

Metodologia di valutazione degli impatti sulla salute delle politiche di gestione dei rifiuti solidi urbani: il Progetto SESPIR

Methods for health impact assessment of policies for municipal solid waste management: the SESPIR Project

Federica Parmagnani,¹ Andrea Ranzi,¹ Carla Ancona,² Paola Angelini,³ Monica Chiusolo,⁴ Ennio Cadum,⁴ Paolo Lauriola,¹ Francesco Forastiere²

Epidemiol Prev 2014; 38(5): 305-312

¹ Direzione tecnica,
Centro ambiente e salute,
ARPA Emilia-Romagna,
Modena

² Dipartimento
di epidemiologia, Servizio
sanitario regionale
del Lazio, Roma

³ Servizio di sanità
pubblica, Direzione
generale sanità
e politiche sociali,
Regione Emilia-Romagna,
Bologna

⁴ SC epidemiologia
e salute ambientale,
ARPA Piemonte,
Torino

Corrispondenza
Andrea Ranzi
aranzi@arpa.emr.it

Il Progetto Sorveglianza epidemiologica sullo stato di salute della popolazione residente intorno agli impianti di trattamento rifiuti (SESPIR) ha coinvolto, dal 2010 al 2013, cinque regioni italiane (Emilia-Romagna, Piemonte, Lazio, Campania e Sicilia) e l'Istituto superiore di sanità. SESPIR è stato finanziato dal Ministero della salute nell'ambito del programma del Centro nazionale per la prevenzione e il controllo delle malattie (CCM) del 2010 con l'obiettivo di fornire metodologie e strumenti operativi per l'implementazione di sistemi di sorveglianza in materia di rifiuti e salute volti alla valutazione dell'impatto del ciclo di trattamento dei rifiuti solidi urbani sulla salute della popolazione, tenendo conto delle differenze informative presenti sul territorio nazionale.

Tra gli obiettivi specifici, oltre a un aggiornamento delle conoscenze di letteratura disponibili in materia di effetti sulla salute della gestione dei rifiuti solidi urbani e la realizzazione di studi locali specifici, era prevista la valutazione degli impatti sulla salute derivanti dalla

presenza di impianti di smaltimento legati ai possibili scenari regionali di gestione rifiuti.

Queste attività hanno permesso la messa a punto di strumenti di analisi propri della valutazione integrata di impatto ambientale e sanitario e della loro applicazione, facendo uso di basi di dati correnti anagrafici, ambientali e sanitari.

Nel presente articolo viene illustrata la metodologia adottata per la stima quantitativa degli impatti sulla salute delle popolazioni residenti in prossimità di inceneritori, discariche e impianti di trattamento meccanico biologico. Sono analizzati tre differenti scenari temporali: il primo relativo agli impianti presenti nel periodo 2008-2009 (scenario di base), il secondo basato sui piani regionali in materia di rifiuti e il terzo riferito a una possibile politica virtuosa di gestione dei rifiuti solidi urbani attraverso la riduzione della produzione e una intensa politica di recupero.

Parole chiave: impianti di smaltimento rifiuti, valutazione di impatto sulla salute, politiche di gestione dei rifiuti solidi urbani

Cosa si sapeva già

- La legislazione europea sui rifiuti utilizza un approccio gerarchico per guidare gli Stati membri all'uso di diverse opzioni di gestione dei rifiuti.
- E' necessario un sistema di sorveglianza nel tempo degli impatti sanitari derivanti da insediamenti, impianti e tecnologie di smaltimento dei rifiuti solidi urbani.

Cosa si aggiunge di nuovo

- Vengono proposti metodologie e strumenti operativi per la valutazione degli impatti sanitari in materia di rifiuti e salute.
- La metodologia è riferita agli impatti sulle popolazioni residenti in prossimità di inceneritori, discariche e impianti di trattamento meccanico biologico.
- Lo strumento proposto può essere utile ai decisori per valutare gli impatti sulla salute presenti e futuri, legati a variazioni nelle politiche di gestione dei rifiuti a livello locale e nazionale.

ABSTRACT

Methods for health impact assessment of policies for municipal solid waste management: the SESPIR Project*Epidemiol Prev* 2014; 38(5): 305-312

The Project Epidemiological Surveillance of Health Status of Resident Population Around the Waste Treatment Plants (SESPIR) included five Italian regions (Emilia-Romagna, Piedmont, Lazio, Campania, and Sicily) and the National Institute of Health in the period 2010-2013. SESPIR was funded by the Ministry of Health as part of the National centre for diseases prevention and control (CCM) programme of 2010 with the general objective to provide methods and operational tools for the implementation of surveillance systems for waste and health, aimed at assessing the impact of the municipal solid

waste (MSW) treatment cycle on the health of the population. The specific objective was to assess health impacts resulting from the presence of disposal facilities related to different regional scenarios of waste management. Suitable tools for analysis of integrated assessment of environmental and health impact were developed and applied, using current demographic, environmental and health data.

In this article, the methodology used for the quantitative estimation of the impact on the health of populations living nearby incinerators, landfills and mechanical biolog-

ical treatment plants is showed, as well as the analysis of three different temporal scenarios: the first related to the existing plants in the period 2008-2009 (baseline), the second based on regional plans, the latter referring to MSW virtuous policy management based on reduction of produced waste and an intense recovery policy.

Keywords: waste management plants, health impact assessment, waste management policies

INTRODUZIONE

La gestione dei rifiuti è un processo complesso che interessa popolazioni residenti e migliaia di lavoratori su tutto il territorio nazionale. In caso di gestioni non controllate, le sostanze generate durante lo smaltimento possono contaminare l'ambiente e generare nei residenti in prossimità degli impianti di trattamento e smaltimento preoccupazioni circa eventuali conseguenze sulla salute. A questo si aggiunge, in molti casi, l'emanazione di cattivi odori derivanti dagli impianti con conseguente aumento di preoccupazione e allarme delle popolazioni esposte. Le evidenze disponibili circa i potenziali effetti sull'ambiente e sulla salute della gestione dei rifiuti solidi urbani (RSU) sono ancora limitate, specialmente quando si considera l'intero processo che comprende produzione, raccolta, trasporto, recupero, trattamento e smaltimento dei rifiuti. I risultati della valutazione della letteratura scientifica relativa a studi condotti in prossimità di impianti di smaltimento dei rifiuti¹⁻⁵ non consentono di dare una risposta chiara e univoca al problema rendendo necessari ulteriori approfondimenti. Spesso le stime di effetto disponibili riguardano impianti di vecchia generazione e tali risultati non possono essere applicati *tout court* per stimare l'impatto sulla salute di impianti di nuova generazione. La tecnologia, infatti, muta velocemente, migliorando le *performance* degli impianti e riducendo le emissioni degli inquinanti. Inoltre, le modalità di gestione e smaltimento dei rifiuti sono in continuo cambiamento, nel rispetto delle indicazioni della nuova legislazione europea mirata alla riduzione della produzione dei rifiuti, al loro riutilizzo e riciclo, e alla progressiva chiusura degli impianti di discarica. Emerge, quindi, la necessità di stru-

menti, anche dal punto di vista epidemiologico, che possano seguire questi mutamenti e i riflessi sulle variazioni di rischio per la salute dei cittadini potenzialmente esposti.⁶ Il progetto *Integrated Assessment of Health Risks of Environmental Stressors in Europe* (INTARESE),⁷ finanziato nell'ambito del VI Programma quadro dell'Unione europea, ha reso disponibili metodi e strumenti per favorire la valutazione integrata degli impatti sanitari legati ai principali fattori di pressione ambientale. Il *work package* dedicato all'impatto sull'ambiente e sulla salute del ciclo dei rifiuti ha fornito strumenti per la valutazione dell'impatto sulla salute di impianti di smaltimento dei rifiuti, quali discariche e inceneritori, nonché di politiche di gestione di rifiuti a livello regionale e/o nazionale. Gli strumenti metodologici sono stati testati in via preliminare utilizzando casi-studio in Italia, Slovacchia e Inghilterra.⁸ Diversi sono gli indicatori stimati per le popolazioni residenti in prossimità di impianti di incenerimento: incidenza di casi di tumore e di malformazioni congenite, mortalità e anni di vita potenziale persi.⁷ Esperienze condotte in Italia nelle Regioni Emilia-Romagna (progetto *Enhance Health* e *Monitor*)^{9,10} e Lazio (progetto *Epidemiologia, rifiuti, ambiente e salute – ERAS*)¹¹ hanno consentito di sistematizzare alcune conoscenze sul tema, integrando dati ambientali e sanitari per la valutazione dello stato di salute delle popolazioni residenti in prossimità degli impianti di trattamento rifiuti.

Il Progetto SESPIR

In questo contesto di conoscenze e incertezze riguardo le evidenze di associazione fra esposizione a inquinamento da rifiuti e salute umana, il Ministero della salute ha finanziato

il Progetto Sorveglianza epidemiologica sullo stato di salute della popolazione residente intorno agli impianti di trattamento dei rifiuti (SESPiR), nell'ambito del programma 2010 del Centro nazionale per la prevenzione e il controllo delle malattie (CCM). Il progetto, conclusosi alla fine del 2013, ha coinvolto cinque Regioni italiane (Emilia-Romagna come capofila, Piemonte, Lazio, Campania e Sicilia), nonché l'Istituto superiore di sanità.

Obiettivo specifico del progetto è stato di fornire metodologie e strumenti operativi per l'implementazione di sistemi di sorveglianza in materia di rifiuti e salute volti alla valutazione dell'impatto del ciclo di trattamento dei rifiuti solidi urbani sulla salute della popolazione, tenendo conto delle differenze informative delle diverse realtà presenti sul territorio nazionale. L'attività del progetto si è focalizzata, quindi, sulla valutazione dell'impatto a livello regionale della presenza di impianti di smaltimento dei rifiuti solidi urbani e delle diverse politiche in materia. Queste attività, legate all'area dell'*integrated environmental and health assessment*, hanno consentito la messa a punto di strumenti di analisi e la loro applicazione, facendo uso di basi di dati correnti anagrafici, ambientali e sanitari. Nel presente articolo viene illustrata la metodologia utilizzata per la stima quantitativa degli impatti delle diverse politiche di gestione dei rifiuti solidi urbani, i cui risultati sono riportati nell'articolo di Ranzi et al.¹² Sono stati adottati i metodi applicabili a tutte le Regioni coinvolte, in base alla disponibilità omogenea di informazioni demografiche, ambientali e sanitarie.

METODI DI ANALISI

Tipologia di valutazione

La valutazione dell'impatto del ciclo dei rifiuti su ambiente e salute è stata effettuata in modo prospettico, andando a confrontare lo stato dell'arte a un tempo zero con due possibili scenari futuri di gestione dei rifiuti a livello regionale. Gli impianti presi in considerazione nella valutazione degli impatti sono quelli per cui in letteratura esistono segnalazioni di possibili effetti sulla salute, specificamente inceneritori, discariche e impianti di trattamento meccanico biologico (TMB).

Per la definizione degli scenari sono stati stabiliti tre momenti temporali:

- uno scenario di partenza, definito **Baseline**, che si riferisce agli anni 2008-2009, per il quale sono stati censiti, per ogni regione coinvolta nel progetto, le tre tipologie di impianto definendone le caratteristiche tecniche, la posizione geografica e la popolazione coinvolta;

- un secondo scenario, detto **Regionale**, relativo alla situazione degli impianti fotografata al 2012-2013 sulla base delle linee di indirizzo dettate dagli specifici Piani regionali per la gestione dei rifiuti, grazie ai quali è stato possibile un aggiornamento della situazione degli impianti, individuando, per le tre tipologie, quelli che hanno cessato l'attività oppure le nuove aperture;

- per la definizione del terzo scenario, chiamato **Green 2020**, si è tenuto conto delle indicazioni derivanti dalla Direttiva europea 2008,¹³ la quale invita, in primo luogo, alla prevenzione nella produzione dei rifiuti, nonché all'aumento della raccolta differenziata, con la corrispondente diminuzione della necessità degli impianti di discarica, soprattutto per lo stoccaggio del tal quale.

Di conseguenza, nello scenario Green, che ha come obiettivi comuni a tutte le Regioni la riduzione del volume totale di rifiuto prodotto pari al 10%, l'aumento della percentuale di raccolta differenziata fino al 70% e l'eliminazione del conferimento di rifiuti indifferenziati in discarica, si prevede una diminuzione consistente del numero degli impianti di trattamento dei rifiuti. Per tali motivi, per poter procedere alla simulazione di questo scenario è stato necessario adottare criteri di scelta degli impianti da dismettere in funzione degli impatti potenziali sulla salute, agendo, in prima battuta, sul numero di persone residenti nelle vicinanze degli impianti, poi sull'anno di attivazione dell'impianto.

Per gli impianti di incenerimento non sempre il primo criterio è quello prevalente: infatti, negli ultimi dieci anni molti impianti hanno visto adeguamenti e ristrutturazioni grazie ai quali anche inceneritori costruiti negli anni Ottanta mostrano impatti contenuti. Infine, per quanto riguarda gli impianti di trattamento meccanico biologico, si è deciso di mantenere gli impianti esistenti sia per il basso impatto che ne deriva, sia nella logica della riduzione del rifiuto indifferenziato. La tabella 1 sintetizza le caratteristiche dei tre scenari oggetto della valutazione SESPIR.

SCENARIO	Baseline	Regionale	Green 2020
ANNO DI RIFERIMENTO	2008-2009	2012-2013	2020
SETTING	impianti esistenti e attivi	modifiche avvenute e previste nello scenario impiantistico	Riduzione del 10% dei rifiuti prodotti; raccolta differenziata/compostaggio al 70%; divieto di conferimento in discarica del rifiuto indifferenziato tal quale

Tabella 1. Caratteristiche descrittive dei tre scenari analizzati per le valutazioni di impatto sulla salute.

Table 1. Descriptive characteristics of the three scenarios used for the health impact assessment.

Impianti in studio

Gli inceneritori, le discariche e gli impianti per il TMB per rifiuti urbani presenti nelle cinque Regioni che hanno partecipato al progetto SESPIR sono stati censiti e georeferenziati attraverso l'utilizzo del software ArcMap 10.1.¹⁴ Il sistema di riferimento utilizzato per la proiezione cartografica di tutti gli impianti è UTM WGS84 Fuso 33 Nord. Per verificare le attività di georeferenziazione condotte, sono state utilizzate le foto satellitari disponibili in Google Earth. Le coordinate dei punti georeferenziati si riferiscono al camino per gli inceneritori, al centroide della vasca attiva per le discariche, all'ubicazione dell'impianto per gli impianti di TMB.

In base alla letteratura e a esperienze precedenti,^{8-11,15} sono state individuate distanze differenti come limite probabile della dispersione delle emissioni di ciascuna tipologia di impianto. Più precisamente, sono stati considerati i seguenti *buffer* circolari:

- inceneritori: 3.000 metri;
- discariche: 2.000 metri;
- impianti di TMB: 500 metri.

Popolazione in studio

La popolazione esposta alle emissioni da impianti di smaltimento dei rifiuti è stata definita su base geografica come quella residente nel *buffer* specifico di ciascuna tipologia di impianto. Per le informazioni di popolazione sono stati utilizzati i dati geografici (in formato *shapefile*) relativi al censimento ISTAT 2001, considerando la popolazione per sezione di censimento suddivisa per genere e classi di età. Per le sezioni ricadenti parzialmente all'interno delle aree di interesse, si è

calcolata la porzione di popolazione interessata, assumendo una distribuzione uniforme della popolazione stessa all'interno della sezione di censimento, e utilizzando la formula:

$$Pop_reale = Pop_zona\ censuaria * (Area_compresa\ nel\ buffer / Area_zona\ censuaria)$$

Infine, i totali delle popolazioni che ricadono all'interno dei *buffer* considerati hanno costituito la popolazione esposta in studio.

Valutazione dell'esposizione

In funzione della disponibilità di informazioni per i vari impianti, sono stati adottati diversi approcci per la valutazione dell'esposizione della popolazione residente. Per gli inceneritori, l'uso di tecniche modellistiche ha consentito di stimare livelli diversi di concentrazione degli inquinanti emessi in un *buffer* di 3 km. Le mappe, prodotte utilizzando il modello di dispersione quasi-gaussiano *Atmospheric Dispersion Modeling System* (ADMS) *Urban 2.2*,¹⁶ riguardano la ricaduta di polveri (PM₁₀). Per poter effettuare le simulazioni sono stati raccolti, oltre ai dati meteorologici del periodo, i dati sulle caratteristiche di ciascun impianto e la quantità di rifiuto smaltita. Le simulazioni modellistiche dei nuovi impianti (scenario Regionale e Green) sono state realizzate considerando le emissioni dichiarate nell'Autorizzazione integrata ambientale (AIA) per ciascun inceneritore in studio.

Come esempio si riporta nella figura 1 la mappa delle concentrazioni stimate di PM₁₀ del termovalorizzatore di Modena.

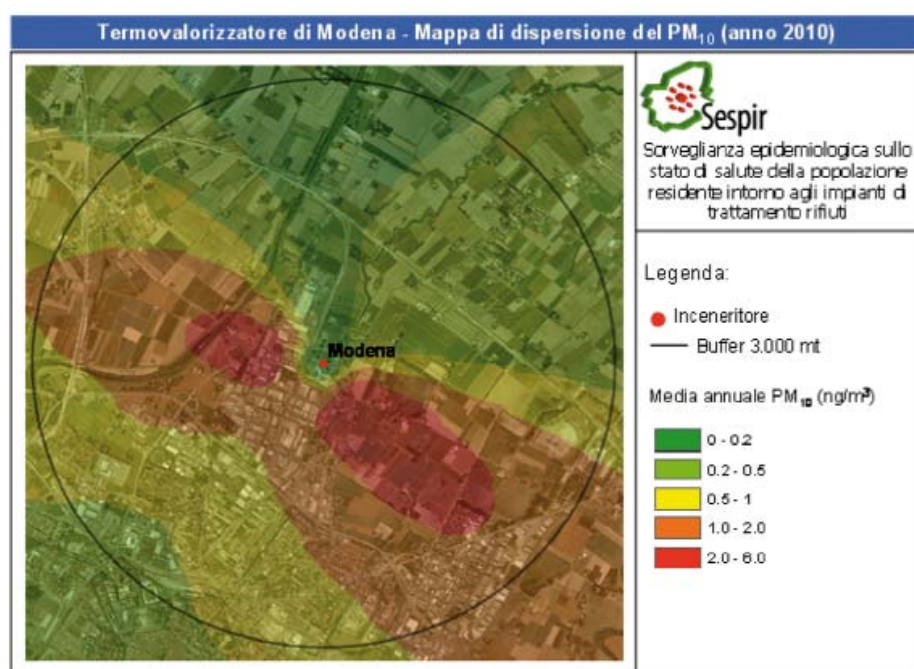


Figura 1. Mappa delle concentrazioni stimate di PM₁₀ del termovalorizzatore di Modena. Anno 2010. La mappa a colori è disponibile on-line al sito www.epiprev.it
Figure 1. Map of PM₁₀ estimated concentrations of the Modena incinerator (Emilia-Romagna Region, Central Italy). Year 2010. Coloured map is available on-line at www.epiprev.it

A partire dalle concentrazioni stimate dal modello di dispersione, a ogni soggetto è stata associata l'esposizione pari al valore di concentrazione stimato a livello di civico residenziale. Questi valori sono poi stati convertiti in quintili di popolazione a esposizione differente alle emissioni degli impianti, per essere utilizzati come indicatore di esposizione nelle analisi di valutazione di impatto.

In assenza di modelli di dispersione specifici, come misura *proxy* dell'esposizione della popolazione residente per le discariche e gli impianti di TMB è stata utilizzata la distanza dall'impianto, nell'ipotesi che il rischio diminuisca all'aumentare della distanza stessa. Tale distanza consente di tener conto di un'eventuale contaminazione non soltanto della matrice aria (come nel caso degli inceneritori), ma anche del suolo e delle acque circostanti gli impianti.

Caratterizzazione del rischio

Per quanto riguarda gli effetti dell'inquinamento da inceneritori, oltre a indicazioni per patologie tumorali e anomalie congenite, vi sono segnali anche per gli esiti riproduttivi (parti pre-termine).^{9,17} Per le discariche, le indicazioni di letteratura evidenziano difetti alla nascita, fastidio (*annoyance*) da emissioni odorigene e patologie respiratorie.^{4,11}

Poco si conosce sugli effetti degli impianti di trattamento meccanico biologico, con alcune segnalazioni recenti su fastidio da emissioni odorigene e sintomi respiratori.^{11,15}

La principale criticità dei lavori disponibili riguarda la modifica delle emissioni degli impianti che deriva dall'evoluzione temporale della tecnologia utilizzata dagli impianti stessi: tutto ciò rende i risultati degli studi epidemiologici disponibili in un certo senso dipendenti dal periodo e non esportabili a periodi temporali differenti da quelli studiati. Si evidenzia, quindi, la necessità di pensare a *review* delle evidenze articolate storicamente, con ovvie difficoltà legate, per esempio, alla diminuzione della disponibilità di studi nei diversi periodi.

Per l'applicazione degli algoritmi di stima degli impatti sono stati, quindi, raccolti i coefficienti di rischio specifici per patologia, ricavandoli dalla letteratura scientifica o da precedenti esperienze progettuali. In base a questa raccolta, le patologie che si è deciso di indagare tramite valutazioni di impatto sono riportate in tabella 2.

In tabella 3 sono riportate le funzioni dose-risposta considerate nelle valutazioni di impatto, assieme ai riferimenti di letteratura.

IMPIANTO	MISURA DI ESPOSIZIONE	OUTCOME SANITARIO
Inceneritore	Medie annue di PM10 da modelli di dispersione	• incidenza dei tumori • nascite pre-termine • altri esiti riproduttivi
Discarica	Distanza	• anomalie congenite • sintomi respiratori • ricoveri respiratori • <i>annoyance</i> odorigeno • basso peso alla nascita
Impianto di TMB	Distanza	• <i>annoyance</i> odorigeno • sintomi respiratori

Tabella 2. Esiti di salute considerati nelle valutazioni di impatto sulla salute.

Table 2. Health outcomes analyzed in the health impact assessment.

PRESSIONE	ESPOSIZIONE	OUTCOME	MISURA	REFERENZA
Inceneritore	Residenza entro 3 km	Incidenza tumori	RR: 1,035 (IC95% 1,03-1,04)	Elliott et al. 1996 ¹⁸
	Residenza nel più alto quintile di ricaduta dell'impianto	Nascita pre-termine	RR: 1,30 (IC95% 1,08-1,57)	Candela et al. 2013 ⁹
TMB	Residenza entro 200 m	Sintomi respiratori	OR: 3,18 (IC95% 1,24-8,36)	Herr et al. 2003 ¹⁵
	Residenza entro 200 m	<i>Annoyance</i> odorigeno	5,4%	Herr et al. 2003 ¹⁵
Discarica	Residenza entro 2 km	Basso peso nascita	RR: 1,06 (IC99% 1,052-1,062)	Elliott et al. 2001 ¹⁹
	Residenza entro 2 km	Anomalie congenite	RR: 1,02 (IC99% 1,01-1,03)	Elliott et al. 2001 ¹⁹
	Residenza entro 200 m	<i>Annoyance</i> odorigeno	5,4%	Herr et al. 2003 ¹²
	Residenza entro 5 km	Ricoveri per malattie respiratorie	RR: 1,05 (IC95% 1,01-1,08)	Studio ERAS ¹¹

Tabella 3. Funzioni dose-risposta considerate nella valutazioni di impatto e relativi riferimenti bibliografici.

Table 3. Dose-response functions used in health impact assessment, and related references.

Calcolo degli impatti

Tutte le simulazioni di impatto sono state calcolate a partire dalla formula generale per il calcolo dei casi attribuibili:

$$AC = AF_{exp} * Rate_{popgen} * Pop_{exp}$$

dove:

AC = casi attribuibili;

AF_{exp} = frazione attribuibile negli esposti $(RR - 1) / RR$;

$Rate_{popgen}$ = tasso di incidenza di *background* nella popolazione generale (che approssima il tasso nella popolazione non esposta);

Pop_{exp} = numerosità della popolazione esposta.

Per calcolare l'incidenza di *background* specifica per sito sono stati raccolti i dati a livello regionale relativi ai tassi d'incidenza delle patologie considerate. Sono stati, poi, ricostruiti i tassi di mortalità e morbosità a livello regionale per le cause oggetto delle valutazioni di impatto, così come codificati dall'ISTAT. Queste informazioni hanno completato il *dataset* di informazioni utili al calcolo degli impatti.

Indicatori di outcome di salute

Per il calcolo dei casi attribuibili sono stati adottati i seguenti indicatori di salute:

- incidenza tumorale;
- incidenza di malformazioni congenite e basso peso alla nascita;
- prevalenza di nascite pre-termine;
- prevalenza di disturbi respiratori;
- prevalenza di *annoyance* odorigeno;

Indicatori per le analisi di impatto

Per le analisi di impatto, oltre al calcolo dei casi attribuibili, è stato scelto un indicatore che permettesse di sommare i contributi di ciascuna patologia in un calcolo relativo al carico di malattia complessivo.

È stato considerato, quindi, il *Disability Adjusted Life Years* (DALY), che considera la somma degli anni di vita persi (YLL) e gli anni vissuti con disabilità (YLD).

Utilizzando il metodo di calcolo esatto proposto dal *Victorian Burden of Disease Study*,²⁰ sono stati calcolati i DALYs, approssimati, in questo caso, agli YLD (cioè non considerando gli anni di vita persi a causa di mortalità per tumore successivo alla malattia); tale approssimazione riguarda una percentuale molto piccola di casi. È stata quindi utilizzata la formula:

$$YLD = I * DW * L$$

dove:

I = numero di casi incidenti (casi attribuibili, come definiti sopra);

DW = includendo pesi relativi alla gravità della malattia (*Disability Weight*);

L = durata della patologia

Sono stati applicati i seguenti valori agli esiti in studio:

- tumori: DW = 0,44; L = 12,6 anni;
- sintomi respiratori: DW = 0,08; L = 1 (prevalenza);
- basso peso alla nascita e nascita pre-termine: DW = 0,106; L = 79,6 anni;
- anomalie congenite: DW = 0,17; L = 79,6 anni;
- *annoyance* odorigeno: DW = 0,03; L = 1 (prevalenza).

I valori di DW e L proposti dal *Victorian Burden of Disease Study* forniscono un'indicazione della riduzione della qualità di vita a causa della malattia. Il peso di DW varia da 0 (sano) a 1 (morte).

Considerazioni sulle analisi di impatto

Per le analisi di impatto relative all'incidenza dei tumori in relazione alla vicinanza a impianti di incenerimento è stata adottata e migliorata la metodologia messa a punto all'interno del Progetto INTARESE, applicandola all'esposizione ricavata dalle mappe di ricaduta degli inquinanti.

Lo strumento fornisce la stima del numero di casi di tumore attribuibili all'esposizione a inceneritore a un determinato tempo, tenendo conto dell'età della popolazione esposta, del periodo di funzionamento dell'impianto, dell'esposizione cumulata, della latenza dalla prima esposizione e dell'eventuale dismissione dell'impianto stesso. La stima di casi di tumori attribuibili all'impianto è calcolata correggendo l'eccesso di rischio di riferimento a partire da una serie di assunzioni e considerazioni, riportate qui di seguito:

- si assume come riferimento iniziale il valore 3,5% (IC95% 3-4),¹⁸ che riflette il rischio addizionale di incidenza di tumore per una popolazione residente entro 3 km dall'inceneritore con un'esposizione di 20 anni ai livelli di contaminazione presenti nel periodo 1960-1980;
- i livelli di esposizione variano con il periodo di calendario e sono valutati tramite coefficienti dell'esposizione nel tempo, che tengono conto degli ammodernamenti degli impianti;
- per ogni classe di età viene calcolata l'esposizione cumulata come somma dei contributi espositivi durante i diversi periodi;
- si assume che ci sia una risposta cancerogena che inizia 10 anni dopo la prima esposizione e il cui effetto sia completo dopo 20 anni; se l'esposizione è rimossa, il rischio decresce con il tempo dalla cessazione;
- la popolazione non cambia nel tempo per numerosità e distribuzione nelle classi di età;
- La popolazione residente all'interno dei 3 km viene suddivisa in livelli crescenti di esposizione, a partire dai modelli

di dispersione, introducendo 5 classi basate sui quintili della distribuzione dei valori di esposizione della popolazione, calcolati a livello di sezione di censimento. A ciascun quintile è assegnato un valore crescente di eccesso di rischio (ER); il valore di ER all'interno della formula generale viene, così, a essere la somma pesata di 5 eccessi di rischio differenti, variabili arbitrariamente da 1 a 7, secondo la formula:

$$ER_{mappa} = \frac{ER_1 * pop_1 + \dots + ER_5 * pop_5}{\sum_i^5 pop_i}$$

dove:

ER_i = eccesso di rischio

pop_i = popolazione esposta per la classe di esposizione i-esima.

Le mappe di ricaduta sono state utilizzate anche per stimare il numero atteso di parti pre-termine in eccesso dovuti all'esposizione a inceneritori, ed è basato sui risultati dello studio Monitor. A tal fine è stato prodotto un foglio di calcolo per la stima dei casi attribuibili di parti pre-termine.

Per quanto riguarda gli impatti, calcolati per discariche e per impianti di TMB, le analisi di impatto sono state basate sulla distanza della residenza dagli impianti e riportano i casi attribuibili come prevalenze (*annoyance* e sintomi respiratori) o incidenze cumulative (malformazioni ed esiti riproduttivi). Appare evidente la differenza metodologica e la minore disponibilità di informazioni per la valutazione dell'esposizione rispetto agli impianti di incenerimento. La sola distanza dall'impianto (più precisamente dal suo centroide) e l'esposizione uniforme della popolazione entro l'area di studio sono sicuramente due fonti importanti di approssimazione dell'esposizione. Peraltro, considerare il centroide determina un'approssimazione che è tanto maggiore quanto è estesa l'area della vasca attiva di una discarica.

L'applicazione di modelli di diffusione aerea delle emissioni inquinanti di una discarica è meno frequente e più complicata che per un impianto di incenerimento, dove il punto di emissione sicuro, l'altezza del camino e la conoscenza di tutti i parametri di uscita dei fumi permettono simulazioni del tutto attendibili.

Pur esistendo esperienze di applicazione di modelli di diffusione degli inquinanti emessi dalle discariche,^{11,21} la non completezza di dati disponibili per tutte le Regioni considerate non ha permesso di applicare questa metodologia. A conoscenza degli autori, non esistono esperienze analoghe per gli impianti di trattamento meccanico biologico.

Queste considerazioni rientrano nelle valutazioni sull'incertezza, legata alle stime di impatto e alla definizione degli scenari controfattuali, ovvero le situazioni relative alla modifica o rimozione del fattore di rischio in studio, che in epidemiologia sono spesso una situazione complessa da trattare. La na-

tura dell'incertezza sulle stime prodotte è legata anche alla scelta arbitraria della situazione di confronto, che in genere si riconduce al rischio della popolazione in assenza del fattore di pressione indagato. Una distorsione nella valutazione di questo scenario di partenza inficerà anche le stime di rischio attribuibili alla politica o soluzione studiata.

L'incertezza sulle stime di impatto è legata principalmente a due fattori: le stime di esposizione e quelle di effetto. Mentre le stime di effetto riportano gli intervalli di confidenza, fornendo, quindi, anche una misura di imprecisione, raramente la stima dell'esposizione è accompagnata da un'informazione simile. Questo problema, tipico delle indagini di epidemiologia ambientale, è legato anche al tema della propagazione dell'incertezza della stima dell'esposizione sulle successive stime di effetto sanitario e di impatto.²²

Come già sottolineato, nelle analisi eseguite per il presente studio le stime di esposizione all'inquinamento da inceneritori sono sicuramente più accurate rispetto a quelle relative a discariche e TMB, perché frutto di analisi più complesse e fini sulla diffusione degli inquinanti emessi dagli impianti. In letteratura esistono validazioni di questo approccio basato sui modelli di esposizione adottati per gli inceneritori,²³⁻²⁵ che di fatto autorizzano gli epidemiologi a essere confidenti sui gradienti di esposizione individuati, al netto di una possibile sovrastima o sottostima non differenziale all'interno dell'area in studio. L'utilizzo di una misura surrogata, quale la distanza, per le stime relative alle altre due tipologie di impianto considerate non permette, viceversa, nessun tipo di ragionamento quantitativo sulla distribuzione dell'errore di misclassificazione, lasciando spazio solo a considerazioni di tipo qualitativo.

E' peraltro vero che, nella sua genericità, questa misura permette di considerare indirettamente altre tipologie di esposizione oltre a quella inalatoria (per esempio, inquinamento della falda circostante a una discarica), che rendono questo tipo di misura geografica surrogata ancora di interesse nelle analisi epidemiologiche.

Altro fattore di incertezza e di possibile distorsione è legato alle altre esposizioni. Il confronto temporale congela di fatto le altre esposizioni, tra cui quelle potenzialmente correlate all'esito di salute indagato che sono di notevole interesse per la valutazione. Nel caso dei metodi qui presentati, riguarda per esempio le assunzioni sull'evoluzione temporale delle condizioni degli impianti e della popolazione. Le simulazioni di impatto mostrate in questo studio non tengono conto delle conseguenze dell'evoluzione tecnologica degli impianti, delle condizioni socioeconomiche o delle dinamiche demografiche della popolazione, congelando queste situazioni al dato di partenza. Si pone l'attenzione solo sugli effetti diretti delle azioni di gestione dei rifiuti solidi urbani, sviluppando scenari previsionali di ricaduta sulle condizioni ambientali, sull'esposizione umana e sulla salute.

CONCLUSIONI

Il progetto SESPIR ha fornito gli strumenti operativi per la stima quantitativa degli impatti delle diverse politiche di gestione dei rifiuti solidi urbani; il presente articolo ne ha illustrato la metodologia.

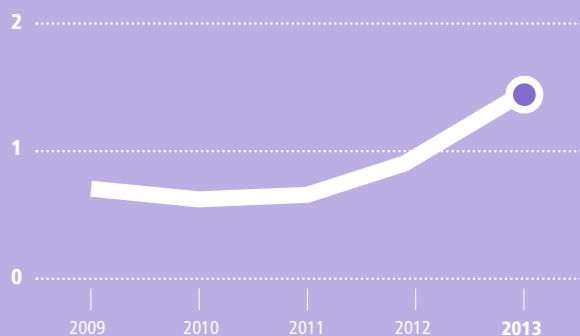
Il modello proposto è versatile e integrabile, qualora la disponibilità dei dati permetta un miglioramento delle stime.

Si ritiene che l'applicazione della metodologia proposta nel presente lavoro possa fornire uno strumento utile ai decisori per la valutazione degli impatti sulla salute presenti e futuri, legati a variazioni nelle politiche di gestione dei rifiuti a livello locale e nazionale.

Conflitti di interesse dichiarati: nessuno.

BIBLIOGRAFIA

1. Vrijheid M. Health effects of residence near hazardous waste landfill sites: a review of epidemiologic literature. *Environ Health Perspect* 2000;108 Suppl 1:101-12.
2. Allsopp M, Costner P, Johnston P. Incineration and human health. State of knowledge of the impact of waste incinerators on human health. *Environ Sci Pollut Res Int* 2001;8(2):141-5.
3. Franchini M, Rial M, Buiatti E, Bianchi F. Health effects of exposure to waste incinerator emissions: a review of epidemiological studies. *Ann Ist Super Sanita* 2004;40(1):101-15.
4. Porta D, Milani S, Iazzarino AI, Perucci CA, Forastiere F. Systematic review of epidemiological studies on health effects associated with management of solid waste. *Environ Health* 2009;8:60.
5. Mattiello A, Chiodini P, Bianco E et al. Health effects associated with the disposal of solid waste in landfills and incinerators in populations living in surrounding areas: a systematic review. *Int J Public Health* 2013;58(5):725-35.
6. World Health Organization. *Population health and waste management: scientific data and policy options*. Copenhagen, World Health Organisation Regional Office for Europe, 2007. Disponibile all'indirizzo: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0012/91101/E91021.pdf
7. Integrated Assessment of Health Risks of Environmental Stressors in Europe – INTARESE. WP 3.6 Waste Assessment report. Project co-funded by the European Commission with the Sixth Framework Programme (2002-2006). Disponibile all'indirizzo: www.intarese.org
8. Forastiere F, Badaloni C, de Hoogh K et al. Health impact assessment of waste management facilities in three European countries. *Environ Health* 2011;10:53.
9. Candela S, Ranzi A, Bonvicini L et al. Air pollution from incinerators and reproductive outcomes: a multisite study. *Epidemiology* 2013;24(6):863-70.
10. Ranzi A, Fano V, Erspamer L, Lauriola P, Perucci CA, Forastiere F. Mortality and morbidity among people living close to incinerators: a cohort study based on dispersion modeling for exposure assessment. *Environ Health* 2011;10:22.
11. Progetto Epidemiologia Rifiuti Ambiente e Salute (ERAS) Lazio. Disponibile all'indirizzo: www.eraslazio.it
12. Ranzi A, Ancona C, Angelini P et al. Impatto sulla salute delle politiche di gestione dei rifiuti solidi urbani: i risultati del progetto SESPIR. *Epidemiol Prev* 2014;38(5):313-22.
13. Direttiva 2008/98/CE del Parlamento europeo e del consiglio. *Gazzetta ufficiale* del 22.11.2008. Disponibile all'indirizzo: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=OJ:L:2008:312:TOC>
14. ESRI: ArcMap: Release 10.1 Redlands, California, USA; 2012.
15. Herr CE, Zur Nieden A, Jankofsky M, Stilianakis NI, Boedeker RH, Eikmann TF. Effects of bioaerosol polluted outdoor air on airways of residents: a cross sectional study. *Occup Environ Med* 2003;60(5):336-42.
16. ADMS. Cambridge Environmental Research Consultants, Cambridge, UK
17. Lin CM, Li CY, Mao IF. Birth outcomes of infants born in areas with elevated ambient exposure to incinerator generated PCDD/Fs. *Environ Int* 2006;32(5):624-9.
18. Elliott P, Shaddick G, Kleinschmidt I et al. Cancer incidence near municipal solid waste incinerators in Great Britain. *Br J Cancer* 1996;73(5):702-10.
19. Elliott P, Briggs D, Morris S et al. Risk of adverse birth outcomes in populations living near landfill sites. *BMJ* 2001;323(7309):363-8.
20. Victorian Government Department of Human Services. *Victorian burden of disease study. Mortality and morbidity in 2001*. Melbourne, Public Health Group, Rural and Regional Health and Aged Care Services Division, 2005.
21. LandGem Model. Disponibile all'indirizzo: http://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?dirEntryId=63593
22. El-Shaarawi AH, Piegorsch WW (eds). *Encyclopedia of Environmental Metrics, Volume 3*. Chichester, John Wiley & Sons, 2002.
23. Ashworth DC, Fuller GW, Toledano MB et al. Comparative assessment of particulate air pollution exposure from municipal solid waste incinerator emissions. *J Environ Public Health* 2013;2013:560342.
24. Cordioli M, Ranzi A, De Leo GA, Lauriola P. A review of exposure assessment methods in epidemiological studies on incinerators. *J Environ Public Health* 2013;2013:129470.
25. Floret N, Viel JF, Lucot E et al. Dispersion modeling as a dioxin exposure indicator in the vicinity of a municipal solid waste incinerator: a validation study. *Environ Sci Technol* 2006;40(7):2149-55.



e&p IMPACT FACTOR

1.456

**L'avete saputo? L'impact factor di Epidemiologia&Prevenzione,
rivista dell'Associazione italiana di epidemiologia,
ha raggiunto quota 1,456.**

**Un aumento di oltre il 50% rispetto alla valutazione precedente.
Niente male per una rivista in italiano!**

Per questo bel risultato ringraziamo tutti i ricercatori che hanno scelto **E&P** (e i suoi Supplementi) come veicolo per far conoscere i risultati dei propri studi alla comunità scientifica italiana e internazionale.

Ringraziamo caldamente anche tutti coloro che in questi anni hanno dedicato tempo al paziente lavoro di revisione degli articoli e dei supplementi sottoposti per pubblicazione.

E&P è la più importante rivista italiana dedicata alla pubblicazione di articoli scientifici, commenti, opinioni e sviluppi metodologici nel campo della ricerca epidemiologica.

Si rivolge sia agli epidemiologi, sia agli operatori di sanità pubblica, ai clinici e ai programmatori sanitari che basano il proprio lavoro su dati epidemiologici.

Inoltre **E&P** non nasconde l'ambizione di interagire anche con un pubblico più ampio di quello degli addetti ai lavori.

E&P non ha sponsor commerciali o di altro genere, si sostiene solo con il contributo economico dei suoi lettori e dei suoi autori.

Per continuare a garantire il livello qualitativo fin qui mantenuto e per ampliare l'offerta ai lettori, soprattutto sul versione digitale di **E&P**, **nel 2015 rinnoveremo le nostre politiche editoriali passando parzialmente alla pubblicazione open access.** Per saperne di più tenetevi in contatto!