumento avviene come risposta a un conflitto già manifesto piuttosto che come prevenzione dello stesso: credibilità e stabilità dell'iniziativa influenzano la capacità di coinvolgerci l'associazionismo critico e risultano maggiori se allo strumento di confronto viene fornita possibilità di incidere su una realizzazione concreta.

### Soddisfare le esigenze diffuse di trasparenza e accountability

Anche se con motivazioni diverse, trasparenza e accountability sono invocate in primis da Associazionismo locale (per interesse diretto) e dai mass media (per funzione che svolgono). La richiesta di una maggiore trasparenza si indirizza su due fronti: esaustività del set di informazioni prodotte e condivisione preventiva, tra tutti i soggetti interessati, del set di informazioni da rilasciare sul territorio. Sul fronte dell'accountability<sup>8</sup>, occorre inoltre considerare che i soggetti sui territori chiedono di poter comprendere e condividere le scelte di pianificazione che sottostanno alla gestione dei rifiuti a livello locale, che viene richiesta una precisa sequenzialità logica tra obiettivi pianificati e limiti imposti e che va dimostrata attenzione e rigosità rispetto alle prescrizioni enunciate e agli impegni assunti.

### Azione 4. Comunicazione sul rischio

Avendo a riferimento **la ricerca e la letteratura internazionale** disponibile sul tema, l'Azione sulla comunicazione del rischio della Linea 7 si è posta l'obiettivo di indagare i contenuti delle rappresentazioni sociali elaborate dai cittadini a proposito di un inceneritore dei rifiuti, e dei rischi da esso derivanti. Il metodo utilizzato è stato volto a ricreare le condizioni entro le quali i sistemi di credenze si costruiscono, ovvero il contesto dello scambio comunicativo nei gruppi (approccio psico-sociale). In questo ambito, la tecnica del focus group è considerata uno strumento appropriato a fare emergere le rappresentazioni sociali, in quanto riproduce un contesto di scambio comunicativo fra persone che negoziano e confrontano le proprie credenze sull'oggetto di studio. L'Azione 4 ha quindi organizzato e condotto nel periodo marzo-maggio 2008, una azione

sperimentale attraverso la realizzazione di **6 focus group**, ai quali hanno partecipato cittadini selezionati di tre province dell'Emilia Romagna: Modena, Ferrara e Bologna.

Lo studio prodotto dall'Azione 4<sup>9</sup>, mettendo in relazione i modelli di ricerca proposti dalla letteratura internazionale con i risultati dei focus group, ha consentito di elaborare una serie di **suggerimenti utili per una più efficace progettazione e gestione di azioni comunicative finalizzate ad accrescere la consapevolezza e stimolare il cambiamento negli attori sociali**, che di seguito vengono riassunti.

1. **Tenere in considerazione il fatto che le persone, in particolar modo su temi tecnicamente complessi, formulano le loro conclusioni non necessariamente sulla base di disamina attenta e puntuale dei fattori in gioco.** Solo se ha motivazione (quando e quanto una persona si sente implicata da un tema) e capacità cognitiva (possiede le conoscenze necessarie per valutare e confrontare la correttezza delle informazioni) la persona procede ad un'analisi approfondita delle informazioni.
2. Per aumentare l'efficacia e la appropriatezza della comunicazione è opportuno tenere presenti nella progettazione e gestione della comunicazione dei seguenti elementi:
  - **immagini evocate** dal messaggio. Anche quando motivazione e capacità del ricevente sono basse, il messaggio può comunque risultare efficace. In questo caso l'effetto non è dovuto alla forza delle argomentazioni, ma ad elementi di contorno o ad "euristiche". Tra gli elementi esterni al contenuto del messaggio, un ruolo importante è rivestito dalle immagini evocate dai messaggi stessi, e dai diffusori delle immagini, che nella nostra società sono rappresentati soprattutto dai mass media;
  - **negative asymmetry.** Nel processo di ricezione delle informazioni è importante tenere conto della cosiddetta "negative asymmetry", ossia del differente modo in cui vengono elaborate le informazioni negative. Queste ultime hanno un impatto sul pubblico quattro volte superiore rispetto alle informazioni positive, anche perché sono percepite come più sorprendenti, più vivide, più

<sup>8</sup> Con il termine si intende la realizzazione di un sistema di responsabilità che chiarisca le relazioni esistenti tra decisioni, attività e parametri di controllo.

<sup>9</sup> [http://www.arpa.emr.it/cms3/documenti/monitor/risultati/LP7\\_az4\\_percezione\\_rischio.pdf](http://www.arpa.emr.it/cms3/documenti/monitor/risultati/LP7_az4_percezione_rischio.pdf)

diagnostiche e più informative;

- **effetto di framing.** Il framing è una modalità di manipolazione del messaggio di una comunicazione al fine di aumentarne il potere persuasivo: nel caso in cui il frame è positivo (per esempio “applicando un certo programma sociale si salveranno un gran numero di persone”), le persone scelgono l’opzione certa, nel caso invece di frame negativo (per esempio “mettendo in risalto gli esiti negativi di un certo programma sociale”), le persone scelgono le opzioni incerte e più rischiose;
- **teoria del prospetto.** Descrive il processo di decisione, in presenza di rischio, come una funzione a forma sigmoide in cui la curva nel dominio dei guadagni è convessa e in quello delle perdite è concava. In pratica la prospettiva di una perdita crea maggior disappunto di quanto procuri piacere la prospettiva di un guadagno;
- **effetto di corrispondenza.** L’effetto di corrispondenza (matching effect) è l’influenza che si esercita quando la comunicazione persuasiva fa leva su elementi specifici che caratterizzano la struttura (emotiva o cognitiva) e la funzione (di conoscenza, strumentale, espressiva, di adattamento sociale) degli atteggiamenti dei riceventi;
- **amplificazione sociale del rischio.** L’effetto tipico della comunicazione di massa che tende a diffondere maggiormente notizie negative piuttosto che positive e ad accrescerne l’importanza.

3. In riferimento alle **caratteristiche dei destinatari della comunicazione**, occorre tenere presente che, in generale, essa non interessa il pubblico in quanto somma di individui, ma raggiunge gruppi specifici e significativi di persone che rielaborano al loro interno le interpretazioni e i significati da dare ai messaggi. In una popolazione esistono sempre dei gruppi, all’interno dei quali vige un sistema informale di status, che determina posizioni più o meno centrali dei suoi membri. La comunicazione che riesce a raggiungere e a persuadere in particolar modo i membri centrali dei gruppi sociali (leader più o meno formali), beneficerà di un potenziamento dei suoi effetti. Ciò suggerisce quindi di progettare strategie di comunicazione mirata non soltanto ai livelli diversi di motivazione individuale alla elaborazione, ma anche ai **gruppi sociali che si percepiscono come tali (comitati, comunità, abitanti di quartieri), e che si collocano a distanza variabile dal problema.** Al ri-

guardo, così come sperimentato nel processo di analisi dei focus group, i vari gruppi sociali interessati da un processo comunicativo sul rischio per quanto diversi tra loro, potrebbero essere classificati in base ad una matrice che li mette a confronto in base alla fiducia riposta nelle istituzioni ed all’efficacia percepita rispetto alle proprie possibilità di azione.

		Fiducia nelle fonti istituzionali	
		Bassa	Alta
Efficacia percepita rispetto alle proprie possibilità di azione	Bassa	Fatalisti	Gerarchici
	Alta	Attivisti/egualitari	Lontani

- a) **“attivisti/egualitari”** ovvero persone che ricercano attivamente e con alta motivazione le informazioni e che le elaborano in accordo con la reputazione della fonte che le diffonde;
  - b e c) **“gerarchici” e “lontani”** ovvero persone caratterizzate per motivi diversi da bassi livelli di motivazione alla elaborazione di informazioni, o perché si affidano quasi esclusivamente all’euristica dell’esperto o perché poco interessati ai problemi della società;
  - d) **“fatalisti”** ovvero persone relativamente più impermeabili alle strategie di comunicazione, data la percezione di inaffidabilità di qualsiasi euristica di giudizio.
4. Poiché si può presumere che la maggior parte della popolazione possa contare su conoscenze tecniche limitate e, d’altra parte, la motivazione a prenderle in considerazione è alta soltanto per coloro che sono inquadrabili nel gruppo definito come “attivisti/egualitari”, si può concludere che **la questione più critica non è tanto la trasmissione di una maggiore quantità di informazioni, ma la reputazione delle fonti.** La comunicazione allora potrebbe utilmente focalizzarsi sulla trasmissione di informazioni semplici, chiare e corrette, ma soprattutto sulla credibilità delle fonti (ricerche scientifiche, ricercatori indipendenti, esperti internazionali, convergenza dei giudizi ecc.).
5. **La rappresentazione sociale del rischio non è frutto soltanto delle caratteristiche di pericolosità che le persone associano agli impianti**

**di incenerimento dei rifiuti, ma anche delle forti reazioni emotive che questo problema suscita e quindi la configurazione degli atteggiamenti che le persone hanno in proposito non sono a prevalente base cognitiva, quanto piuttosto a base mista (cognitiva ed emotiva) o addirittura prevalentemente emotiva.** Ciò implica che i messaggi diffusi non dovrebbero veicolare soltanto informazioni in senso stretto (caratteristiche degli impianti e loro conseguenze potenziali), ma essere anche veicolati tenendo conto degli aspetti metacomunicativi del processo di comunicazione (ad esempio utilizzando il linguaggio delle emozioni e in particolare quelle positive, es. fiducia, serenità, ottimismo, ecc.).



# Progetto Monitor: monitoraggio degli inceneritori nel territorio dell'Emilia-Romagna

## Organizzazione del progetto

### Comitato di progetto

Il Comitato di progetto ha compiti di coordinamento operativo e obbligo di sottomettere periodicamente i risultati al Comitato scientifico. Ciascun referente di linea progettuale è responsabile della progettazione e conduzione dello studio. Qualora agisse in modo difforme da quanto proposto dal Comitato scientifico lo farà in maniera motivata e anche queste considerazioni saranno rese pubbliche. Il Comitato di progetto è responsabile della relazione finale del progetto.

### Composizione del Comitato di progetto

Il Comitato di progetto, coordinato da Vanes Poluzzi per Arpa Emilia-Romagna e da Alba Carola Finarelli per il Servizio regionale di Sanità pubblica, è composto da: Pierluigi Macini, Responsabile del Servizio regionale di Sanità pubblica; Eugenio Lanzi, Responsabile del Servizio regionale Risanamento atmosferico, acustico, elettromagnetico; Stefano Tibaldi, Direttore generale Arpa; Vito Belladonna, Direttore tecnico Arpa e dai responsabili delle singole linee progettuali.

**Linea progettuale n. 1** - Caratterizzazione delle emissioni degli inceneritori in esercizio nelle aree di indagine. Responsabile: Valeria Biancolini, Arpa Emilia-Romagna

**Linea progettuale n. 2** - Organizzazione e realizzazione della sorveglianza ambientale nelle aree di indagine. Responsabile: Mauro Rossi, Arpa Emilia-Romagna

**Linea progettuale n. 3** - Valutazione dell'esposizione umana e implementazione sistema informativo integrato. Responsabile: Paolo Lauriola, Arpa Emilia-Romagna, Paola Angelini, Regione Emilia-Romagna

**Linea progettuale n. 4** - Valutazione degli effetti sulla salute nella popolazione ogget-

to di indagine. Responsabile: Silvia Candela, Asl Reggio Emilia

**Linea Progettuale n. 5** - Valutazione degli effetti tossicologici dell'aria prelevata in prossimità degli impianti di incenerimento. Responsabile: Annamaria Colacci, Arpa Emilia-Romagna

**Linea progettuale n. 6** - Definizione di un protocollo per la valutazione di impatto sanitario. Responsabile: Marinella Natali, Regione Emilia-Romagna

**Linea progettuale n. 7** - Comunicazione: sviluppo di un sistema per la comunicazione e gestione dei rischi e conflitti ambientali. Responsabile: Paolo Tamburini, Regione Emilia-Romagna.

### Comitato scientifico

Il Comitato scientifico è garante nei confronti dei cittadini e del committente (Regione Emilia-Romagna) con compiti di valutazione indipendente della metodologia impiegata e delle tappe di realizzazione del progetto. Il Comitato scientifico esprime periodiche valutazioni sull'andamento del progetto e tali pareri sono resi pubblici. Il Comitato scientifico opera a titolo gratuito e i suoi componenti dichiarano formalmente l'assenza di ogni conflitto di interesse nei confronti dei committenti e dell'oggetto dell'attività.

### Composizione del Comitato scientifico:

Benedetto Terracini, direttore della rivista Epidemiologia & prevenzione (Coordinatore);  
Pietro Comba, Dirigente di ricerca presso l'Istituto Superiore di Sanità;  
Pier Franco Conte, Direttore Dipartimento di oncologia AOSP Modena;  
Antonius Kettrup, Prof., Inst. Of Ecological Chemistry, University of Munich (Germany);  
Marco Martuzzi, OMS (Roma);  
Giancarlo Pizza, Federazione regionale degli Ordini dei Medici Chirurghi e Odontoiatri dell'Emilia-Romagna;  
Ferruccio Trifirò, Preside della Facoltà di Chimica Industriale Università di Bologna;  
Francesco Violante, Professore I fascia Medicina del Lavoro Università di Bologna - Direttore U.O Medicina del Lavoro Policlinico S.Orsola-Malpighi;  
Mario Cirillo, Dirigente Servizio Valutazioni ambientali di Ispra.

# I risultati del progetto Monitor

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

Le "domande di conoscenza" che stavano all'origine del progetto Monitor erano le seguenti: quali sono i principali inquinanti emessi dagli inceneritori situati in Emilia-Romagna? Le emissioni degli inceneritori sono distinguibili da quelle delle altre fonti di inquinamento atmosferico? Quanto influiscono sulla qualità dell'aria e dell'ambiente circostante? Abitare vicino a un inceneritore ha causato negli anni un aumento del rischio per la salute?

Questo "Quaderno di Monitor" espone in sintesi i risultati del lavoro delle sette linee progettuali in cui si è articolato il progetto, che per quasi quattro anni ha impegnato molte decine di tecnici e ricercatori e numerose istituzioni nella ricerca di risposte rigorose a quelle domande.

### Il progetto Monitor

Lo smaltimento dei rifiuti rappresenta una criticità delle società avanzate. La Regione Emilia-Romagna promuove un sistema integrato di gestione dei rifiuti, al fine di favorire la riduzione della produzione e della pericolosità degli stessi nonché il riutilizzo e il riciclaggio, e per incentivare l'impiego di idonee e moderne tecnologie, in modo da assicurare garanzie di elevata protezione dell'ambiente e di tutela della salute dei cittadini.

Il progetto Monitor (Organizzazione di un sistema di sorveglianza ambientale e valutazione epidemiologica nelle aree circostanti gli impianti di incenerimento in Emilia-Romagna) è stato promosso dagli Assessorati Politiche per la salute e Ambiente e riqualificazione urbana della Regione Emilia-Romagna, in collaborazione con Arpa. Il progetto ha approfondito le conoscenze scientifiche sulla qualità e quantità delle sostanze emesse dagli impianti di incenerimento dei rifiuti e sul loro impatto sulla qualità dell'aria circostante; ha studiato altresì gli effetti sulla salute con indagini tossicologiche e ne ha stimato in termini epidemiologici la correlazione con l'esposizione a inceneritori.

monitor

quaderni

[www.monitor.it](http://www.monitor.it)

  
Monitoraggio degli inceneritori nel territorio dell'Emilia-Romagna