

Stato di salute della popolazione residente nei pressi dei termovalorizzatori del Lazio: uno studio di coorte retrospettivo con approccio pre-post

Morbidity in a population living close to urban waste incinerator plants in Lazio Region (Central Italy): a retrospective cohort study using a before-after design

¹ Dipartimento di epidemiologia, Servizio sanitario regionale del Lazio, Roma

² Agenzia regionale per la protezione ambientale del Lazio, Roma

Corrispondenza
Martina Nicole Golini
m.golini@deplazio.it

Martina Nicole Golini,¹ Carla Ancona,¹ Chiara Badaloni,¹ Andrea Bolignano,² Simone Bucci,² Roberto Sozzi,² Marina Davoli,¹ Francesco Forastiere¹

Epidemiol Prev 2014; 38(5): 323-334

INTRODUZIONE: le conoscenze disponibili sulla salute dei residenti in prossimità di termovalorizzatori suggeriscono un'associazione con esiti riproduttivi e alcune forme tumorali, tuttavia il grado di evidenza è ancora limitato.

OBIETTIVI: valutare l'associazione tra livelli di inquinamento atmosferico e ricorso alle cure ospedaliere per patologie respiratorie e cardiovascolari nei periodi pre- e post-operatività dei termovalorizzatori di Colferro e San Vittore del Lazio.

METODI: approccio di coorte retrospettivo. Sono stati arruolati i residenti tra il 01.01.1996 e il 31.12.2008 in un'area di 7 km dagli impianti. Gli indirizzi di residenza al *baseline* sono stati georeferenziati. È stato usato il modello lagrangiano a particelle SPRAY per stimare i livelli di esposizione alle emissioni dei termovalorizzatori e sono state definite tre zone a bassa, media e alta concentrazione di PM₁₀ (ng/m³). L'esposizione al PM₁₀ (µg/m³) da emissioni primarie derivanti da fonti di traffico stradale, industriali e civili è stata stimata mediante l'integrazione delle catene modellistiche RAMS e

FARM. Sono state studiate le ospedalizzazioni dei residenti nel periodo precedente (1996-2002) e successivo (2003-2008) all'attivazione dei termovalorizzatori. L'associazione tra residenza nelle tre zone e ricoveri nei due periodi è stata stimata utilizzando il modello multivariato di Cox (per eventi ripetuti) aggiustando per età, livello socioeconomico, distanza dalle industrie, dalle strade trafficate e dalle autostrade. Per testare l'effetto dei termovalorizzatori è stato utilizzato un termine di interazione tra il periodo di follow-up (prima-dopo) e i livelli di esposizione al PM₁₀.

RISULTATI: sono stati arruolati 47.192 residenti. L'analisi della morbosità associata all'inquinamento prodotto dai termovalorizzatori dopo la loro entrata in funzione non ha evidenziato un maggior ricorso alle cure ospedaliere sul totale dei residenti nelle aree ad alta concentrazione rispetto al gruppo di riferimento. Si riscontra, tuttavia, un aumento delle malattie dell'apparato respiratorio e della broncopneumopatia cronica ostruttiva (BPCO) all'aumentare del PM₁₀ derivante dagli impianti. Tale effetto è dovuto agli eccessi delle ospedalizzazioni per queste cause osservati tra gli uomini residenti nelle zone ad alta esposizione (rispettivamente, *hazard ratio* – HR: 1,26; IC95% 0,99-1,60 e HR: 1,86; IC95% 1,04-3,33). Si è osservata, inoltre, un'associazione tra l'esposizione all'inquinamento di fondo da altre fonti e le ospedalizzazioni per malattie del sistema circolatorio (HR: 1,08; IC95% 1,03-1,13) e respiratorio (HR: 1,07; IC95% 1,02-1,11) (effetti per incrementi unitari del PM₁₀, µg/m³).

CONCLUSIONI: lo studio ha messo in luce un effetto dell'esposizione all'inquinamento prodotto dai termovalorizzatori sulle patologie respiratorie dei residenti di sesso maschile. Si ritiene opportuna una continua sorveglianza epidemiologica della popolazione residente in quest'area, che è una delle aree a più elevata criticità ambientale del Lazio.

Parole chiave: termovalorizzatori, inquinamento ambientale, studio di coorte retrospettivo, disturbi respiratori, malattie cardiovascolari

Cosa si sapeva già

- Gli effetti sulla salute associati alla residenza in vicinanza di termovalorizzatori sono stati documentati in numerosi studi, principalmente ecologici, e da numerose revisioni sistematiche della letteratura.
- Le evidenze disponibili suggeriscono una relazione con alcuni esiti riproduttivi e alcune forme tumorali.
- Sussistono ancora molte incertezze, legate principalmente alla scelta del disegno dello studio e al mancato controllo di potenziali confondenti, che limitano l'interpretazione globale dei risultati.

Cosa si aggiunge di nuovo

- Lo studio, eseguito con un approccio di coorte retrospettivo, ha consentito di valutare l'effetto dell'entrata in funzione di due impianti confrontando lo stato di salute dei residenti nei pressi dei termovalorizzatori considerati nel periodo precedente e successivo alla loro attivazione.
- Lo studio mostra un aumento delle ospedalizzazioni per patologie dell'apparato respiratorio connesso all'entrata in funzione degli impianti; tale eccesso risulta a carico degli uomini.

ABSTRACT

Morbidity in a population living close to urban waste incinerator plants in Lazio Region (Central Italy): a retrospective cohort study using a before-after design

Epidemiol Prev 2014; 38(5): 323-334

BACKGROUND: the body of evidence on health effects of residential exposure to urban waste incinerators suggests association with reproductive outcomes and some cancers, but the overall evidence is still limited.

OBJECTIVES: we evaluated the impact of two incinerators on hospital admissions for respiratory and cardiovascular diseases in a cohort of people living nearby two incineration plants in Lazio Region (Central Italy) using a before-and-after design.

METHODS: the study area was defined as the 7-km radius around the incinerators. People who were resident in the area from 1996 to 2008 were enrolled in a retrospective longitudinal study. All addresses were geocoded. A Lagrangian dispersion model (SPRAY) for PM₁₀ (ng/m³) was used for incinerators exposure assessment. Average annual concentration of background PM₁₀ (µg/m³) was estimated on a regional basis by means of RAMS and FARM models. Both PM₁₀ exposures were estimated at the res-

idential address. All subjects were followed for hospital admissions in the period before (1996-2002) and after (2003-2008) the activation of the plants. The association between exposure to emissions from incinerators and hospitalizations in the two periods was estimated using the multivariate Cox model (for repeated events), adjusting for age, area-level socioeconomic status, distance from industries, traffic roads and highways. An interaction term between the period of follow-up (before or after the activation of the plants) and the exposure levels was used to test the effect of the incinerators.

RESULTS: 47,192 subjects resident in the study area were enrolled. No clear association between pollution exposure from incinerators and cause-specific morbidity of residents in highest concentration areas was found when compared to the reference group. However, an effect of PM₁₀ on respiratory diseases and chronic obstructive pulmonary disease was suggested.

The effect was due to excesses of hospitalizations for the same causes among men living in highest exposure areas in respect to the reference group (hazard ratio – HR: 1.26; 95%CI 0.99-1.60, and HR: 1.86; 95%CI 1.04-3.33, respectively). There were associations between exposure to background pollution from other sources and hospitalizations for diseases of the circulatory system (HR: 1.08; 95%CI 1.03-1.13) and respiratory diseases (HR: 1.07; 95%CI 1.02-1.11) (for a unitary increment of PM₁₀, µg/m³).

CONCLUSIONS: living in areas with high PM₁₀ levels due to incinerators was associated with increased morbidity levels for respiratory disorders among men. The study area is critical from an environmental point of view, hence an epidemiological surveillance is recommended.

Keywords: incinerators, environmental pollution, retrospective longitudinal study, respiratory diseases, cardiovascular diseases

INTRODUZIONE

I termovalorizzatori sono impianti di incenerimento di rifiuti ad alta temperatura finalizzati alla produzione di energia elettrica e termica. Si distinguono, dunque, dagli inceneritori di vecchia generazione che si limitavano alla sola termodistruzione dei rifiuti senza sfruttare il contenuto calorico dei rifiuti. Il recupero energetico dei rifiuti, se attuato con impianti a elevate prestazioni energetiche e di depurazione dei fumi e su rifiuti non altrimenti recuperabili, consente il risparmio di risorse energetiche e permette di evitare le emissioni di gas serra degli impianti alimentati a combustibili fossili e delle discariche. Tuttavia, il processo di combustione genera e rilascia in atmosfera inquinanti, quali diossine, metalli, particolato (PM), azoto, ossidi di zolfo,^{1,2} riconosciuti come composti tossici.³⁻⁶

Gli effetti sulla salute associati alla residenza in prossimità di inceneritori e termovalorizzatori sono stati documentati in diverse revisioni sistematiche della letteratura.⁷⁻⁹ Le evidenze disponibili suggeriscono una relazione con alcuni esiti riproduttivi (mortalità infantile e malformazioni congenite, mortalità neonatale, nascita pre-termine e basso peso alla

nascita) e alcune forme tumorali (tutti i tumori, laringe, polmoni, esofago, stomaco, intestino, fegato, reni, vescica e seno). Tuttavia, questi risultati non sono esenti da limiti principalmente connessi alla scelta del disegno, alla carenza di informazioni sull'esposizione, all'impiego di misure surrogate, come la distanza dalla fonte, nonché al mancato controllo di potenziali confondenti, quali le caratteristiche individuali delle persone esposte.

Alcune indagini più dettagliate condotte in Italia e in Francia suggeriscono un aumento del rischio per linfoma non Hodgkin,¹⁰⁻¹³ sarcoma del tessuto connettivo,¹⁴⁻¹⁷ malformazioni delle vie urinarie alla nascita,¹⁸ nascite pretermine¹⁹ e malattie dell'apparato respiratorio.²⁰ Alcuni di questi studi hanno usato modelli di dispersione per stimare l'esposizione agli inquinanti prodotti dagli impianti^{10,13,17-19} migliorando in tal modo il limite principale degli studi condotti precedentemente, che utilizzavano come misura di esposizione la distanza. Nell'ultimo decennio sono stati condotti alcuni studi di biomonitoraggio umano e ambientale allo scopo di misurare le emissioni effettive degli impianti, caratterizzarne le componenti ed eventualmente confrontare le misurazioni empiriche

con quelle stimate dai modelli predittivi, nonché individuare le eventuali correlazioni con indicatori di effetto a breve e lungo termine.²¹⁻²³ Infine, diverse valutazioni di impatto sanitario delle emissioni degli impianti di incenerimento sulla popolazione residente hanno distinto gli effetti delle esposizioni di inceneritori di vecchia e nuova generazione.²⁴⁻²⁶

Obiettivo di questo studio è di valutare lo stato di salute dei residenti nei pressi dei termovalorizzatori di Colferro (Roma) e San Vittore del Lazio (Frosinone) nel periodo precedente e successivo all'attivazione degli impianti. Sono stati utilizzati modelli di dispersione degli inquinanti per la valutazione dell'esposizione e sono stati considerati diversi fattori di confondimento, incluso il livello di inquinamento atmosferico di fondo dell'area in studio e la presenza di altri impianti industriali. Lo studio è stato condotto nell'ambito del progetto ERAS Lazio (Epidemiologia, rifiuti, ambiente e salute) che ha valutato lo stato di salute dei lavoratori e dei residenti esposti agli inquinanti emessi dagli impianti per il trattamento di rifiuti urbani della Regione Lazio.²⁷

METODI

Caratteristiche dei termovalorizzatori

Il termovalorizzatore di Colferro (altezza della ciminiera: 50 m; capacità autorizzata: 334 t/giorno di combustibile da rifiuti – CDR; tasso di emissioni di NO_x: 54 t/a) occupa un'area di circa 30.000 m² e consiste in due linee di trattamento, la prima delle quali attivata nel dicembre 2002, la seconda nel giugno del 2003. L'impianto di San Vittore del Lazio (altezza della ciminiera: 50 m; capacità autorizzata: 304 t/giorno di CDR; tasso di emissioni di NO_x: 111 t/a) si estende in un'area di circa 50.000 m² e lavora su una singola linea di trattamento attivata nell'agosto del 2002.

Area in studio

Il territorio di Colferro è una delle aree del Lazio maggiormente critiche dal punto di vista ambientale. A partire dall'inizio del Novecento, iniziò la produzione industriale di polveri da sparo ed esplosivi e, negli anni, la gamma di produzione si estese ai concimi arrivando a comprendere ulteriori divisioni attive nei settori della meccanica, della produzione manifatturiera, dell'industria tessile e chimica; tra questi impianti, è annoverato anche un cementificio situato nelle immediate vicinanze dell'attuale centro residenziale della città (Colferro Scalo). La presenza decennale di questi e altri stabilimenti ha esposto il territorio di Colferro e della valle del fiume Sacco a sostanze inquinanti per l'ambiente, causando la contaminazione delle falde acquifere e del terreno. Nel 1990 furono individuate e sottoposte a sequestro discariche incontrollate di rifiuti industriali caratterizzate da una massiccia presenza di Beta-esaclorocicloesano, una sostanza organo-clorurata che negli anni ha causato la contaminazione del fiume Sacco. Le analisi epidemiologiche finora

disponibili hanno evidenziato un eccesso di mortalità tumorale tra gli uomini e per diabete tra le donne, oltre a un eccesso di ospedalizzazioni per disturbi dell'apparato respiratorio (uomini e donne), per mieloma e tumore tiroideo (uomini), e disordini della tiroide (donne).²⁸ L'indagine, inoltre, ha raccolto e analizzato i campioni di sangue dei residenti in quattro aree della valle del Sacco caratterizzate da differenti livelli di esposizione a inquinanti organici persistenti e metalli pesanti, rilevando una maggiore contaminazione nelle popolazioni residenti sulle sponde del fiume.²⁹ L'area oggetto del presente studio è quella compresa in un raggio di 5 km dal termovalorizzatore di San Vittore e, a causa della complessità ambientale del territorio sopra descritta, entro 7 km dal termovalorizzatore di Colferro. I due termovalorizzatori sono stati georeferenziati nel loro punto centrale mediante il sistema *Geographic Information System* (GIS) utilizzando il sistema di riferimento WGS84_UTM33N.

Modello di dispersione degli inquinanti e indicatori di esposizione

È stato usato il modello lagrangiano a particelle SPRAY versione 5³⁰ per stimare la concentrazione al suolo di PM₁₀, scelto come tracciante dell'inquinamento prodotto dai termovalorizzatori. Il modello ha utilizzato informazioni sul quantitativo di CDR autorizzato, sulle caratteristiche specifiche dei camini (altezza e diametro, temperatura e velocità di uscita), sull'orografia del terreno, sui parametri meteorologici³¹ e sui fenomeni di turbolenza di emissioni, e ha restituito una mappa delle concentrazioni stimate di PM₁₀ al suolo con risoluzione di 500x500 m. Relativamente all'impianto di Colferro, i valori emissivi utilizzati per la stima modellistica delle concentrazioni al suolo sono stati ottenuti sommando le emissioni delle due linee.

L'esposizione all'inquinamento atmosferico di fondo, derivante dalle emissioni primarie da traffico stradale, industriale e civile, è stata stimata, invece, su base regionale attraverso il censimento delle emissioni primarie registrate nell'anno 2005.³² L'inquinante scelto come tracciante è, anche in questo caso, il PM₁₀. Il modello è stato sviluppato mediante l'integrazione del modello meteorologico *Regional Atmospheric Modeling System*³¹ e del modello euleriano *Flexible Air quality Regional Model*³³ ottenendo una mappa delle concentrazioni al suolo con una risoluzione di 4x4 km.

Arruolamento della coorte e attribuzione delle caratteristiche individuali ai soggetti

Lo studio è stato condotto con un approccio di coorte residenziale retrospettivo.³⁴ La popolazione d'interesse è costituita da tutti i residenti al 01.01.1996 o successivamente entrati fino al 31.12.2008, mentre per San Vittore del Lazio è stato possibile ricostruire la coorte di popolazione

solo a partire dal 01.01.2000. L'accertamento dello stato in vita è al 31.12.2008; coloro che sono emigrati dal Comune di residenza sono stati considerati vivi fino alla data di emigrazione e il loro follow-up concluso in tale data. Le informazioni anagrafiche e residenziali della coorte sono state reperite dagli archivi dei registri anagrafici forniti dai Comuni interessati e sono state sottoposte a un'accurata procedura di controllo di qualità.

Per ogni individuo della coorte è stato stabilito l'indirizzo di residenza al *baseline*, ovvero il primo indirizzo di residenza per i nuovi iscritti all'anagrafe (per nascita o immigrazione); tutti gli indirizzi sono stati georeferenziati mediante il sistema GIS e l'interrogazione delle mappe del sistema TELEATLAS.³⁵

A ogni soggetto della coorte è stato, dunque, attribuito un valore di PM₁₀, tracciante dell'esposizione ai termovalorizzatori, stimato all'indirizzo di residenza e sono state definite tre classi di esposizione:

- bassa esposizione (riferimento) caratterizzata da valori del PM₁₀ inferiori al 50° percentile;
- media esposizione corrispondente a valori del PM₁₀ tra il 50° e l'80° percentile, valori estremi inclusi;
- alta esposizione per concentrazioni di PM₁₀ superiori all'80° percentile.

Per ciascun indirizzo è stato anche stimato un valore di PM₁₀ da emissioni primarie, tracciante dell'inquinamento di fondo.

La mappatura degli indirizzi con il sistema GIS ha permesso anche di calcolare, per ogni soggetto, la distanza tra l'indirizzo di residenza e le autostrade, le strade principali caratterizzate da traffico intenso e le industrie presenti nel territorio. Relativamente al termovalorizzatore di Colferro è stata anche considerata la residenza nell'area di Colferro Scalo (area limitrofa agli insediamenti industriali e il cementificio) e la residenza entro 1 km dal fiume Sacco. Infine, a ciascun soggetto è stato attribuito un indicatore di posizione socioeconomica (SEP) corrispondente alla sezione di censimento di appartenenza.³⁶

Esiti in studio

I termovalorizzatori in studio sono entrambi entrati in funzione nel 2002, periodo relativamente breve per valutare eventuali esiti associati a esposizioni di lungo periodo. Per questo motivo gli esiti considerati sono le ospedalizzazioni dei residenti per cause naturali, escludendo parto e traumi (ICD-9-CM 001-629; 677-799), malattie cardiovascolari (ICD-9-CM 390-459) e patologie dell'apparato respiratorio (ICD-9-CM 460-519), assumendo che per queste patologie il tempo di latenza sia sufficiente. Le informazioni derivano dal Sistema informativo ospedaliero (SIO) del Lazio che rileva e gestisce i dati analitici di tutti i ricoveri ospedalieri (in acuzie e post-acuzie) che ogni

anno si verificano negli istituti di ricovero e cura (pubblici e privati) del Lazio. A tutte le persone della coorte che, nel periodo di follow-up hanno subito almeno un'ospedalizzazione per una delle cause d'interesse sono stati attribuiti la diagnosi principale e le date di ricovero e di dimissione utilizzando il codice fiscale come chiave di *linkage*. Sono state escluse dall'analisi eventuali ricoveri della stessa persona avvenuti entro 30 giorni dalla data di dimissione di ciascun episodio di ricovero in studio.

Analisi statistica

L'analisi dei dati è stata eseguita utilizzando il modello di Cox per eventi ripetuti considerando l'esposizione al PM₁₀ dei termovalorizzatori come covariata dipendente dal tempo. Ovvero, la valutazione dell'effetto specifico dell'entrata in funzione dei termovalorizzatori è stata effettuata inserendo nel modello statistico l'interazione tra l'esposizione all'inquinante e il periodo di follow-up durante il quale si è verificato il ricovero. In altre parole, questo corrisponde a valutare, per esempio, se il rapporto tra il tasso di ospedalizzazione nel periodo post-avvio dell'impianto e quello pre-avvio nell'area a media (o ad alta) esposizione è diverso dallo stesso rapporto nella zona a bassa esposizione. Il termine d'interazione è stato definito mediante una variabile dicotomica che assumeva valore 0 se il ricovero era avvenuto tra il 01.01.1996 e il 31.12.2002 e valore 1 se il ricovero era avvenuto tra il 01.01.2003 e il 31.12.2008. La zona di residenza è stata classificata sulla base dei valori della concentrazione di PM₁₀ a seguito dell'attivazione degli impianti (categoria di esposizione bassa, media o alta). Quindi, il confronto del ricorso alle cure ospedaliere nei periodi post-pre avviene in un'area determinata (media, alta esposizione) prendendo come riferimento il rapporto post-pre nell'area di riferimento a bassa esposizione.

L'analisi dei dati è stata effettuata seguendo l'approccio suggerito da Prentice,³⁷ secondo cui l'insieme dei soggetti a rischio di sperimentare il k-esimo ricovero per una data causa in un generico istante t è costituito da tutti i soggetti sotto osservazione al tempo t che hanno precedentemente avuto il (k-1)-esimo ricovero per la stessa causa. I soggetti che non hanno subito alcun ricovero sono considerati a rischio del primo ricovero durante tutto il periodo di osservazione. Nel caso in cui tra due ricoveri per una data causa d'interesse si sia verificato un ricovero per un'altra causa, durante il periodo di ospedalizzazione il soggetto è stato escluso dal follow-up per quel periodo. Parimenti, durante l'ospedalizzazione il soggetto non è considerato a rischio di ricovero per la causa su cui si sta indagando. Inoltre, sono stati esclusi dal tempo a rischio anche i 30 giorni successivi al ricovero per la causa d'interesse o per altra causa. Per coloro che al 01.01.2003 erano ricoverati per una qualsiasi causa il follow-up è iniziato 30 giorni dopo la dimissione.

I modelli sono stati sviluppati sull'asse temporale dell'età³⁸ e stratificati per sede del termovalorizzatore e classe di rischio. La classe di rischio rappresenta l'ordine di ricovero per cui il soggetto è a rischio in un dato momento del follow-up. Più precisamente, in un generico istante t , la classe di rischio assume valore 1 per tutti i soggetti che non sono mai stati ricoverati fino a quel momento (il soggetto è a rischio di subire il primo ricovero), valore 2 per tutti i soggetti che hanno subito il primo ricovero per la causa d'interesse o per altra causa precedentemente all'istante t (il soggetto è a rischio di subire il secondo ricovero), e così via valore k per tutti i soggetti che precedentemente all'istante t hanno verificato il $(k-1)$ -esimo ricovero per la causa d'interesse o per un'altra causa. In questo modo, a ogni giorno del periodo di follow-up ai soggetti è attribuito un rischio di ricovero diverso sulla base dei ricoveri precedenti, in quanto è lecito supporre che coloro che hanno subito uno o più ricoveri per una qualsiasi causa abbiano una probabilità maggiore di essere nuovamente ricoverati per la stessa causa o per una causa diversa. Ciò ha consentito di ottenere un effetto "esposizione al PM_{10} del termovalorizzatore", depurato dalla diversa composizione per età, dall'effetto residuale del contesto in cui sorge l'impianto e dagli eventuali ricoveri precedenti a quello per la causa d'interesse.

Nel determinare i rischi di ospedalizzazione connessi all'attivazione dei termovalorizzatori, nel modello è stato inserito il PM_{10} da emissioni primarie (termine lineare) per verificare se, a parità di un inquinamento di fondo presente sul territorio, l'inquinamento prodotto dai termovalorizzatori ha rappresentato un fattore di rischio ulteriore per la popolazione in studio. Le stime sono state aggiustate per il livello socioeconomico, per residenza entro 500 m dalle autostrade, 150 m dalle strade principali, 1 km dal fiume Sacco, 2 km dalle industrie ed entro i confini di Colferro Scalo. Dal medesimo modello si sono ottenute le stime di associazione tra il PM_{10} da emissioni primarie e le ospedalizzazioni per tutte le cause e specifiche per causa.

RISULTATI

Nella figura 1 si riportano, per i due termovalorizzatori, i confini amministrativi delle aree in studio, gli impianti, i buffer della distanza dagli impianti (fino a 5 km per San Vittore del Lazio, fino a 7 km per Colferro), i residenti, le autostrade e le strade principali, le industrie e i risultati dei modelli di dispersione delle concentrazioni al suolo di PM_{10} prodotto dai due termovalorizzatori. Nella mappa del termovalorizzatore di Colferro sono indicati anche il fiume Sacco, il cementificio e l'area di Colferro Scalo.

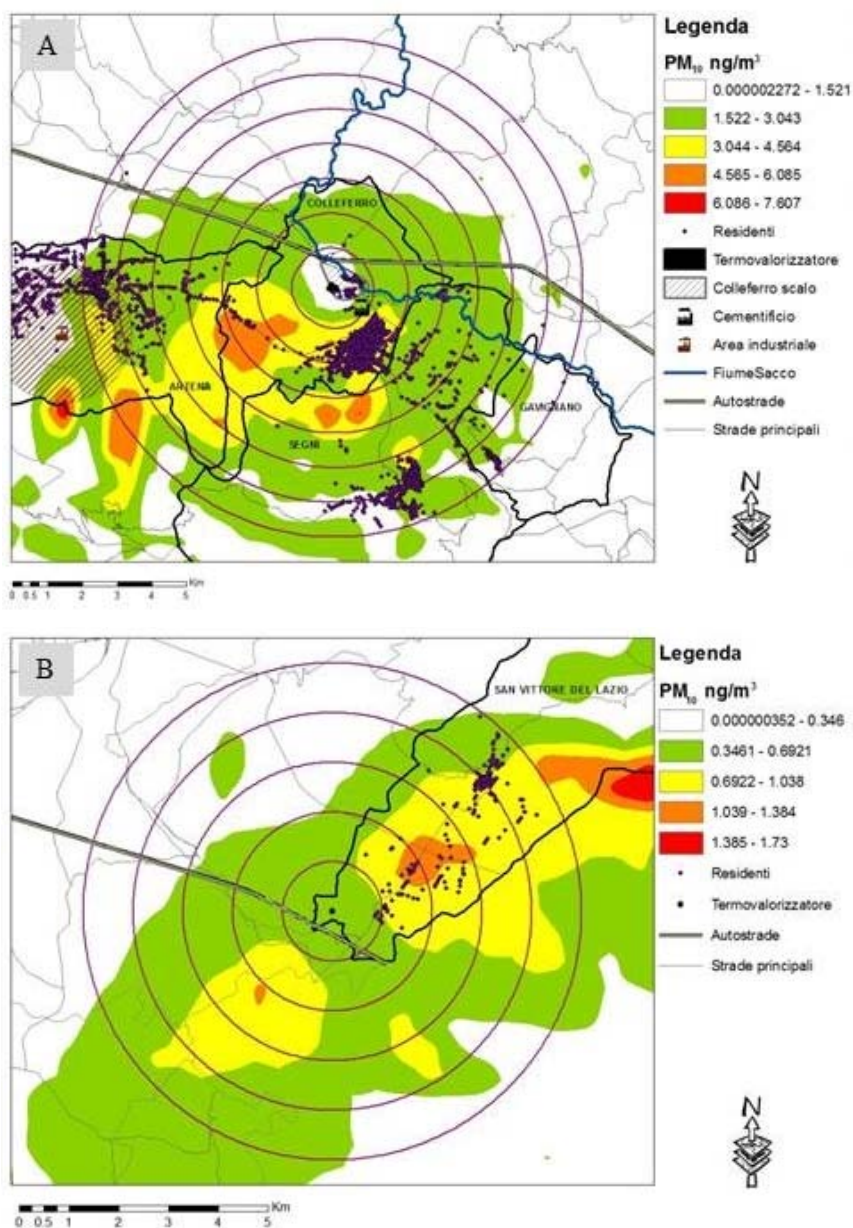


Figura 1. Mappe dei territori in studio e concentrazioni di PM_{10} prodotto dai termovalorizzatori: Colferro (A) e San Vittore del Lazio (B). La mappa a colori è disponibile on-line al sito www.epiprev.it

Figure 1. Study area around incinerators and concentration levels of PM_{10} emitted by incineration plants: Colferro (A) and San Vittore del Lazio (B). Coloured map is available on-line at www.epiprev.it

La distribuzione delle concentrazioni di PM_{10} prodotto dai due termovalorizzatori sulla coorte dei residenti varia tra 0,3 e 5,1 ng/m^3 , ha una media di 2,96 ng/m^3 e deviazione standard pari a 1,1 ng/m^3 . Il 50° e l'80° percentile, che stabiliscono i *cut-off* delle classi di esposizione (bassa, media, alta), sono rispettivamente pari a 3,4 e 3,93 ng/m^3 .

Relativamente al PM_{10} da emissioni primarie è importante sottolineare che esso presenta un'alta correlazione con il PM_{10} da termovalorizzatori ($r = 0,73$). Tale indicatore rappresenta tutte le fonti d'inquinamento civile, stradale e industriale. Il contributo espositivo del PM_{10} di fondo risulta, quindi, nettamente superiore a quello del PM_{10} prodotto dai due impianti di incenerimento, con una media di 9,58 $\mu g/m^3$ e deviazione standard pari a 1,46 $\mu g/m^3$. In maniera analoga a quanto esposto per il PM_{10} da termovalorizzatori, il 50° e l'80° percentile, pari rispettivamente a 9,69 e 10,86 $\mu g/m^3$, sono stati scelti per definire tre classi di esposizione (bassa, media, alta).

La tabella 1 mostra le caratteristiche dei soggetti appartenenti alla coorte definita tra il 1996 e il 2008 e quelle della coorte dei soggetti residenti nell'area in studio durante il periodo precedente l'attivazione dei termovalorizzatori (1996-2002). Inoltre, in tabella si riportano le caratteristiche della coorte dei residenti nel periodo post-attivazione degli impianti, tra il 2003 e il 2008, in base alle tre categorie di esposizione (bassa, media, alta) al PM_{10} tracciante dei termovalorizzatori.

La coorte dei residenti dal 1996 al 2008 è costituita da 47.192 persone, delle quali il 94% risiedeva entro i 7 km dal termovalorizzatore di Colferro e il restante 6% entro i 5 km da quello di San Vittore del Lazio. La popolazione risulta equidistribuita tra uomini e donne. Il 22% è costituito da bambini (0-14 anni), il 13,1% da persone di età superiore a 65 anni. Al 39,2% dei soggetti è associato un livello socioeconomico medio-alto o alto, mentre il 26,2% vive in condizioni socioeconomiche più disagiate. Più della metà dei soggetti (52,7%) risiede in zone a media o alta concentrazione di PM_{10} di fondo ed entro 150 m da strade principali a traffico intenso (55%). Quasi il 12% dei soggetti arruolati risiede nelle immediate vicinanze del fiume Sacco e solo il 3% entro i confini di Colferro Scalo. Al 31.12.2008, il 9,3% della popolazione risultava deceduto e il 15,7% emigrato.

La coorte dei residenti nell'area in studio nel periodo precedente l'attivazione dei due impianti (1996-2002) è costituita da 40.227 individui che risiedevano prevalentemente nei Comuni intorno al termovalorizzatore di Colferro (94% *vs.* 6% di San Vittore del Lazio). I soggetti risultano equidistribuiti per genere, sono prevalentemente giovani (63,1% sotto i 45 anni) e con uno status socioeconomico basso o medio-basso (38,4% *vs.* 24% con livello socioeconomico medio-alto o alto). Più della metà delle persone ri-

siede in zone in cui si osservano elevate concentrazioni del PM_{10} di fondo (54,1% nelle zone a media e alta concentrazione), nelle immediate vicinanze di strade a traffico intenso (54,9% entro 150 m) e di industrie presenti sul territorio (65,8% entro 2 km). L'11,4% dei soggetti vive nell'area intorno al Fiume Sacco e solo il 3% entro i confini di Colferro Scalo. Alla fine del periodo, il 10,7% degli individui era deceduto e il 15,8% emigrato.

La coorte residente nel periodo post-attivazione dei termovalorizzatori è composta da 41.379 soggetti, di cui il 50,4% risiedeva in zone a bassa esposizione di PM_{10} da termovalorizzatore ($PM_{10} < 3,4 ng/m^3$), il 29,3% risultava mediamente esposto ($3,4 ng/m^3 \leq PM_{10} \leq 3,93 ng/m^3$) e il 20,3% molto esposto ($PM_{10} > 3,93 ng/m^3$). Tutti i 2.654 soggetti residenti del Comune di San Vittore sono risultati esposti a valori di PM_{10} che non superano i 3,4 ng/m^3 (50° percentile) e fanno, quindi, interamente parte del gruppo di riferimento. Nelle zone ad alta esposizione risiedono maggiormente persone giovani (58,1% tra 0 e 44 anni), con un livello socioeconomico medio-alto o alto (64,6%), nelle vicinanze di strade principali (71%) e industrie (96,7%). Più della metà dei soggetti residenti nella zona a media esposizione è esposta a concentrazioni del PM_{10} di fondo medie e alte (57,3% e 26,4%, rispettivamente); il gruppo dei soggetti più esposti, invece, risulta equidistribuito tra la zona a media e alta esposizione al PM_{10} di fondo (49,8% e 47,5%, rispettivamente). Rispetto al gruppo di riferimento (zona a bassa esposizione), i residenti nelle aree a media e alta esposizione sono più anziani (rispettivamente, 38,8% e 41,9% di soggetti con età >45 anni *vs.* 37,2% nel riferimento), subiscono maggiormente l'esposizione concomitante al PM_{10} di fondo (rispettivamente, 26,4% e 47,5% di soggetti esposti a più di 10,89 $\mu g/m^3$ *vs.* 3,2% nella zona a bassa esposizione) e risiedono nelle vicinanze di industrie (rispettivamente, 97,9% e 96,8% di residenti entro 2 km *vs.* 32,6% nel gruppo di controllo).

La mortalità grezza osservata al 31.12.2008 è pari al 5,2% della popolazione, mentre il 9,2% risulta emigrato. Il confronto tra emigrati e residenti alla fine del follow-up non mostra particolari differenze per quanto riguarda il genere (51,4% di donne tra i residenti *vs.* 47,6% tra gli emigrati) e lo stato socioeconomico (37,5% dei residenti con status medio-alto o alto *vs.* 33,6 degli emigrati); la popolazione residente risulta, come prevedibile, più anziana di quella degli emigrati (37,2% dei residenti con età superiore a 45 anni *vs.* 19,2% degli emigrati).

Sono stati stimati 240.580 anni-persona di osservazione nel periodo precedente l'attività del termovalorizzatore e 208.935 nel periodo successivo. La durata media di residenza dei soggetti appartenenti alla coorte 1996-2002 durante il periodo precedente l'attivazione dei due impianti, e cioè fino al 01.01.2003, è stata di 25 anni nel gruppo a bassa esposi-

	RESIDENTI 1996-2008	RESIDENTI 1996-2002	RESIDENTI 2003-2008 PER ESPOSIZIONE AL PM ₁₀ DA TERMOVALORIZZATORE*			
	(n. 47.192)	(n. 40.227)	Bassa (n. 20.857)	Media (n. 12.132)	Alta (n. 8.390)	Totale (n. 41.379)
	%	%	%	%	%	%
Genere						
Maschi	49,4	49,1	49,7	48,0	48,7	49,0
Femmine	50,6	50,9	50,3	52,0	51,3	51,0
Età						
0-14	22,0	19,3	18,4	18,1	15,1	17,6
15-44	44,6	43,8	44,3	43,1	43,0	43,7
45-64	20,3	22,2	21,0	23,8	23,4	22,3
>65	13,1	14,7	16,2	15,0	18,5	16,3
Livello socioeconomico**						
Alto	10,1	5,8	4,5	5,9	28,6	10,1
Medio-alto	29,1	18,2	29,9	22,7	36,0	29,0
Medio	34,7	33,0	25,3	48,8	35,4	34,6
Medio-basso	19,7	28,3	26,8	22,6	0,0	19,8
Basso	6,5	10,1	13,5	0,0	0,0	6,5
Impianto						
Colleferro	94,0	94,0	87,3	100,0	100,0	93,6
San Vittore	6,0	6,0	12,7	0,0	0,0	6,4
PM₁₀ da emissioni primarie						
<9,69 µg/m ³	47,3	46,0	83,9	16,3	2,7	47,6
≥9,69 µg/m ³ e ≤10,86 µg/m ³	33,6	34,8	13,0	57,3	49,8	33,4
>10,86 µg/m ³	19,1	19,3	3,2	26,4	47,5	19,0
Strade principali						
≤150 m	55,0	54,9	56,1	42,5	71,0	55,1
>150 m	45,0	45,1	43,9	57,5	29,0	44,9
Autostrade						
≤500 m	0,7	0,7	1,4	0,0	0,0	0,7
>500 m	99,3	99,3	98,6	100,0	100,0	99,3
Industrie						
0-1 km	19,6	20,2	7,5	39,7	18,4	19,2
1-2 km	45,8	45,6	25,1	58,2	78,3	45,6
>2 km	34,5	34,3	67,3	2,1	3,2	35,2
Fiume Sacco						
≤1 km	11,4	11,4	10,6	20,2	0,1	11,3
>1 km	88,6	88,6	89,4	79,8	99,9	88,7
Colleferro Scalo						
Residenti	3,0	3,0	5,8	0,0	0,0	2,9
Non residenti	97,0	97,0	94,2	100,0	4,6	77,8
Stato in vita						
Residenti	75,0	73,5	85,1	86,1	85,9	85,6
Deceduti	9,3	10,7	5,7	4,7	5,0	5,2
Emigrati	15,7	15,8	9,3	9,2	9,0	9,2
Anni-persona						
Pre	240.580					
Post	208.935					

* Categorie di esposizione all'inquinamento prodotto dai termovalorizzatori (PM₁₀): bassa (riferimento) <3,4 ng/m³; media ≥3,4 ng/m³ e ≤3,93 ng/m³; alta >3,93 ng/m³. / Categories of exposure to PM₁₀ emitted by incinerators: low (reference group) <3.4 ng/m³; medium ≥3.4 ng/m³ and ≤3.93 ng/m³; high >3.93 ng/m³.

** Il totale può variare a causa di dati mancanti. / Total may vary because of missing values.

Tabella 1. Caratteristiche della coorte dei residenti nei periodi 1996-2008, 1996-2002 (periodo precedente all'attivazione degli impianti) e 2003-2008 (periodo di attività degli impianti) per livelli di esposizione al PM₁₀ emesso dai termovalorizzatori.

Table 1. Characteristics of residential cohort during the periods 1996-2008, 1996-2002 (period before the activation of incinerators), and 2003-2008 (period of activity of incinerators), by levels of exposure to PM₁₀ emitted by incineration plants.

CAUSA	ESPOSIZIONE AL PM ₁₀ DA TERMOVALORIZZATORI*						
	UOMINI						
	Bassa		Media		Alta		
n.**	n.**	HR*** (IC95%)		n.**	HR*** (IC95%)		
Cause naturali (001-629;677-799)	10.071	5.646	0,96 (0,89-1,04)		3.951	1,03 (0,94-1,12)	
Malattie del sistema circolatorio (390-459)	2.114	1.180	0,97 (0,82-1,15)		818	1,17 (0,96-1,42)	
Malattie cardiache (390-429)	1.323	726	1,00 (0,80-1,26)		531	1,24 (0,97-1,60)	
Malattie ischemiche del cuore (410-414)	427	272	0,73 (0,50-1,07)		223	0,96 (0,64-1,44)	
Malattie cerebrovascolari (430-438)	437	238	1,08 (0,77-1,52)		122	1,39 (0,88-2,18)	
Malattie dell'apparato respiratorio (460-519)	1.321	643	1,12 (0,91-1,38)		444	1,26 (0,99-1,60)	
Infezioni acute delle vie respiratorie (460-466;480-487)	401	201	1,11 (0,77-1,59)		126	0,98 (0,64-1,49)	
Malattie polmonari croniche ostruttive (490-492;494;496)	263	77	1,58 (0,85-2,96)		72	1,86 (1,04-3,33)	
Asma (493)	75	36	1,30 (0,54-3,11)		21	1,07 (0,41-2,84)	
POPOLAZIONE 0-14 ANNI							
Cause naturali (001-629;677-799)	1.508	925	0,98 (0,83-1,16)		556	1,11 (0,90-1,36)	
Malattie dell'apparato respiratorio (460-519)	477	275	1,14 (0,84-1,55)		174	1,31 (0,92-1,88)	
Infezioni acute delle vie respiratorie (460-466;480-487)	193	109	1,60 (0,98-2,62)		55	1,33 (0,70-2,53)	
Asma (493)	59	32	1,18 (0,46-3,05)		19	0,92 (0,32-2,60)	
			DONNE				
	Bassa		Media		Alta		
CAUSA	n.**	n.**	HR*** (IC95%)		n.**	HR*** (IC95%)	
Cause naturali (001-629;677-799)	9.510	5.500	1,02 (0,94-1,10)		3.827	1,02 (0,93-1,11)	
Malattie del sistema circolatorio (390-459)	2.013	1.064	1,06 (0,88-1,27)		660	1,01 (0,82-1,25)	
Malattie cardiache (390-429)	1.277	656	1,07 (0,84-1,37)		410	1,02 (0,77-1,34)	
Malattie ischemiche del cuore (410-414)	227	143	1,58 (0,96-2,62)		95	0,85 (0,48-1,53)	
Malattie cerebrovascolari (430-438)	406	213	1,04 (0,72-1,50)		139	0,95 (0,62-1,45)	
Malattie dell'apparato respiratorio (460-519)	837	546	1,16 (0,92-1,47)		330	1,02 (0,77-1,35)	
Infezioni acute delle vie respiratorie (460-466;480-487)	297	167	1,04 (0,71-1,54)		84	0,67 (0,41-1,12)	
Malattie polmonari croniche ostruttive (490-492;494;496)	125	71	1,45 (0,68-3,10)		34	1,12 (0,41-3,06)	
Asma (493)	52	18	3,05 (0,93-10,03)		19	0,56 (0,16-1,91)	
POPOLAZIONE 0-14 ANNI							
Cause naturali (001-629;677-799)	1.188	723	0,92 (0,75-1,13)		435	1,10 (0,86-1,41)	
Malattie dell'apparato respiratorio (460-519)	327	232	0,91 (0,64-1,29)		130	1,01 (0,67-1,54)	
Infezioni acute delle vie respiratorie (460-466;480-487)	156	94	0,88 (0,52-1,50)		40	0,73 (0,36-1,50)	
Asma (493)	28	13	2,16 (0,48-9,79)		13	0,33 (0,06-1,67)	
			TOTALE				
	Bassa		Media		Alta		Trend lineare
CAUSA	n.**	n.**	HR*** (IC95%)		n.**	HR*** (IC95%)	
Cause naturali (001-629;677-799)	19.581	11.146	0,99 (0,94-1,05)		7.778	1,02 (0,96-1,09)	0,584
Malattie del sistema circolatorio (390-459)	4.127	2.244	1,01 (0,89-1,15)		1.478	1,08 (0,94-1,25)	0,309
Malattie cardiache (390-429)	2.600	1.382	1,04 (0,88-1,23)		941	1,13 (0,94-1,36)	0,214
Malattie ischemiche del cuore (410-414)	654	415	0,94 (0,69-1,27)		318	0,92 (0,66-1,28)	0,585
Malattie cerebrovascolari (430-438)	843	451	1,07 (0,83-1,37)		261	1,13 (0,83-1,54)	0,401
Malattie dell'apparato respiratorio (460-519)	2.158	1.189	1,13 (0,97-1,32)		774	1,14 (0,96-1,37)	0,088
Infezioni acute delle vie respiratorie (460-466;480-487)	698	368	1,08 (0,83-1,41)		210	0,84 (0,61-1,15)	0,448
Malattie polmonari croniche ostruttive (490-492;494;496)	388	148	1,51 (0,92-2,49)		106	1,56 (0,96-2,54)	0,038
Asma (493)	127	54	1,66 (0,83-3,31)		40	0,80 (0,37-1,72)	0,896
POPOLAZIONE 0-14 ANNI							
Cause naturali (001-629;677-799)	2.696	1.648	0,96 (0,84-1,09)		991	1,12 (0,96-1,31)	0,301
Malattie dell'apparato respiratorio (460-519)	804	507	1,03 (0,82-1,30)		304	1,19 (0,90-1,56)	0,267
Infezioni acute delle vie respiratorie (460-466;480-487)	349	203	1,22 (0,85-1,75)		95	1,04 (0,65-1,66)	0,616
Asma (493)	87	45	1,32 (0,60-2,90)		32	0,64 (0,27-1,56)	0,470

* Categorie di esposizione all'inquinamento prodotto dai termovalorizzatori (PM₁₀): bassa (riferimento) <3,4 ng/m³; media ≥3,4 ng/m³ e ≤3,93 ng/m³; alta >3,93 ng/m³.
 Categories of exposure to PM₁₀ emitted by incinerators: low (reference group) <3.4 ng/m³; medium ≥3.4 ng/m³ and ≤3.93 ng/m³; high >3.93 ng/m³.

** Casi osservati / Observed cases

*** Hazard ratio vs. categoria di riferimento; modello aggiustato per PM₁₀ da emissioni primarie, livello socioeconomico, residenza in prossimità di industrie, strade, autostrade, fiume Sacco, entro i confini di Colleferro Scalo. / Hazard ratios vs. reference category, adjusted by background PM₁₀, socioeconomic status, residence nearby industries, roads and highways, Sacco river and within Colleferro Scalo boundaries.

Tabella 2. Effetto dell'esercizio dei termovalorizzatori (post vs. pre) sulla frequenza di ospedalizzazione specifica per causa dei soggetti residenti nelle aree a media e alta esposizione al PM₁₀, per genere e sul totale (uomini e donne).

Table 2. Association between PM₁₀ emitted by incineration plants (after vs. before) and cause-specific hospitalization in the cohort of residents in medium and highest exposure areas, by gender and on the total cohort (men and women).

CAUSA (ICD-9-CM)	n. ^a	HR ^b (IC95%)	HR ^c (IC95%)
Cause naturali (001-629;677-799)	38.505	1,01 (1,00-1,03)	1,03 (1,02-1,05)
Malattie del sistema circolatorio (390-459)	7.849	1,02 (0,99-1,07)	1,08 (1,03-1,13)
Malattie cardiache (390-429)	4.923	1,08 (1,02-1,14)	1,13 (1,07-1,20)
Malattie ischemiche del cuore (410-414)	1.387	1,12 (1,03-1,23)	1,14 (1,03-1,26)
Malattie cerebrovascolari (430-438)	1.555	0,90 (0,83-0,98)	0,93 (0,85-1,02)
Malattie dell'apparato respiratorio (460-519)	4.121	1,03 (0,99-1,08)	1,07 (1,02-1,11)
Infezioni acute delle vie respiratorie (460-466;480-487)	1.276	1,07 (1,01-1,14)	1,11 (1,04-1,18)
Malattie polmonari croniche ostruttive (490-492;494;496)	642	0,97 (0,82-1,15)	1,06 (0,91-1,24)
Asma (493)	221	0,92 (0,79-1,08)	0,98 (0,85-1,14)
POPOLAZIONE 0-14 ANNI			
Cause naturali (001-629;677-799)	5.335	1,04 (1,00-1,07)	1,04 (1,01-1,08)
Malattie dell'apparato respiratorio (460-519)	1.615	1,04 (0,99-1,08)	1,04 (0,99-1,09)
Infezioni acute delle vie respiratorie (460-466;480-487)	647	1,04 (0,97-1,11)	1,05 (0,97-1,12)
Asma (493)	164	0,98 (0,84-1,14)	1,00 (0,86-1,16)

a Casi osservati / *Observed cases*
b Hazard ratio vs. categoria di riferimento; modello aggiustato per livello socioeconomico, residenza in prossimità di industrie, strade, autostrade, fiume Sacco, entro i confini di Colleferro Scalo. / *Hazard ratios vs. reference category, adjusted by socioeconomic status, residence nearby industries, roads and highways, Sacco river and within Colleferro Scalo boundaries.*
c Hazard ratio vs. categoria di riferimento; modello aggiustato anche per PM₁₀ da termovalorizzatori (post vs. pre), livello socioeconomico, residenza in prossimità di industrie, strade, autostrade, fiume Sacco, entro i confini di Colleferro Scalo. / *Hazard ratios vs. reference category, adjusted by PM₁₀ emitted by incinerators (post vs pre), socioeconomic status, residence nearby industries, roads and highways, Sacco river and within Colleferro Scalo boundaries.*

Tabella 3. Effetto del PM₁₀ da emissioni primarie (per 1 µg/m³) sulla frequenza di ospedalizzazione specifica per causa dei soggetti della coorte (uomini e donne).

Table 3. Association between background PM₁₀ and cause-specific hospitalization in the cohort of residents (men and women).

zione, 19 anni tra i mediamente esposti e 21 anni tra i soggetti residenti nella zona a maggior concentrazione di PM₁₀. La tabella 2 mostra l'effetto dei termovalorizzatori sul ricorso alle cure ospedaliere della coorte, confrontando quelle del periodo pre-attività con quelle del periodo post-attività degli impianti, nelle aree a media e alta concentrazione di PM₁₀. Nella tabella si riportano i rischi relativi per genere e sul totale dei residenti (uomini e donne). Gli *hazard ratio* (HR) in tabella rappresentano l'aumento/la diminuzione di ricoveri registrati durante il periodo post nelle aree a media e alta esposizione rispetto a quelli avvenuti nell'area a bassa esposizione (riferimento) durante il periodo post, e a quelli avvenuti in tutte e tre le aree di esposizione durante il periodo in cui gli impianti non erano in funzione. Sul totale dei residenti (uomini e donne) sono stati calcolati anche i *p-value* per testare l'esistenza di un trend lineare dei ricoveri al variare delle concentrazioni di PM₁₀. Osservando i risultati combinati (uomini e donne), l'analisi non mostra eccessi o decrementi significativi delle ospedalizzazioni per cause naturali, sia nelle aree a media esposizione sia in quelle a maggiore concentrazione di PM₁₀. Nella coorte dei residenti maggiormente esposti si osserva un aumento dei ricoveri per disturbi respiratori (HR: 1,14; IC95% 0,96-1,37) e malattie polmonari croniche ostruttive (BPCO) (HR: 1,56; IC95% 0,96-2,54), ma tali eccessi non raggiungono la significatività statistica; tuttavia, per queste patologie si evidenzia l'esistenza di un trend crescente delle ospedalizzazioni (*p-value*: 0,088 per le malattie respiratorie; *p-value*: 0,038 per BPCO), prin-

cipalmente a carico delle ospedalizzazioni degli uomini (rispettivamente, HR: 1,26; IC95% 0,99-1,60 e HR: 1,86; IC95% 1,04-3,33). L'analisi per genere non rileva, per le donne, aumenti significativi dei ricoveri dovuti all'attivazione dei due impianti. Anche il ricorso alle cure ospedaliere dei bambini (0-14 anni) residenti nelle aree a media e alta concentrazione di PM₁₀ non si discosta da quanto si registra nel gruppo di riferimento, sia nei risultati stratificati per genere sia in quelli combinati.

La tabella 3 mostra l'effetto lineare (per incrementi di 1 µg/m³) del PM₁₀ da emissioni primarie sui ricoveri della coorte (uomini e donne). L'analisi, aggiustata anche per il PM₁₀ prodotto dai termovalorizzatori, mostra un trend crescente delle ospedalizzazioni per cause naturali (HR: 1,03; IC95% 1,02-1,05) all'aumentare delle concentrazioni stimate del PM₁₀ da emissioni primarie. Un incremento significativo delle persone ricoverate si osserva anche per le malattie a carico del sistema circolatorio (HR: 1,08; IC95% 1,03-1,13), eccesso che aumenta ulteriormente nei sottogruppi delle malattie cardiache (HR: 1,13; IC95% 1,07-1,20) e ischemiche del cuore (HR: 1,14; IC95% 1,03-1,26). L'analisi rivela, inoltre, un effetto dell'inquinamento di fondo sui ricoveri per malattie dell'apparato respiratorio (HR: 1,07; IC95% 1,02-1,11) e infezioni acute delle vie respiratorie (HR: 1,11; IC95% 1,04-1,18). Anche tra i bambini (0-14 anni) si registra un eccesso di ricoveri per cause naturali (HR: 1,04; IC95% 1,01-1,08) e per i disturbi dell'apparato respiratorio (HR: 1,04; IC95% 0,99-1,09).

DISCUSSIONE

Lo studio ha valutato lo stato di salute della popolazione residente in un'area a elevata complessità ambientale ed esposta alle emissioni di due impianti di incenerimento con recupero energetico dei rifiuti urbani, confrontando il ricorso alle cure ospedaliere nel periodo di attività degli impianti con quelli del periodo precedente.

I risultati indicano un'associazione tra l'esposizione all'inquinamento di fondo (PM₁₀ da emissioni primarie) e le ospedalizzazioni per malattie del sistema circolatorio e respiratorio, con eccessi di rischio pari rispettivamente a +8% e +7% per incrementi unitari del PM₁₀ (µg/m³). L'esposizione al PM₁₀ derivante dai termovalorizzatori non ha comportato un maggior ricorso alle cure ospedaliere sul totale dei residenti in aree ad alta concentrazione rispetto al gruppo di riferimento. Tuttavia, lo studio ha evidenziato un effetto dell'inquinante sulle ospedalizzazioni per malattie respiratorie e, in particolare, per il sottogruppo della BPCO. L'analisi della modificazione dell'effetto per genere ha evidenziato che questo eccesso è principalmente a carico degli uomini.

Nell'interpretazione dei risultati occorre tener conto che i residenti nel Comune di San Vittore del Lazio fanno tutti parte del gruppo di controllo, quindi gli eccessi osservati si riferiscono ai residenti nel Comune di Colferro. Poiché la distribuzione del PM₁₀ nelle due zone risulta molto diversa e le due aree in studio sono distanti tra loro, è stata effettuata un'analisi di sensibilità per verificare se, escludendo i soggetti residenti nella vicinanza dell'impianto di San Vittore del Lazio, le associazioni emerse subiscono modifiche significative. L'analisi ha confermato gli eccessi osservati sull'intera coorte: tra gli uomini residenti nell'area ad alta esposizione si registra un eccesso del 2,4% (IC95% 0,97-1,58) di ospedalizzazioni per malattie dell'apparato respiratorio e del 7,2% (IC95% 0,96-3,09) di ricoveri per malattie polmonari croniche ostruttive. Gli eccessi sono, tuttavia, al limite della significatività statistica.

Gli eccessi di rischio per malattie del sistema circolatorio e dell'apparato respiratorio associati al PM₁₀ da emissioni primarie sono un effetto plausibile dell'inquinamento atmosferico che caratterizza le aree industrializzate. Le evidenze scientifiche disponibili supportano tali considerazioni, come confermato da studi che hanno valutato effetti dell'inquinamento atmosferico derivante dal ciclo dei rifiuti sulla salute umana e sull'ambiente.^{24,39,40}

L'incremento di malattie dell'apparato respiratorio tra gli adulti e un eccesso di asma bronchiale nei bambini è stato osservato anche in un recente studio condotto nell'area,²⁸ in cui gli autori attribuiscono gli eccessi osservati a un'esposizione cronica a inquinamento ambientale. A tal proposito, anche un'indagine nazionale sui disturbi respiratori nell'infanzia aveva rilevato una prevalenza elevata di asma bronchiale tra i bambini residenti a Colferro.⁴¹

In questo studio le stime di associazione tra il PM₁₀ da termovalorizzatori e le ospedalizzazioni sono depurate dall'effetto dell'inquinamento atmosferico di fondo (PM₁₀ da emissioni primarie) e della residenza entro 2 km da impianti industriali; la possibilità di tener conto dell'effetto concomitante delle due esposizioni rappresenta di certo un vantaggio importante. Va, tuttavia, precisato che entrambe le variabili non ricoprono un ruolo importante di confondimento nelle stime finali. Il rischio di sovraggiustamento è stato verificato anche per la presenza concomitante nel modello della residenza entro 500 m dalle autostrade ed entro 150 m dalle strade ad alto traffico. I risultati, ottenuti eliminando dal modello una variabile alla volta, sono sovrapponibili a quelli osservati. Lo stesso accade quando si escludono entrambe le variabili contemporaneamente.

I dati disponibili sul PM₁₀ di fondo si riferiscono unicamente alle emissioni primarie di questo inquinante derivanti da fonti industriali, stradali e civili. Nel presente studio non è stato, dunque, possibile tener conto delle trasformazioni chimiche che danno luogo agli inquinanti secondari, la cui composizione può essere molto diversa da quelli primari. Ai soggetti residenti è stata, pertanto, attribuita una concentrazione media annuale di PM₁₀ che rappresenta una sottostima di quella reale.

La scelta del PM₁₀ come tracciante dell'inquinamento atmosferico prodotto dai termovalorizzatori è suffragata da altri studi: l'inquinante, infatti, è già stato utilizzato come marcatore per esposizioni a miscele complesse di sostanze inquinanti prodotte dai processi di combustione: particelle (PM₁₀, ma anche frazioni di particolato più piccole), gas, metalli e composti organici.^{13,42} I risultati presentati possono essere considerati plausibili anche quando si considera che le emissioni degli impianti durante il periodo in esame potrebbero essere state diverse rispetto a quanto autorizzato e usato come dato di input nel modello di dispersione.

L'approccio di coorte utilizzato, la disponibilità dei dati anagrafici, la georeferenziazione dei residenti e l'uso dei modelli di dispersione per la stima delle concentrazioni al suolo del PM₁₀ hanno consentito di superare alcune limitazioni degli studi precedentemente condotti sulla salute dei residenti in aree critiche dal punto di vista ambientale. L'approccio analitico "pre vs. post" ha introdotto una novità importante nell'ambito degli studi sull'argomento e ha consentito di valutare l'effetto reale dell'entrata in funzione dei due impianti mediante il confronto delle ospedalizzazioni nei due periodi.

Un ulteriore punto di forza dello studio è l'aver tenuto conto, nella stima delle associazioni tra inquinamento dell'aria e stato di salute della coorte, di variabili potenzialmente confondenti la relazione in studio, quali l'età, il livello socioeconomico della sezione di censimento di residenza, la residenza in prossimità di strade, autostrade, industrie e, per il Comune di Colferro, di alcune criticità

locali (residenza entro i confini di Colferro Scalo e in prossimità del fiume Sacco). Nell'assegnazione delle esposizioni sono stati considerati solo gli indirizzi di residenza all'inizio del follow-up, senza possibilità, quindi, di tener conto delle variazioni domiciliari avvenute nel periodo in esame. Poiché si è interessati a indagare su effetti a breve-medio termine dell'esposizione agli inquinanti, tale scelta, dettata dall'indisponibilità di dati anagrafici completi, rappresenta un limite dello studio, in quanto sarebbe auspicabile che l'esposizione assegnata ai soggetti fosse quella verificatasi al momento del ricovero.

La coorte beneficerebbe, inoltre, dell'acquisizione di altre informazioni a livello individuale, quali l'esposizione occupazionale – soprattutto in un territorio come quello di Colferro, caratterizzato dalla presenza di numerosi stabilimenti industriali – e lo stile di vita (abitudine al fumo, dieta, consumo di prodotti locali), e di indicatori di livello socioeconomico a livello individuale. L'aver osservato eccessi non trascurabili nelle ospedalizzazioni per cause respiratorie solo negli uomini indica, infatti, la possibilità di aver trascurato nelle stime d'associazione altri fattori di rischio, quale, appunto, l'occupazione.

In questo studio è stata valutata l'esposizione all'inquinamento atmosferico prodotto dagli impianti, ma bisogna tuttavia considerare che molti microinquinanti hanno un'alta persistenza nell'ambiente e tendono ad accumularsi; ciò allunga, quindi, i tempi per una degradazione completa.²⁶ L'esposizione individuale può, quindi, molto spesso verificarsi non solo per via inalatoria, ma anche indirettamente mediante ingestione di acqua e/o cibi che hanno subito una contaminazione.^{26,43} Nell'area in studio, tale contaminazione, soprattutto nelle immediate vicinanze del fiume Sacco, è particolarmente diffusa e causata dalla presenza di una discarica abusiva di rifiuti industriali. Tuttavia, non è stato possibile ac-

certare se e quanto la contaminazione del territorio della valle del Sacco e delle aree circostanti abbia risentito anche dell'attivazione dei due termovalorizzatori. La possibilità di tener conto delle abitudini alimentari dei soggetti esposti (consumo di prodotti locali, consumo dell'acqua da pozzi comuni eccetera) potrebbe sicuramente dare un contributo notevole all'analisi, depurando l'effetto dei termovalorizzatori da altri fattori di criticità ambientale presenti nell'area in studio. Tali considerazioni si basano prevalentemente su studi condotti da istituzioni di sanità pubblica, organizzazioni internazionali di ricerca e agenzie di protezione ambientale, che hanno messo a punto metodologie ad hoc per valutare gli effetti diretti e indiretti sulla salute associati alla contaminazione ambientale derivante dalla presenza di termovalorizzatori o altre fonti d'inquinamento atmosferico.^{21,44-49}

CONCLUSIONI

I risultati di questo studio indicano che il ricorso alle cure ospedaliere per patologie a carico dell'apparato respiratorio sono aumentate negli uomini in seguito all'attivazione dei termovalorizzatori di Colferro e San Vittore del Lazio. Lo studio contribuisce a chiarire gli effetti dell'esposizione agli inquinanti emessi da impianti di incenerimento con recupero energetico, soprattutto in una situazione già molto complessa dal punto di vista ambientale. Inoltre, nonostante le limitazioni dovute alla scarsità di informazioni a livello individuale, si ritiene che i risultati possano contribuire a risolvere, almeno in parte, le controversie sui possibili effetti sulla salute della gestione dei rifiuti.

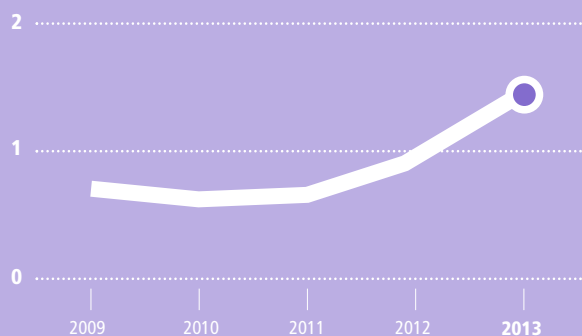
Conflitti di interesse dichiarati: nessuno.

Ringraziamenti: Si ringrazia Carlo A. Perucci, già direttore del Dipartimento di Epidemiologia del SSR del Lazio, per l'avvio del progetto ERAS Lazio e per il suo costante sostegno all'epidemiologia ambientale.

BIBLIOGRAFIA

1. Akai S, Hayakawa K, Takatsuki H, Kawakami I. Dioxin-like PCBs released from waste incineration and their deposition flux. *Environ Sci Technol* 2001;35(18):3601-7.
2. Linzalone N, Bianchi F. Incinerators: not only dioxins and heavy metals, also fine and ultrafine particles. *Epidemiol Prev* 2007;31(1):62-6.
3. Mukerjee D. Health impact of polychlorinated dibenzo-p-dioxins: a critical review. *J Air Waste Manag Assoc* 1998;48(2):157-65.
4. Mocarelli P, Gerthox PM, Ferrari E et al. Paternal concentrations of dioxin and the sex ratio of offspring. *Lancet* 2000;355(9218):1858-63.
5. Thompson J, Anthony H. *The health effects of waste incinerators*. 4th Report of the British society for ecological medicine, 2nd edition. British Society for Ecological Medicine 2008.
6. Reis MF. Solid waste incinerators: health impacts. In: *Encyclopaedia of Environmental Health*. 2011; pp. 162-217.
7. Giusti L. A review of waste management practices and their impact on human health. *Waste Manag* 2009;29(8):2227-39.
8. Porta D, Milani S, Lazzarino AI, Perucci CA, Forastiere F. Systematic review of epidemiological studies on health effects associated with management of solid waste. *Environ Health* 2009;8:60.
9. 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.
10. Floret N, Mauny F, Challier B, Arveux P, Cahn JY, Viel JF. Dioxin emissions from a solid waste incinerator and risk of non-Hodgkin lymphoma. *Epidemiology* 2003;14(4):392-8.
11. Bianchi F, Minichilli F. Mortalità per linfomi non Hodgkin nel periodo 1981-2000 in 25 comuni italiani con inceneritori di rifiuti solidi urbani. *Epidemiol Prev* 2006;30(2):80-1.
12. Biggeri A, Catelan D. Mortalità per linfomi non Hodgkin nei comuni della Regione Toscana dove sono stati attivi inceneritori di rifiuti solidi urbani nel periodo 1970-1998. *Epidemiol Prev* 2006;30(1):14-5.
13. Viel JF, Daniau C, Gorla S et al. Risk for non Hodgkin's lymphoma in the vicinity of French municipal solid waste incinerators. *Environ Health* 2008;7:51.

14. Viel JF, Arveux P, Baverel J, Cahn JY. Soft-tissue sarcoma and non-Hodgkin's lymphoma clusters around a municipal solid waste incinerator with high dioxin emission levels. *Am J Epidemiol* 2000;152(1):13-9.
15. Comba P, Ascoli V, Belli S et al. Risk of soft tissue sarcomas and residence in the neighbourhood of an incinerator of industrial wastes. *Occup Environ Med* 2003;60(9):680-3.
16. Biggeri A, Catelan D. Mortality for non-Hodgkin lymphoma and soft-tissue sarcoma in the surrounding area of an urban waste incinerator. Campi Bisenzio (Tuscany, Italy) 1981-2001. *Epidemiol Prev* 2005;29(3-4):156-9.
17. Zambon P, Ricci P, Bovo E et al. Sarcoma risk and dioxin emissions from incinerators and industrial plants: a population-based case-control study (Italy). *Environ Health* 2007;6:19.
18. Cordier S, Lehébel A, Amar E et al. Maternal residence near municipal waste incinerators and the risk of urinary tract birth defects. *Occup Environ Med* 2010;67(7):493-9.
19. Candela S, Ranzi A, Bonvicini L et al. Air pollution from incinerators and reproductive outcomes: a multisite study. *Epidemiology* 2013;24(6):863-70.
20. Hu SW, Hazucha M, Shy CM. Waste incineration and pulmonary function: an epidemiologic study of six communities. *J Air Waste Manag Assoc* 2001;51(8):1185-94.
21. Chen HL, Su HJ, Liao PC, Chen CH, Lee CC. Serum PCDD/F concentration distribution in residents living in the vicinity of an incinerator and its association with predicted ambient dioxin exposure. *Chemosphere* 2004;54(10):1421-9.
22. Reis MF, Sampaio C, Aguiar P, Mauricio Melim J, Pereira Miguel J, Pöpke O. Biomonitoring of PCDD/Fs in populations living near Portuguese solid waste incinerators: levels in human milk. *Chemosphere* 2007;67(9):S231-7.
23. Progetto Moniter. MONitoraggio degli Inceneritori nel Territorio dell'Emilia Romagna. Disponibile all'indirizzo: <http://www.arpa.emr.it/moniter/index.asp>
24. Kim YM, Kim JW, Lee HJ. Burden of disease attributable to air pollutants from municipal solid waste incinerators in Seoul, Korea: a source-specific approach for environmental burden of disease. *Sci Total Environ* 2011;409(11):2019-28.
25. 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.
26. Cordioli M, Vicenzi S, De Leo GA. Effects of heat recovery for district heating on waste incineration health impact: a simulation study in Northern Italy. *Sci Total Environ* 2013;444:369-80.
27. ERAS Lazio – Epidemiologia, rifiuti, ambiente e salute. Disponibile all'indirizzo: www.eraslazio.it
28. Fantini F, Porta D, Fano V et al. Indagini epidemiologiche sullo stato di salute della popolazione residente nell'area della Valle del Sacco. *Epidemiol Prev* 2012;36(5) Suppl 4: 44-52.
29. Porta D, Fantini F, De Felip E et al. A biomonitoring study on blood levels of beta-hexachlorocyclohexane among people living close to an industrial area. *Environ Health* 2013;12:57.
30. Arianet. SPRAY 3. Modello di dispersione langragiano a particelle. Disponibile all'indirizzo: www.aria-net.it/front/IT/codici/files/10.pdf
31. <http://rams.atmos.colostate.edu/rams-description.html>
32. ARPA Lazio. Sistema modellistico per la qualità dell'aria. Disponibile all'indirizzo: <http://www.arpalazio.net/main/aria/doc/SM/previsioni.php>
33. Arianet. FARM. Flexible Air quality Regional Model. Disponibile all'indirizzo: <http://www.aria-net.it/front/IT/codici/files/12.pdf>
34. Ancona C, Mataloni F, Badaloni C et al. Lo studio di coorte di popolazione in aree a forte pressione ambientale: il programma ERAS Lazio. *Epidemiol Prev* 2014;38(2) Suppl 1:158-61.
35. <http://www.teleatlas.it/>
36. Cesaroni G, Agabiti N, Rosati R, Forastiere F, Perucci CA. An index of socioeconomic position based on 2001 Census, Rome. *Epidemiol Prev* 2006;30(6):352-7.
37. Prentice RL, Williams BJ, Peterson AV. On the regression analysis of multivariate failure time data. *Biometrika* 1981;68:373-9.
38. Griffin BA, Anderson GL, Shih RA, Whitsel EA. Use of alternative time scales in Cox proportional hazard models: implications for time-varying environmental exposures. *Stat Med* 2012;31(27):3320-7.
39. American Thoracic Society. Health effects of outdoor air pollution. Committee of the Environmental and Occupational Health Assembly of the American Thoracic Society. *Am J Respir Crit Care Med* 1996;153(1):3-50.
40. World Health Organization. Air quality guidelines. Global update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 2006. Disponibile all'indirizzo: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf
41. Sestini P, De Sario M, Bugiani M et al; Gruppo Collaborativo SIDRIA-2. Frequency of asthma and allergies in Italian children and adolescents: results from SIDRIA-2. *Epidemiol Prev* 2005;29(2) Suppl:24-31.
42. 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.
43. Lippmann M (ed). Environmental toxicants: human exposures and their health effects. Third edition. Hoboken (New Jersey), John Wiley and Sons, 2009.
44. Fries GF. A review of the significance of animal food products as potential pathways of human exposures to dioxins. *J Anim Sci* 1995;73(6):1639-50.
45. Llobet JM, Domingo JL, Bocio A, Casas C, Teixidó A, Müller L. Human exposure to dioxins through the diet in Catalonia, Spain: carcinogenic and non-carcinogenic risk. *Chemosphere* 2003;50(9):1193-200.
46. United States Environmental Protection Agency (EPA). Human health risk assessment protocol for hazardous waste combustion facilities. Report No. EPA530-R-05-006. Washington DC, EPA Office of Solid Waste, 2005.
47. United States Environmental Protection Agency (EPA). U.S. EPA response to comments on the human health risk assessment protocol for hazardous waste combustion facilities. Report No. EPA530-R-05-020. Washington DC, EPA Solid Waste and Emergency Response, 2005.
48. World Health Organization. Global Environment Monitoring System. Food Contamination Monitoring and Assessment Programme (GEMS/Food), 2006 Disponibile all'indirizzo: www.who.int/nutrition/landscape_analysis/nlis_gem_food/en/
49. Linares V, Perelló G, Nadal M, Gómez-Catalán J, Llobet JM, Domingo JL. Environmental versus dietary exposure to POPs and metals: a probabilistic assessment of human health risks. *J Environ Monit* 2010;12(3):681-8.



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!