



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/) 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.

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 (PM₁₀, 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