

PROGETTO ERAS LAZIO 2

RELAZIONE TECNICO-SCIENTIFICA

Novembre, 2023

Il ciclo di trattamento dei rifiuti urbani (RU), comprende la raccolta, il trasporto e lo smaltimento ed ha implicazioni importanti sia a livello ambientale che di salute pubblica. Il programma ERAS Lazio finanziato dalla Regione Lazio (Progetto esecutivo ai sensi della DGR n. 929/08 e Legge finanziaria regionale n.31/2008 art 34) concluso nel 2012 era -stato realizzato con l'obiettivo di fornire un quadro relativo alla raccolta, trasporto, smaltimento e trasformazione dei rifiuti solidi urbani nella regione Lazio, ed una valutazione degli effetti sull'ambiente e sulla salute delle persone residenti in prossimità degli impianti. **Il progetto ERAS2 rinnovato con Determinazione Dirigenziale n G13554 del 16/11/2020**, è stato coordinato dal Dipartimento di Epidemiologia del Servizio Sanitario Regionale e condotto in collaborazione con l'Agenda Regionale di Protezione Ambientale (ARPA).

Revisione della letteratura sugli effetti sulla salute della esposizione a sostanze odorigene e sviluppo di un protocollo per la valutazione degli effetti sulla salute in popolazioni esposte. In accordo con il cronogramma (tabella 1) è stata condotta una revisione sistematica per sintetizzare tutte le evidenze disponibili sull'associazione tra esposizione residenziale o professionale a breve e lungo termine all'inquinamento da sostanze odorigene derivanti dal trattamento del ciclo dei rifiuti e lo stato di salute della popolazione esposta. Tra gli esiti di salute indagati la revisione ha evidenziato un effetto dell'esposizione a odorigeni su mal di testa, nausea/vomito, irritazione agli occhi e tosse. Tuttavia, la qualità degli studi inclusi nel lavoro non consente di dare un giudizio adeguato e conclusivo circa l'effetto delle molestie olfattive. Sono dunque necessari ulteriori studi che includano anche sottogruppi più vulnerabili quali bambini, anziani, donne in gravidanza, persone con patologie pregresse per comprendere meglio l'associazione tra le emissioni odorigene industriali e gli effetti sulla salute umana. Il lavoro è stato pubblicato in modalità open acces nella rivista Environmental Health (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34551760/>). Nell'allegato 1 di questa relazione si riporta il dettaglio dell'azione di revisione della letteratura condotta

Censimento degli impianti è stata effettuata una ricognizione tecnica e un censimento di tutti gli impianti per il trattamento degli RSU nel Lazio previsti dal Piano Regionale di Gestione dei Rifiuti della Regione Lazio 2019-2025 n. 14, approvato, ai sensi dell'Art. 7, c.1 della Legge Regionale n. 27/1998, con Deliberazione del Consiglio Regionale n. 4 del 5 agosto 2020 quale aggiornamento del precedente Piano di cui alla Deliberazione del Consiglio Regionale n. 4 del 18 gennaio 2012. Ciascun impianto è stato perimetrato e georeferenziato. I risultati dell'attività sono riportati nell'allegato 2 di questa relazione.

Studio Epidemiologico è stato condotto l'aggiornamento al 2018 dello stato di salute delle coorti dei residenti esposti alle emissioni derivanti dagli impianti per il trattamento dei Rifiuti Urbani nel Lazio. La coorte già utilizzata nel primo studio ERAS, arruolata dagli archivi anagrafici comunali nel periodo 1996-2008 includeva tutti i residenti entro 5 km dalle discariche per RU di Albano Laziale, Bracciano, Civitavecchia, Colferro, Guidonia Montecelio, Latina, Roccasecca, Roma-Malagrotta, Viterbo e quelli residenti entro 5km dal Termovalorizzatore di Colferro e 5 km da quello di San Vittore nel Lazio. A ciascun individuo della coorte sono state attribuite, come misure di esposizione, la concentrazione di idrogeno solforato (H₂S, scelto come inquinante tracciante delle discariche) e di PM₁₀ (degli inceneritori), stimate attraverso un modello di dispersione. Tutte le procedure di record linkage sono state effettuate garantendo l'anonimato, secondo le regole adottate nella gestione dei sistemi informativi regionali, e nel pieno rispetto della normativa vigente sulla privacy. Nel corso delle attività progettuali è stata condotta **la Valutazione epidemiologica dello stato di salute della popolazione residente nei pressi delle discariche per i rifiuti urbani del Lazio** con l'obiettivo di valutare l'associazione tra la residenza nei pressi delle nove discariche per lo smaltimento dei rifiuti urbani presenti nel Lazio e la mortalità e morbosità per causa. In sintesi, dagli archivi anagrafici comunali sono stati arruolati, in uno studio di coorte retrospettivo tutti i cittadini residenti (al 1996 o entrati successivamente) entro 5 km dalle discariche per RU di Albano Laziale, Bracciano, Civitavecchia, Colferro, Guidonia Montecelio, Latina, Roccasecca, Roma-Malagrotta e Viterbo. L'accertamento dello stato in vita fino al 31 dicembre 2018 è stato effettuato attraverso una procedura di record linkage con le anagrafi comunali e con il Registro Nominativo delle Cause di Morte della Regione Lazio. Il ricorso ai ricoveri ospedalieri è stato valutato mediante una procedura di record-linkage con il Sistema Informativo Ospedaliero. L'indirizzo di ciascun membro della coorte è stato geocodificato in modo da assegnare ad ogni residenza due misure di esposizione: la distanza della residenza dal perimetro della discarica e la concentrazione di H₂S proveniente dalla discarica, stimata attraverso un modello di dispersione. Per valutare l'associazione tra gli indicatori di esposizione (distanza) e mortalità, morbosità causa specifica nell'analisi interna alla coorte sono stati calcolati i rischi relativi (Hazard Ratio, HR) mediante il modello di Cox tenendo conto di numerose variabili: sito, età, periodo di calendario, livello socio-economico, PM₁₀ come indicatore di inquinamento atmosferico di fondo, residenza in prossimità di strade principali, autostrade e industrie. La coorte è composta **da 242.409 residenti entro 5 km dalle discariche**. Tra i diversi livelli di esposizione ad H₂S non si osservano differenze nella composizione della popolazione in termini di età e genere. Tra i meno esposti è più alta, invece, la percentuale di residenti con una posizione socio-economica più elevata (16% vs 5% dei più esposti). L'aggiornamento del follow-up della coorte già studiata nel programma ERAS Lazio conferma l'associazione tra mortalità, morbosità e incidenza di tumori soprattutto per le patologie a carico dell'apparato respiratorio in coerenza con le indicazioni della letteratura scientifica e può avere un nesso di causalità con le esposizioni ambientali. Occorre tuttavia sottolineare che le associazioni evidenziate non sono sempre univoche e consistenti. L'appendice 3 descrive nel dettaglio lo studio epidemiologico.

Applicando, analogamente allo studio sulle discariche, l'approccio della coorte retrospettiva è stata anche condotta una **Valutazione epidemiologica dello stato di salute della popolazione residente nei pressi dei termovalorizzatori del Lazio**, considerando il ricorso alle cure ospedaliere nei periodi pre- e post-operatività degli impianti di termovalorizzazione di Colferro e San Vittore del Lazio. Sono stati considerati i 47,192 soggetti residenti tra il 1° Gennaio 1996 e il 31 Dicembre 2008 in un'area di 7 km dall'impianto di Colferro e di 5 km dall'impianto di San Vittore del Lazio, entrati in funzione nel 2002. La disponibilità delle informazioni anagrafiche georeferenziate ha consentito di attribuire l'esposizione ai livelli di inquinamento di background (concentrazione media annua di PM10 stimata nel 2018 tramite modelli random forest) e alle emissioni dei termovalorizzatori (PM10) stimate dal modello di dispersione lagrangiano SPRAY. I soggetti della coorte sono stati suddivisi in tre categorie di esposizione (bassa, media, alta) in base alle concentrazioni stimate degli inquinanti. Tutte le analisi, condotte con il modello di Cox, separatamente per genere, hanno tenuto conto di età, classe di rischio, sede dell'impianto, posizione socio-economica e una serie di variabili GIS indicative della residenza in prossimità di altre potenziali fonti di inquinamento presenti nelle aree. I risultati sono espressi in termini di Hazard Ratio (HR e IC 95%). Questo studio ha rivelato un aumento dei rischi di ospedalizzazione per malattie respiratorie, in particolare broncopneumopatie croniche ostruttive (BPCO), tra tutti i residenti a seguito dell'attivazione di impianti di termovalorizzazione, con un rischio più elevato nelle aree ad alta concentrazione stimata di PM10. L'appendice 4 descrive nel dettaglio lo studio epidemiologico.

I risultati dello stato di salute dei residenti nei pressi degli impianti per il trattamento dei rifiuti solidi urbani della regione Lazio, spesso situati in aree ad alta complessità ambientale, suggeriscono la necessità di una continua sorveglianza epidemiologica della popolazione residente.

ALLEGATO 1

Molestie olfattive ed esiti di salute

Dipartimento di Epidemiologia SSR del Lazio

Le emissioni odorigene provenienti dai siti industriali sono percepite come un importante problema di salute, sia dai residenti sia dai lavoratori, principalmente a causa della sensazione di annoyance (fastidio percepito) e irritazione psicologica che provocano (Sucker et al. 2001, Brancher et al. 2017, Bax et al. 2020). La maggior parte degli studi disponibili, per lo più condotti con approccio osservazionale, descrive gli effetti negativi per la salute e poco si sa sull'effettiva esposizione della popolazione interessata, probabilmente a causa dell'assenza di metodi standard per stimare la concentrazione delle sostanze odorigene a livello dei recettori. Le stime della frequenza, dell'intensità e del tono edonico degli odori nell'ambiente differiscono sostanzialmente tra i vari Paesi soprattutto in termini di normative e politiche adottate (Herr et al. 2009, Hayes et al. 2014, Brancher et al. 2020).

La funzione olfattiva svolge un ruolo importante nel rilevamento dei pericoli nell'ambiente; i recettori olfattivi dell'epitelio nasale rilevano le sostanze chimiche (composti odoranti) in grado di indurre risposte diverse a seconda della quantità presente in aria. A concentrazioni elevate, i recettori odoranti possono inviare segnali attraverso il nervo olfattivo e trigemino al sistema nervoso centrale causando reazioni piacevoli oppure risposte negative. Gli odori sgradevoli, le muffe o la cattiva qualità dell'aria sono stati considerati come fattori ambientali scatenanti mal di testa, irritazione degli occhi e stanchezza insolita (Friedman et al 2009). È importante notare che le risposte sensoriali degli individui possono variare a causa di fattori fisiologici, età o sesso, assuefazione in casi di esposizione ripetuta, rischio per la salute percepito, fattori sociali (Blanes-Vidal 2015, Kret et al. 2018).

Le emissioni odorigene sono generalmente miscele complesse di diversi composti chimici volatili ed è dunque difficile una loro misurazione. Negli studi epidemiologici che valutano l'impatto sulla salute di questi inquinanti per stimare l'esposizione agli odorigeni vengono utilizzati diversi strumenti predittivi e osservazionali, tra questi i modelli di dispersione atmosferici (Brancher et al. 2020), la distanza dalla fonte (Hayes et al. 2014), la frequenza degli eventi odorosi (Bax et al. 2020), l'analisi dei composti chimici (Blanes-Vidal et al. 2014) e il monitoraggio dei reclami relativi alla risposta media di fastidio o alla percentuale di residenti molto infastiditi (Baldacci et al. 2015).

Di recente è stata condotta una revisione sistematica per sintetizzare tutte le evidenze disponibili sull'associazione tra esposizione residenziale o professionale a breve e lungo termine all'inquinamento da odorigeni da fonti industriali e lo stato di salute della popolazione esposta. Il lavoro è in corso di pubblicazione ed è stato presentato al XLIII Convegno dell'Associazione Italiana di Epidemiologia (Guadalupe Fernandez et al. 2019)

Metodi

La popolazione di interesse era costituita da persone di qualsiasi età che vivevano vicino a fonti industriali (impianti di produzione e trasformazione prodotti chimici, petrolchimici, smaltimento e/o trattamento dei rifiuti o delle acque, cemento, produzione di energia, estrazione mineraria e metalli, produzione di pasta di cellulosa e carta, tessile, macelli e attività zootecniche) o da lavoratori esposti all'inquinamento da odorigeni per motivi

professionali. Sono stati esclusi gli studi che valutavano gli effetti dell'esposizione a fonti di inquinamento indoor e gli studi che si concentravano principalmente sulle emissioni di composti tossici maleodoranti (poiché sarebbe stato difficile distinguere l'effetto dell'odore da quello tossico). Due revisori hanno vagliato indipendentemente i titoli e gli abstract dei lavori selezionati. Il testo completo degli studi potenzialmente ammissibili è stato recuperato per la valutazione e l'inclusione. Eventuali discrepanze relative all'inclusione o all'esclusione di un particolare studio tra i revisori sono state risolte attraverso la discussione da parte di un terzo revisore.

Da ogni lavoro incluso nello studio sono stati estratti i dati relativi all'anno, al periodo di campionamento, alla regione o al paese in cui è stato effettuato, alla dimensione del campione (target, iscritti, tassi di follow-up) e alle caratteristiche della popolazione, alla descrizione del gruppo di riferimento e/o di controllo, alla definizione dell'esposizione (fonti di dati) e alla valutazione dell'esposizione (ad es. distanza dalla struttura, fastidio degli odorigeni su una scala di 5 punti-, valutazione degli odorigeni con modelli di dispersione), agli esiti (eventuali metodologia di definizione dell'esito), all'approccio statistico eseguito dagli autori per analizzare i dati (tipo di misura dell'effetto e intervallo di confidenza al 95% (CI)), eventuali confondenti (metodi utilizzati per misurarli e come sono stati considerati nell'analisi) e, ovviamente, i risultati. È stato valutato *il risk of bias* (RoB) di ogni studio incluso con uno strumento sviluppato da NTP/OHAT (Rooney et al., 2014; NTP/OHAT 2019). La valutazione del RoB è stata fatta sul *bias* di selezione, sul confondimento, sulla classificazione dell'esposizione e dei risultati e sul *bias* di reporting. Infine, è stata condotta una metanalisi per valutare l'associazione tra esposizione ad odorigeni industriali e principali esiti in studio.

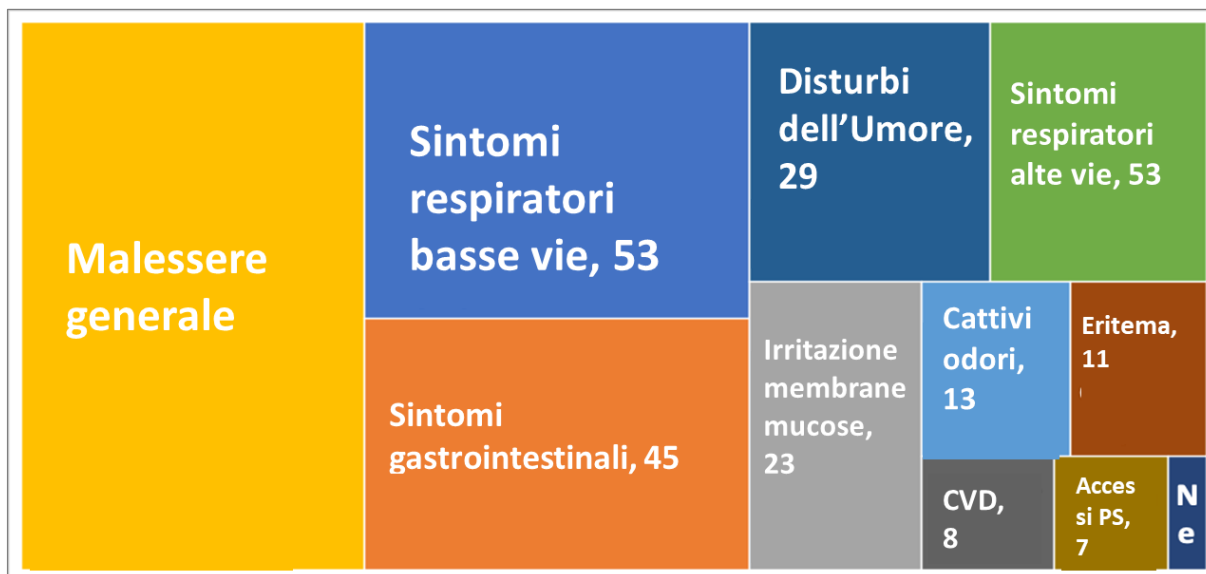
Risultati

Dei 5728 studi selezionati, 30 sono stati inclusi nell'analisi: 23 di tipo cross-sectional e 7 temporal changes (5 case-crossover, 2 panel) con una dimensione campionaria che variava da 15 a circa 58.000 esposti. Sono stati inclusi solo due studi occupazionali.

Per quanto riguarda la fonte industriale di esposizione, 12 erano su studi sulle operazioni di alimentazione animale, 10 studi sullo smaltimento di rifiuti (sia solidi che liquidi), 2 su impianti complessi e 6 su altre esposizioni industriali (ad es. carta, impianti petrolchimici). Le informazioni sull'esposizione sono state ottenute più comunemente tramite indagini e questionari basati su scale Likert mentre la distanza dalla fonte di esposizione è stata definita in modo eterogeneo tra gli studi.

In totale sono stati individuati 96 esiti diversi. I più comuni sono stati mal di testa, nausea/vomito, irritazione agli occhi e tosse che sono anche quelli per i quali esiste una plausibilità biologica (Figura 1).

Figura - Esiti di salute nei 30 studi selezionati



Tredici studi hanno valutato i disturbi da odore nella popolazione in relazione alla loro vicinanza alle industrie, alla percezione degli odori, alla frequenza o intensità degli odori e all'esposizione ad ammoniaca (NH₃).

In alcuni studi sono state individuate correlazioni significative tra i gruppi di esposizione (alta/bassa esposizione e confronto) e le categorie di preoccupazione ambientale (test χ^2).

In generale la valutazione di esposizione ed esiti è stata considerata ad alto rischio di *bias* date le diverse classificazioni usate negli studi. Sette studi che non hanno tenuto conto di alcun confondente sono stati classificati a rischio di *bias* "decisamente alto".

La metanalisi ha messo in evidenza un'associazione positiva tra esposizione a odore industriale e mal di testa (OR pooled = 1.17 (95% CI: [1.03-1.31]; I² = 66.5%, p-valore = 0.004), nausea/vomito (OR pooled = 1.16 (95% CI: [0.97-1.36]); I² = 22.9%, p-value=0.233) e tosse (OR pooled = 1.26 (95% CI: [1.11-1.45]); I² = 55%, p-value=0.038).

Conclusioni

Dagli studi disponibili in letteratura si evidenzia un effetto dell'esposizione ad odorigeni di origine industriale su mal di testa, nausea e tosse. Tuttavia, la qualità degli studi non consente di dare un giudizio adeguato e conclusivo circa l'effetto delle molestie olfattive. Sono dunque necessari studi condotti con un approccio che minimizzi il risk of bias che includano anche sottogruppi più vulnerabili quali bambini, anziani, donne in gravidanza, persone con patologie pregresse per comprendere meglio l'associazione tra le emissioni odorigene industriali e gli effetti sulla salute umana.

Riferimenti bibliografici

1. Sucker, K., R. Both and G. Winneke (2001). "Adverse effects of environmental odours: Reviewing studies on annoyance responses and symptom reporting." *Water Science and Technology* **44**(9): 43-51.

2. Brancher, M., K. D. Griffiths, D. Franco and H. de Melo Lisboa (2017). "A review of odour impact criteria in selected countries around the world." Chemosphere **168**: 1531-1570.
3. Bax, C., S. Sironi and L. Capelli (2020). "How Can Odors Be Measured? An Overview of Methods and Their Applications." Atmosphere 11(1): 92.
4. Herr, C. E. W., A. Zur Nieden, I. Kopka, T. Rethage, U. Gieler, T. F. Eikmann and N. I. Stilianakis (2009). "Assessment of somatic complaints in environmental health." International Journal of Hygiene and Environmental Health **212**(1): 27-36.
5. Hayes, J. E., R. J. Stevenson and R. M. Stuetz (2017). "Survey of the effect of odour impact on communities." Journal of Environmental Management **204**: 349-354.
6. Brancher, M., W. Knauder, M. Piringner and G. Schauburger (2020). "Temporal variability in odour emissions: To what extent this matters for the assessment of annoyance using dispersion modelling." Atmospheric Environment: X **5**: 100054.
7. Friedman, D. I. and T. De Ver Dye (2009). "Migraine and the environment." Headache **49**(6): 941-952.
8. Blanes-Vidal, V. (2015). "Air pollution from biodegradable wastes and non-specific health symptoms among residents: Direct or annoyance-mediated associations?" Chemosphere **120**: 371-377.
9. Kret, J., L. Dalidowitz Dame, N. Tutlam, R. W. DeClue, S. Schmidt, K. Donaldson, R. Lewis, S. E. Rigdon, S. Davis, A. Zelicoff, C. King, Y. Wang, S. Patrick and F. Khan (2018). "A respiratory health survey of a subsurface smoldering landfill." Environmental Research 166: 427-436.
10. Blanes-Vidal, V., J. Baelum, E. S. Nadimi, P. Lofstrom and L. P. Christensen (2014). "Chronic exposure to odorous chemicals in residential areas and effects on human psychosocial health: Dose-response relationships." Science of the Total Environment **490**: 545-554.
11. Baldacci, S., S. Maio, F. Martini, P. Silvi, G. Sarno, S. Cerrai, A. Angino, M. Fresta and G. Viegi (2015). "Odor annoyance perception and health effects in an Italian general population sample." European Respiratory Journal **46**(SUPPL. 59).
12. Fernandez V., De Sario M., Vecchi S., Bauleo L., Ancona C. (2019) "Associazione tra esposizione ad odorigeni da fonti industriali e stato di salute: una revisione sistematica della letteratura" XLIII Convegno AIE (<https://www.epidemiologia.it/wp-content/uploads/2019/05/Libro-Abstract-master4dic2019.pdf>) Rooney, A. A., A. L. Boyles, M. S. Wolfe, J. R. Bucher and K. A. Thayer (2014). "Systematic review and evidence integration for literature-based environmental health science assessments." Environ Health Perspect **122**(7): 711-718.

ALLEGATO 2

ERAS Lazio 2 – Censimento impianti per il trattamento del ciclo dei rifiuti solidi urbani nel Lazio

Gli impianti per il trattamento degli RSU nel Lazio previsti dal Piano Regionale di Gestione dei Rifiuti della Regione Lazio 2019-2025 sono stati perimetrati e geocodificati utilizzando il software GIS (Geographic Information System). In particolare il perimetro di ogni discarica è stato identificato utilizzando le carte tecniche regionali (CTR), in scala 1:5000. Tutte le informazioni sono state proiettate secondo il seguente sistema di riferimento: WGS84_UTM33N (Il Sistema geodetico mondiale del 1984 con la proiezione universale della Trasversa di Mercatore relativa alla zona 33Nord).

La figura riporta la localizzazione degli impianti per il trattamento degli RSU nel Lazio.



Discariche

Una discarica per i rifiuti solidi urbani è un sito specificamente designato per la gestione e lo smaltimento finale dei rifiuti solidi prodotti dalle attività quotidiane nelle aree urbane. Questi siti sono progettati per accogliere una vasta gamma di rifiuti, inclusi materiali non riciclabili, rifiuti organici e altri rifiuti che non possono essere facilmente trattati attraverso altri metodi. In un contesto di una discarica, i rifiuti vengono depositati in modo controllato in aree designate e gestiti per ridurre al minimo l'impatto ambientale. Tuttavia, le discariche sono generalmente considerate l'opzione meno preferibile nella gestione dei rifiuti, a causa dei potenziali impatti negativi sull'ambiente, come la produzione di gas serra, la contaminazione del suolo e delle acque sotterranee, nonché il rischio di diffusione di malattie. Attualmente, in Italia, essa rimane la più diffusa modalità di smaltimento con oltre la metà dei rifiuti prodotti conferiti in discarica. La gestione moderna delle discariche prevede misure di sicurezza e monitoraggio per ridurre l'inquinamento e prevenire danni all'ambiente circostante. Tuttavia, la tendenza crescente è quella di spostarsi verso pratiche più sostenibili, come il riciclo, il compostaggio, il recupero energetico e la riduzione alla fonte, al fine di ridurre la dipendenza dalle discariche e promuovere un approccio più ecologico alla gestione dei rifiuti.

Di seguito le discariche previste dal Piano Regionale di Gestione dei Rifiuti della Regione Lazio 2019-2025

Albano Laziale

Ragione sociale: Pontina Ambiente Srl

Comune: Albano Laziale

Sede legale: Via Pontina, 543, 00128 (RM)

Sede stabilimento: Via Ardeatina km 24,640, località Cecchina di Albano Laziale (RM)



Colleferro

Ragione sociale: Lazio Ambiente Spa

Comune: Colleferro

Sede stabilimento: Strada Palianese, snc – loc. Colle Fagiolara, 00034 Colleferro (RM)



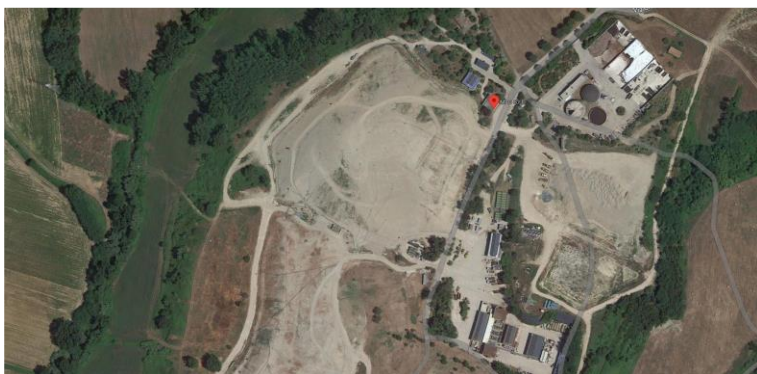
Roccasecca

Ragione sociale: MAD Srl

Comune: Roccasecca

Sede legale: Via Santa Croce di Gerusalemme, 97, 00185 Roma (RM)

Sede stabilimento: Località Cerreto – Comune di Roccasecca (FR)



Viterbo

Ragione sociale: Ecologia Viterbo Srl

Comune: Viterbo

Sede legale: Via Atto Tigrì 11, 00197 Roma (RM)

Sede stabilimento: loc. "Le Fornaci" Viterbo (VT)



Termovalorizzatori

Un termovalorizzatore è un impianto industriale progettato per la conversione termica di rifiuti solidi in energia. Questo processo, noto come termovalorizzazione o incenerimento controllato, prevede l'uso del calore generato dalla combustione dei rifiuti per produrre energia sotto forma di vapore o calore, che può essere utilizzato per la produzione di elettricità o per il riscaldamento. Durante il trattamento i rifiuti solidi urbani vengono alimentati all'interno del termovalorizzatore (alimentazione) e bruciati a temperature elevate in un ambiente controllato (combustione), producendo calore. Il calore prodotto viene utilizzato per generare vapore, che a sua volta può essere utilizzato per alimentare turbine e generatori elettrici per la produzione di elettricità. In alternativa, il calore può essere utilizzato direttamente per il riscaldamento di edifici o per altri scopi industriali (produzione di energia). Dopo la combustione, i residui solidi, noti come cenere, possono contenere materiali inorganici. Questi residui vengono gestiti in modo appropriato, ad esempio, attraverso il recupero di materiali riciclabili o il loro smaltimento sicuro (recupero di materiali). L'uso della termovalorizzazione è spesso controverso a causa delle preoccupazioni ambientali associate alla combustione di rifiuti. Le moderne tecnologie cercano di mitigare questi problemi attraverso il controllo delle emissioni, il monitoraggio ambientale e l'ottimizzazione dei processi. Tuttavia, la preferenza va spesso a soluzioni più sostenibili, come il riciclo e il compostaggio, prima di considerare l'opzione della termovalorizzazione nella gestione dei rifiuti.

Di seguito i termovalorizzatori previsti dal Piano Regionale di Gestione dei Rifiuti della Regione Lazio 2019-2025

Colleferro

Ragione sociale:

EP- Sistemi Spa (I° Linea);

MobilService Srl (II° Linea)

Comune: Colle Sughero, Colleferro

Sede legale:

Via Colledoro, 46/47, 00034 Colleferro (RM) (I° Linea);

Via Vittorio Emanuele snc – 00034 Colleferro (RM) (II° Linea)

Sede stabilimento: Via Vittorio Emanuele snc – 00034 Colleferro (RM)



San Vittore del Lazio

Ragione sociale: Acea Ambiente

Comune: San Vittore

Sede legale: P.le Ostiense, 2, 00154 Roma (RM)

Sede stabilimento: Via Valle Porchio 03040 San Vittore del Lazio (FR)



Trattamento Meccanico Biologico

Il trattamento meccanico-biologico (TMB) è il più comune trattamento "a freddo" dei rifiuti indifferenziati. È una fase essenziale del ciclo dei rifiuti poiché consente, attraverso un processo di selezione (meccanico) e trattamento (biologico), di: recuperare una ulteriore parte di materiali riciclabile; operare una opportuna selezione dei rifiuti da avviare all'incenerimento/termovalorizzazione, consentendo una minore emissione di inquinanti e una maggiore resa energetica degli stessi; ridurre il volume del materiale in vista dello smaltimento finale e quindi un minore ricorso a discariche e inceneritori; stabilizzare i rifiuti in modo tale che venga minimizzata la formazione dei gas di decomposizione e il percolato.

Di seguito i TMB previsti dal Piano Regionale di Gestione dei Rifiuti della Regione Lazio 2019-2025

Aprilia

Ragione sociale: R.I.D.A. Ambiente Srl

Comune: Aprilia

Sede legale: Via Valcamonica, snc, 04011 Aprilia (LT)

Sede stabilimento: Via Gorgona, snc, 04011 Aprilia (LT)

Quantità rifiuti trattata in tonnellate: 285780

Colfelice

Ragione sociale: Società Ambiente Frosinone (SAF) Spa

Comune: Colfelice

Sede legale: Strada Provinciale Ortella Km. 3, 03030 Colfelice (FR)

Sede stabilimento: Strada Provinciale Ortella Km. 3, 03030 Colfelice (FR)

Quantità rifiuti trattata in tonnellate: 168103



Roma Malagrotta

Ragione sociale:

E.Giovi (Malagrotta 1);

E.Giovi (Malagrotta 2)

Comune: Roma

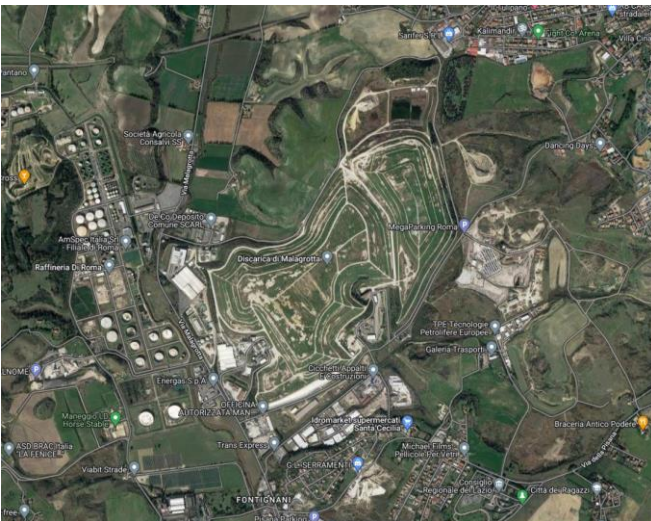
Sede legale: Via Portuense, 881, 00148 Roma (RM)

Sede stabilimento: Via di Malagrotta, 257, 00050 Ponte Galeria – Roma (RM)

Quantità rifiuti trattata in tonnellate:

147527 (Malagrotta 1);

253221 (Malagrotta 2)



Roma Rocca Cencia

Ragione sociale: AMA (Rocca Cencia)

Comune: Roma

Sede legale: Via Calderon della Barca, 87, 00142 Roma (RM)

Sede stabilimento: Via Rocca Cencia, 301, 00132 Roma (RM)

Quantità rifiuti trattata in tonnellate: 191465



Roma Salaria

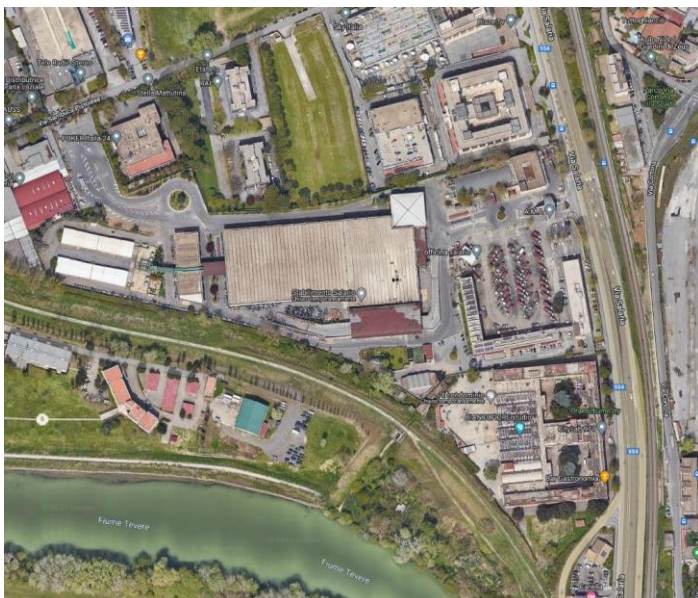
Ragione sociale: AMA (Via Salaria)

Comune: Roma

Sede legale: Via Calderon della Barca, 87, 00142 Roma (RM)

Sede stabilimento: Via Salaria, 981, Roma (RM)

Quantità rifiuti trattata in tonnellate: 155376



Viterbo

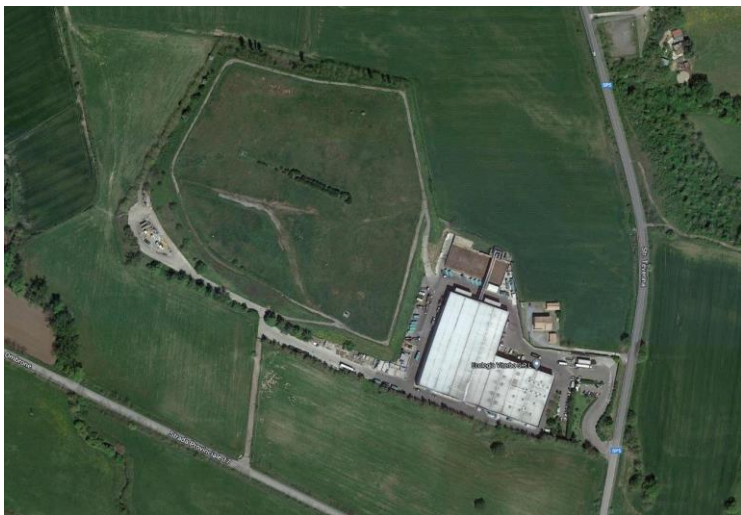
Ragione sociale: Ecologia Viterbo Srl

Comune: Viterbo

Sede legale: Via Atto Tigri, 11, 00197 Roma (RM)

Sede stabilimento: loc. Casale Bussi, Via S.P. Teverina km 7,600

Quantità rifiuti trattata in tonnellate: 106851



Compostaggio

Il compostaggio dei rifiuti è un processo biologico naturale in cui i materiali organici vengono decomposti da microorganismi in condizioni controllate per produrre compost, un materiale simile a un terreno ricco di nutrienti. Questo metodo di gestione dei rifiuti è una forma di riciclaggio organico ed è particolarmente efficace per ridurre la quantità di rifiuti organici destinati alle discariche. I rifiuti organici, come scarti alimentari, residui vegetali e altri materiali biodegradabili, vengono raccolti separatamente dagli altri tipi di rifiuti. I rifiuti organici raccolti vengono spesso triturati o frammentati per accelerare il processo di decomposizione e favorire la formazione di compost. I materiali preparati vengono poi disposti in pile o file di compostaggio in apposite strutture o zone designate. Questo ambiente fornisce le condizioni ottimali per la decomposizione. I microorganismi, come batteri e funghi, presenti naturalmente nei rifiuti organici, iniziano a decomporre la materia organica. Durante questo processo, vengono prodotti calore e compost. Periodicamente, la pila di compostaggio viene girata o aerata per garantire una distribuzione uniforme dell'ossigeno, necessario per sostenere l'attività microbica. Dopo un periodo di tempo, che può variare da diverse settimane a diversi mesi, il materiale compostato è maturo e può essere utilizzato come fertilizzante naturale nel giardinaggio e nell'agricoltura. Il compostaggio riduce significativamente il volume dei rifiuti organici destinati alle discariche, contribuendo al tempo stesso a produrre un prodotto ricco di sostanze nutritive per il suolo. È una pratica sostenibile che favorisce il riciclo e contribuisce a ridurre l'impatto ambientale dei rifiuti organici.

Di seguito gli impianti per il Compostaggio previsti dal Piano Regionale di Gestione dei Rifiuti della Regione Lazio 2019-2025

Anguillara Sabazia

Ragione sociale: Mioporum Sas di Michelangeli Stefano & A.M.C.

Comune: Anguillara Sabazia

Sede stabilimento: Via Casal Sant'Angelo KM.15,40

Tipo di impianto: Impianto di compostaggio

Quantità rifiuti trattata in tonnellate (2017): 1992

**Aprilia – Ferriere – Nettuno****Ragione sociale:** Acea Ambiente Srl (ex Kyklos Srl)**Comune:** Aprilia**Sede stabilimento:** Via Ferriere-Nettuno KM 15,00**Quantità rifiuti trattata in tonnellate (2017):** 47172**Aprilia – Frassineto****Ragione sociale:** Self Garden Srl**Comune:** Aprilia**Sede stabilimento:** Via Frassineto**Tipo di impianto:** Impianto di compostaggio**Quantità rifiuti trattata in tonnellate (2017):** 39602



Colfelice

Ragione sociale: Società Ambiente Frosinone Spa

Comune: Colfelice

Sede stabilimento: S.P. Ortella KM 3

Quantità rifiuti trattata in tonnellate (2017): 32336



Fiumicino

Ragione sociale: AMA Spa

Comune: Fiumicino

Sede stabilimento: Via Dell'Olmazetto

Tipo di impianto: Impianto di compostaggio

Quantità rifiuti trattata in tonnellate (2017): 18477

**Fonte Nuova**

Ragione sociale: Soc. Agricola Floreal Srl (ex Real Terre Srl)

Comune: Fonte Nuova

Sede stabilimento: Via Lago della Duchessa

Tipo di impianto: Impianto di compostaggio

Quantità rifiuti trattata in tonnellate (2017): 417

**Ladispoli**

Ragione sociale: Recin Srl

Comune: Ladispoli

Sede stabilimento: Via dei Monteroni

Tipo di impianto: Impianto di compostaggio

Quantità rifiuti trattata in tonnellate (2017): 2680



Nepi

Ragione sociale: Fertil Nepi snc di Baldinelli Emilia & C

Comune: Nepi

Sede stabilimento: S.S. 311 Nepesina KM 0,800

Quantità rifiuti trattata in tonnellate (2017): 168103



Pontinia

Ragione sociale: Sep Srl – Compostaggio

Comune: Pontinia

Sede stabilimento: Via Marittima II

Quantità rifiuti trattata in tonnellate (2017): 43129



Roma – Benedetto Croce

Ragione sociale: Mccubo Srl

Comune: Roma

Sede stabilimento: Via Benedetto Croce

Quantità rifiuti trattata in tonnellate (2017): 260



Roma – Cesare Razzaboni

Ragione sociale: Ibios Srl

Comune: Roma

Sede stabilimento: Via Cesare Razzaboni

Quantità rifiuti trattata in tonnellate (2017): 5712



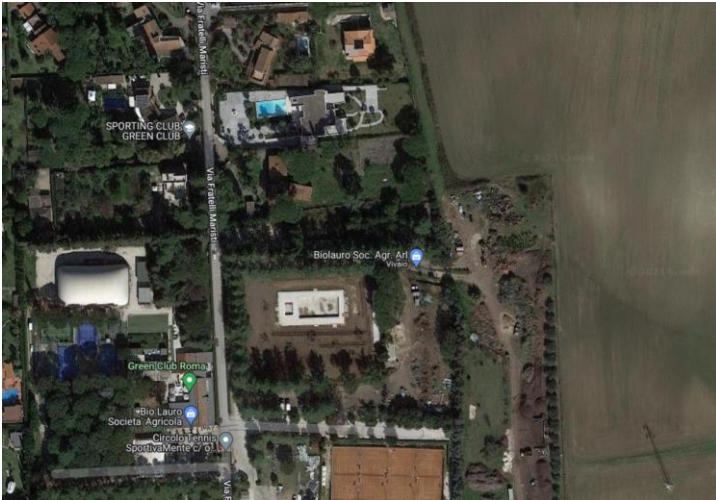
Roma – Fratelli Maristi

Ragione sociale: Bio Lauro Società Agricola a rl

Comune: Roma

Sede stabilimento: Via Fratelli Maristi

Quantità rifiuti trattata in tonnellate (2017): 1799



Roma – Muratella

Ragione sociale: C. & C. Impianti Srl

Comune: Roma

Sede stabilimento: Via della Muratella (Ponte Galeria)

Quantità rifiuti trattata in tonnellate (2017): 1246



Roma – Tor Bella Monaca

Ragione sociale: Tecnogarden Service Srl

Comune: Roma

Sede stabilimento: Via Torrenova – Tor Bella Monaca

Quantità rifiuti trattata in tonnellate (2017): 17036



Roma – Valle Perna

Ragione sociale: Tecnogarden Service Srl

Comune: Roma

Sede stabilimento: Via Valle Perna

Quantità rifiuti trattata in tonnellate (2017): 7287



Sabaudia

Ragione sociale: Acea Ambiente Srl (ex Solemme Spa Recupero)

Comune: Sabaudia



Soriano del Cimino

Ragione sociale: Terricci Mechelli Snc di Augusto Mechelli & C.

Comune: Soriano del Cimino

Sede stabilimento: Loc. Piangoli

Quantità rifiuti trattata in tonnellate:

1185



Tarquinia – Casalnuovo

Ragione sociale: Vivai dell'Argento Srl

Comune: Tarquinia

Sede stabilimento: Loc. Casalnuovo

Quantità rifiuti trattata in tonnellate (2017): 580



Tarquinia – Olivastro

Ragione sociale: Consorzio Pellicano

Comune: Tarquinia

Sede stabilimento: Loc. Olivastro

Quantità rifiuti trattata in tonnellate: 4714



ALLEGATO 3

ERAS Lazio 2 - Valutazione epidemiologica dello stato di salute della popolazione residente nei pressi delle discariche per i rifiuti urbani del Lazio

Executive Summary

La gestione dei rifiuti urbani (RU) è un problema di rilevanza ambientale e sanitaria. Le evidenze relative agli effetti sulla salute degli impianti di discarica di rifiuti non sono ancora esaustive, tuttavia la percezione del rischio dell'opinione pubblica è molto forte. Obiettivo di questo studio è valutare l'associazione tra la residenza nei pressi delle nove discariche per lo smaltimento dei rifiuti urbani presenti nel Lazio e mortalità e morbosità per causa e incidenza di patologie tumorali.

Dagli archivi anagrafici comunali sono stati arruolati in uno studio di coorte retrospettivo tutti i cittadini residenti (al 1996 o entrati successivamente) entro 5 km dalle discariche per RU di Albano Laziale, Bracciano, Civitavecchia, Colleferro, Guidonia Montecelio, Latina, Roccasecca, Roma-Malagrotta e Viterbo. L'accertamento dello stato in vita fino al 31 dicembre 2018 è stato effettuato attraverso una procedura di record linkage con le anagrafi comunali e con il Registro Nominativo delle Cause di Morte della Regione Lazio. Il ricorso ai ricoveri ospedalieri è stato valutato mediante una procedura di record-linkage con il Sistema Informativo Ospedaliero mentre il registro tumori è stato utilizzato per l'individuazione dei casi di incidenza di neoplasie per il periodo 2010-2017. L'indirizzo di ciascun membro della coorte è stato geocodificato in modo da assegnare ad ogni residenza due misure di esposizione: la distanza della residenza dal perimetro della discarica e la concentrazione di idrogeno solforato (H_2S) (uno dei gas emessi che può essere considerato tracciante) proveniente dalla discarica stimata attraverso un modello di dispersione. Per valutare l'associazione tra gli indicatori di esposizione (distanza e) e mortalità, morbosità e incidenza di tumori causa specifica nella analisi interna alla coorte sono stati calcolati i rischi relativi (Hazard Ratio, HR) mediante il modello di Cox tenendo conto di numerose variabili: sito, età, periodo di calendario, livello socio-economico, PM_{10} come indicatore di inquinamento atmosferico di fondo, residenza in prossimità di strade principali, autostrade e industrie.

La coorte è composta da 242.409 residenti entro 5 km dalle discariche. Tra i diversi livelli di esposizione ad H_2S non si osservano differenze nella composizione della popolazione in termini di età e genere. Tra i meno esposti è più alta, invece, la percentuale di residenti con una posizione socio-economica più elevata (16% vs 5% dei più esposti). I confronti interni alla coorte per valutare l'effetto della concentrazione di H_2S hanno evidenziato un eccesso di rischio per mortalità per tumore del polmone tra i più esposti rispetto ai meno esposti (HR=1.27 IC95% 1.04-1.55) negli uomini, per le ospedalizzazioni un eccesso di rischio sia negli uomini e sia nelle donne per tutte le cause (HR=1.04 IC95% 1.00-1.07 e HR=1.05 IC95% 1.02-1.09 rispettivamente) e ancora eccessi di ospedalizzazione negli uomini per tumore del rene (HR=2.13 IC95% 1.38-3.31) e infezioni acute delle vie respiratorie (HR=1.13 IC95% 1.00-1.28). Incrementi di rischio tra i più esposti a H_2S rispetto ai meno esposti per incidenza di tumori si osservano negli uomini per tumori del polmone (HR=1.36 IC95% 1.01-1.36) e per tumore del rene tra gli esposti tra il 20° e 50° percentile di H_2S e tra il 50° e 75° percentile di H_2S (HR=1.43 IC95% 1.02-1.99 e 1.58 IC95% 1.02-2.45 rispettivamente) rispetto agli esposti a meno del 25° percentile di H_2S .

Lo studio di coloro che risiedono nei cinque km dagli impianti di discarica del Lazio ha fatto emergere delle associazioni tra mortalità, morbosità e incidenza di tumori sebbene non sempre

univoche e consistenti. L'aumento della morbosità per malattie respiratorie è coerente con le indicazioni della letteratura scientifica e può avere un nesso di causalità con le esposizioni ambientali.

INTRODUZIONE

La gestione dei rifiuti urbani (RU) è un problema importante per le implicazioni ecologiche, sanitarie, economiche e sociali che la caratterizzano. Le normative al riguardo hanno imposto regole sempre più stringenti a tutela dell'ambiente e della salute dei cittadini, i quali a loro volta sono divenuti sempre più consapevoli ed attenti ai pericoli che possono derivare da uno smaltimento improprio. Le strategie utilizzate per ottimizzare tale gestione, secondo le normative europee e nazionali, tendono a ridurre la quantità di materiale effettivamente smaltito, attraverso la prevenzione, il riciclo e l'uso di tecnologie per il riutilizzo di materiali ed energia.

I risultati degli studi epidemiologici relativi all'impatto sulla salute dei sistemi di smaltimento dei rifiuti, specie discariche ed inceneritori, sono stati riassunti in diversi documenti e revisioni sistematiche.¹⁻³ I possibili rischi per la salute per chi risiede nei pressi di una discarica sono riconducibili a diverse modalità di esposizione: l'inalazione di sostanze (gas) direttamente emesse dal sito, il contatto con l'acqua o il suolo inquinati, il consumo di prodotti o di acqua contaminati. Le preoccupazioni maggiori riguardano le discariche abusive che non sono sottoposte a controllo e ricevono rifiuti senza alcuna selezione all'origine, ma anche gli effetti delle discariche autorizzate sono state indagate da diversi studi. Alcuni lavori scientifici hanno documentato deboli prove di associazione tra residenza nei pressi di discariche controllate e rischio per la salute. La debolezza delle osservazioni deriva, tra l'altro, dall'indicatore di esposizione impiegato. Infatti, nella maggior parte degli studi disponibili, in mancanza di informazioni sull'esposizione, la distanza dalla discarica viene utilizzata come indicatore dell'esposizione.

Nel 1999 uno studio condotto in Canada ha confrontato l'incidenza di patologie tumorali nella popolazione maschile residente nei pressi di una discarica a Montreal con quella residente in zone più distanti dall'impianto.⁴ La distanza dalla discarica è stata attribuita ad ogni individuo sulla base dell'indirizzo di residenza al momento della diagnosi. È stato osservato un eccesso di rischio tra gli uomini residenti vicino alla discarica per linfoma di non-Hodgkin, tumore dello stomaco, dei reni e del pancreas. Nel 2002, Jarup ha analizzato il rischio di cancro nella popolazione residente entro 2 Km da 9,565 discariche in Gran Bretagna.⁵ Nonostante la potenza statistica della indagine, lo studio non ha evidenziato eccessi di cancro nella popolazione in esame; anche in questo studio in mancanza di una misura dell'esposizione si è considerata la distanza dalle discariche come indicatore della esposizione vera della popolazione.

In uno studio finlandese è stato riscontrato un eccesso nel numero di casi di tumore del pancreas e della pelle tra gli uomini residenti in case costruite su un ex area di scarico di rifiuti industriali e domestici.⁶ In Italia, uno dei primi studi sull'argomento, ha preso in esame la zona in cui è situata la discarica di Malagrotta a Roma.⁷ In quest'area, situata ad ovest della capitale, sono presenti diverse fonti di inquinamento: una discarica di rifiuti urbani, un inceneritore di rifiuti ospedalieri e una raffineria petrolchimica. Lo studio ha valutato la mortalità in un'area di 10 Km dal complesso impiantistico. Lo

studio non ha evidenziato particolari associazioni tra prossimità al sito e mortalità per varie tipologie di tumore, ad eccezione di un aumento di mortalità per tumore della laringe tra i residenti più prossimi al sito. Anche in questo caso, il più importante limite dello studio riguarda la definizione dell'esposizione basata sulla distanza.

Uno studio ecologico pubblicato nel 2000 ha confrontato i tassi di mortalità e di ospedalizzazione della popolazione residente nei pressi di una discarica in Galles e quelli registrati in popolazioni che presentavano le stesse caratteristiche di livello socio-economico, ma situate in zone diverse da quella in esame.⁸ I risultati di tale studio non hanno evidenziato differenze tra le due popolazioni., sia in termini di mortalità che di ricorso ai ricoveri ospedalieri

In una revisione della letteratura pubblicata nel 2009, volta a valutare l'impatto sulla salute umana delle pratiche di gestione dei rifiuti, Giusti ha concluso che le evidenze di un'associazione tra la residenza vicino a discariche e gli effetti avversi sulla salute della popolazione sono insufficienti e non conclusive.⁹ Ha aggiunto anche che, al fine di migliorare la qualità e l'utilità degli studi epidemiologici applicati alle popolazioni residenti in aree dove sono ubicati gli impianti di gestione dei rifiuti, è preferibile effettuare studi di coorte di sufficiente potenza statistica, utilizzando dati di esposizione individuali e più attendibili della distanza. Altri studi volti ad indagare gli effetti sulla salute della popolazione residente vicino alle discariche si sono concentrati sugli esiti riproduttivi; tali studi si basano sull'ipotesi che risiedere nei pressi di una discarica aumenti il rischio del verificarsi di nascite pre-termine, di nati con basso peso alla nascita, di piccoli per età gestazionale e di malformazioni alla nascita.

Alla luce di quanto esaminato nella rassegna della letteratura, le conoscenze epidemiologiche ad oggi disponibili, ancorché non conclusive, fanno ritenere che il conferimento in discariche controllate, costruite e condotte in accordo alla normativa nazionale e comunitaria, non comporti un rischio per l'ambiente e per la salute delle popolazioni insediate nelle vicinanze dell'impianto.³

Il precedente studio ERAS condotto sulla popolazione della regione Lazio, residente entro 5 km da una discarica, superava i limiti determinati dalla mancanza di una esposizione individuale e trovava un'associazione tra esposizione ad acido solfidrico (H₂S) e incremento di mortalità per tumore del polmone e incremento della morbosità per patologie respiratorie.¹⁰

Obiettivo di questo studio è quello di aggiornare i risultati del precedente studio ERAS mediante un allungamento del follow-up fino al 2018 per valutare e confermare i potenziali effetti sulla salute associati alla residenza nei pressi di discariche per RU utilizzando la concentrazione di H₂S come proxy della contaminazione nell'aria.

Lo studio è stato condotto con un approccio di coorte di popolazione basato sulla ricostruzione della storia anagrafica di tutti gli individui residenti, il loro successivo *follow-up*. L'approccio di coorte è ritenuto in epidemiologia quello in grado di valutare in maniera più valida il nesso eziologico tra una esposizione e lo stato di salute di una particolare popolazione esposta. In questo approccio, tutti i soggetti vengono seguiti nel tempo rispetto alla esposizione di interesse specificatamente definita e

sono minori le possibilità di distorsione. A differenza degli studi di carattere ecologico per comune o per aggregati di sezione di censimento, che usano al numeratore la frequenza degli eventi e al denominatore una stima della popolazione residente (dati ISTAT), nello studio di coorte di popolazione il calcolo degli indici epidemiologici (mortalità, morbosità) ha al denominatore il tempo persona (anni-persona) esatto in cui i soggetti della coorte sono stati a rischio di sviluppare gli esiti in studio. L'esposizione in studio è stata stimata mediante l'utilizzo di un modello di dispersione.

METODI

Caratteristiche delle discariche

Nel Lazio sono presenti dieci discariche per il trattamento dei RU, situate nei comuni di Albano Laziale (RM), Bracciano (RM), Civitavecchia (RM), Roccasecca (FR), Colleferro (RM), Guidonia Montecelio (RM), Latina (LT), Roma e Viterbo. Le due discariche situate nel comune di Latina, sono confinanti, e sono state quindi considerate in questo studio come un unico sito. Il piano regionale di gestione dei rifiuti della Regione Lazio, indica come attualmente attive le discariche di Albano Laziale (RM), Roccasecca (FR), Colleferro (RM) e Viterbo.

Si illustrano alcune caratteristiche degli impianti di trattamento considerati.

La data di inizio di attività di seguito documentata si riferisce alla documentazione giuridica disponibile. Ciò non toglie che in diversi casi gli impianti erano già operativi, in forme diverse, prima delle date indicate.

La discarica di Albano Laziale (RM), situata nella località di Roncigliano, è in funzione dagli inizi degli anni ottanta. L'attuale gestore, Pontina Ambiente srl, gestisce l'impianto dal 1995. Nel 2008 il quantitativo di rifiuto conferito in discarica è stato di 102.310 tonnellate con una produzione di energia netta pari a 9.023.782 KWh. Al 2017 la capacità residua dell'impianto è di 87.954 m³.

La discarica di Bracciano (RM), situata a Cupinoro, è classificata come discarica per rifiuti non pericolosi ed inizia la propria attività a partire dal 25 maggio 2007. Nel 2008 il quantitativo di rifiuto conferito in discarica è stato di 135.824 tonnellate con una produzione di energia netta pari a 9.800.000 KWh. A febbraio 2014 la discarica è stata chiusa provvisoriamente ma poi la chiusura divenne definitiva.

La discarica di Civitavecchia (RM) è situata a Fosso Crepacuore ed è costituita da due lotti di capacità complessiva netta pari a 87.378 mc, in grado di ricevere nei limiti delle quote assentite, un quantitativo di rifiuti stimato in 78.640 t circa. Nel piano regionale dei rifiuti viene indicata una volumetria residua di 183.904 m³ sebbene la discarica non sia più in attività dalla fine del 2021.

La discarica di Guidonia Montecelio (RM) entra in esercizio a partire dall'anno 1991 ed è gestita da ECO ITALIA 87 S.r.l.. Termina la sua attività nel febbraio del 2014.

La discarica di Latina, situata a Borgo, era gestita dalle società Ecoambiente S.r.l. (bacini S1, S2, ed S3) ed Ind.Eco. S.r.l. (bacini S4, S5, S6 ed ex. B2). Il lotto della discarica gestito dalla Ecoambiente S.r.l. entra in esercizio a partire dal 24 settembre 2001, mentre il lotto gestito dalla Ind.Eco S.r.l. entra in esercizio a partire dal 08 agosto 1990. Il sito è chiuso dal 2016 con obbligo di bonifica.

La discarica di Cerreto (FR), nel comune di Roccasecca è gestita da MAD srl è entrata in esercizio a partire dal 28 novembre 2002. Al 2019 la volumetria residua è di 183.904 m³.

La discarica di Viterbo Le Fornaci è entrata in esercizio a partire dall'anno 2000, e ad oggi risulta essere suddivisa in tre invasi: il primo invaso, con un volume di conferimento pari a 373.000 mc, è stato completamente esaurito; il secondo invaso, con un volume di conferimento pari a 1.250.000 m³, presentava al 31/12/2008 una volumetria residua di 105.000 m³ circa; il terzo invaso autorizzato nell'anno 2008, con un volume utile di circa 850.000 m³ (pari a 750.000 tonnellate circa). Il volume residuo al 2019 è di 12.000 m³.

Il complesso impiantistico di Malagrotta, situato nel comune di Roma, è costituito da un impianto di discarica per rifiuti non pericolosi al quale sono collegati due impianti per il Trattamento Meccanico Biologico dei rifiuti, denominati rispettivamente Malagrotta 1 e Malagrotta 2. La discarica di Malagrotta inizia la propria attività a partire dal 1987 ed è stata chiusa il 1° ottobre 2013.

La discarica di Colferro (RM), sita località Colle Fagiolaro. Storicamente gestita da "Lazio Ambiente S.P.A" fin dall'inizio dell'attività 1977 dal 2022 è in gestione a "Minerva ambiente", società partecipata del comune di Colferro. La volumetria residua al 2017 era di 500.000 m³.

Area in studio

L'area in studio ha compreso i comuni che rientrano in un raggio di 3 Km dal perimetro delle discariche. I perimetri delle discariche sono stati geocodificati utilizzando il software GIS (Geographic Information System). In particolare il perimetro di ogni discarica è stato identificato utilizzando le carte tecniche regionali (CTR), in scala 1:5000. Tutte le informazioni sono state proiettate secondo il seguente sistema di riferimento: WGS84_UTM33N (Il Sistema geodetico mondiale del 1984 con la proiezione universale della Trasversa di Mercatore relativa alla zona 33Nord).

Questo procedimento ha consentito di stimare superficie e perimetro dei siti in studio:

Comune	Perimetro (m)	Area (m²)
ALBANO LAZIALE	3,368	512,716
BRACCIANO	1,975	151,804
CIVITAVECCHIA	1,029	71,797
COLLEFERRO	1,384	82,673
GUIDONIA MONTECELIO	1,978	231,396
LATINA	4,072	978,594
ROCCASECCA	760	40,057
ROMA	6,320	1,791,195
VITERBO	2,196	220,952

Indicatori di esposizione

La valutazione dell'esposizione della popolazione residente è stata effettuata considerando le emissioni areali delle discariche espresse in termini di idrogeno solforato (acido solfidrico) (H₂S), generate utilizzando il Landfill Gas Emissions (LandGEM) Model (sviluppato dalla US Environmental Protection Agency.¹¹) e il modello di dispersione lagrangiano a particelle SPRAY. A questo scopo, per ogni discarica è stata costruita una griglia regolare che approssima l'area della discarica con una risoluzione di 125x125 m (celle) e sono stati calcolati i tassi di emissione di H₂S, per ogni cella. I parametri utilizzati per stimare le emissioni sono stati: il tempo di attività, e quindi le informazioni relative alle date di apertura e chiusura di ciascun settore della discarica, la capacità di contenimento del rifiuto, in termini di tonnellate di rifiuti e il tasso di ricevimento dei rifiuti. I tassi di emissione stimati da LandGEM sono stati considerati come dati di input per il modello lagrangiano. Il modello lagrangiano utilizza informazioni sulle emissioni, sulla orografia e sulla meteorologia. Questa procedura ha consentito la produzione di mappe di concentrazione media annuale dell'acido solfidrico (H₂S) specifiche per discarica.

Disegno dello studio e definizione della coorte

Lo studio è stato condotto con un approccio di coorte di popolazione. Si è considerata di interesse la popolazione che ha risieduto in un'area di 5 km dal perimetro delle discariche in un periodo compreso tra il 1 Gennaio 1996 e il 31 Dicembre 2008, più precisamente tutti i soggetti residenti al 1 gennaio 1996 e successivamente entrati fino al 31 dicembre 2008. Hanno fatto eccezione a questo criterio la coorte di Civitavecchia che ha come inizio per il reclutamento il 1° gennaio 2004 (per l'impossibilità di recuperare l'archivio anagrafico informatizzato negli anni precedenti), e la coorte di Roma che è composta dai soggetti censiti all'ottobre 2001 e residenti da almeno cinque anni allo stesso indirizzo.

Selezione della popolazione in studio e follow-up della coorte

Per selezionare la coorte di popolazione residente nei pressi delle discariche, sono stati recuperati gli archivi informatizzati forniti dagli Uffici Anagrafe di tutti i comuni del Lazio che ricadono nell'area di 3 km intorno alle discariche. I comuni considerati sono:

- Albano Laziale, Aprilia, Ardea, Ariccia e Pomezia per la discarica di Albano Laziale (discarica di Albano-Cecchina) (provincia di Roma);

- Bracciano e Cerveteri per la discarica di Bracciano (provincia di Roma);
- Colleferro e Genazzano per la discarica di Colleferro (provincia di Roma);
- Civitavecchia, Guidonia Montecelio, Latina, Viterbo per le relative discariche
- Roccasecca e Colfelice per la discarica di Roccasecca (provincia di Frosinone);
- Roma per la discarica di Malagrotta.

La popolazione considerata è quella che ha avuto una residenza nei comuni indicati dal 01/01/1996 al 31/12/2008. Gli archivi comunali ricevuti dalle anagrafi sono stati sottoposti a rigorose procedure di controllo prima di essere utilizzati per l'analisi.

Tutti i soggetti arruolati nella coorte sono stati seguiti per quanto riguarda il proprio stato in vita fino al 31 Dicembre 2018. I soggetti emigrati dal comune di residenza in altro comune fuori dalla regione Lazio sono stati considerati vivi fino al momento della emigrazione, e il *follow-up* è dunque cessato al momento della migrazione. La presenza di un individuo all'interno della regione Lazio è stata valutata mediante l'uso dell'archivio dell'anagrafe assistiti che fornisce tre foto quadrimestrali per ciascun anno a partire dal 2006. L'attribuzione delle informazioni sanitarie, mortalità, ricorso alle cure ospedaliere e incidenza di patologie tumorali, alla coorte è stata effettuata con procedure di record-linkage nella salvaguardia della normativa sulla privacy. Per i soggetti deceduti è stata recuperata l'informazione sulla causa di morte (codifica ICD IX-CM) utilizzando il Registro Nominativo delle Cause di Morte (ReNCaM) della Regione Lazio. Le informazioni relative ai ricoveri ospedalieri sono state recuperate 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 della Regione (pubblici e privati). Sono quindi state attribuite a tutte le persone che hanno avuto un ricovero la diagnosi principale, codificata secondo le regole della IX Classificazione Internazionale delle Malattie, la data di ricovero e di dimissione. Per ogni individuo ricoverato è stato analizzato solo il primo ricovero (acuto e in regime ordinario) avvenuto nel periodo in studio per patologia di interesse.

Geocodifica della coorte e attribuzione delle variabili di confondimento

La georeferenziazione dell'indirizzo di residenza della popolazione in studio è stata necessaria sia per la selezione della coorte (sulla base della distanza dal perimetro della discarica come spiegato precedentemente) sia per l'attribuzione ad ogni soggetto della propria esposizione (concentrazione di H₂S) e di altre informazioni di contesto considerate nell'analisi come confondenti.

Per poter individuare la posizione di ogni individuo nello spazio è stata richiesta alle anagrafi comunali l'informazione relativa all'indirizzo di residenza della persona all'inizio del *follow-up*. Ciò ha consentito l'attribuzione delle coordinate geografiche a tutti i cittadini residenti mediante il software ArcGIS. Le operazioni di geo-referenziazioni sono state realizzate per una quota rilevante di residenti attraverso procedure di normalizzazione dell'indirizzo ed interrogazione attraverso le mappe dei sistemi TELEATLAS e NAVDAC. In pochi casi le operazioni non sono riuscite per indisponibilità dell'indirizzo o il mancato ritrovamento di questo nello stradario GIS.

Una volta geocodificata la coorte dei residenti si è proceduto con l'attribuzione delle variabili che descrivono le caratteristiche individuali e altri fattori relativi al contesto ambientale della coorte in

studio (vicinanza di strade ad altro traffico, altre fonti di inquinamento industriale presenti nell'area in studio, livello di inquinamento atmosferico). Queste informazioni sono state considerate come potenziali confondenti della relazione tra la residenza nell'area interessata dalle discariche in studio e gli outcome in studio (mortalità, ospedalizzazioni, incidenza).

Per tutte le sezioni di censimento del Lazio è disponibile un indicatore socio-economico (SES) sulla base di variabili raccolte al censimento 2001 (disponibili a livello di piccola area - sezione di censimento).¹² Queste variabili (istruzione, occupazione, condizione abitativa, composizione familiare, immigrazione) sono state utilizzate per definire l'indice SES, accorpato in cinque classi: alto, medio-alto, medio, medio-basso, basso. Ad ogni soggetto residente è stato dunque attribuito il valore dell'indice SES della sezione di residenza di appartenenza.

Ad ogni soggetto della coorte è stato attribuito un valore di concentrazione media annua di PM₁₀ come misura della qualità dell'aria nella zona di residenza. Le concentrazioni di PM₁₀ sono state calcolate considerando undici macrosettori: produzione energia e trasformazione combustibili, combustione non industriale, combustione nell'industria, processi produttivi, estrazione e distribuzione combustibili, uso di solventi, trasporto su strada, altre sorgenti mobili e macchinari, trattamento e smaltimento rifiuti, agricoltura, altre sorgenti e assorbimenti. La valutazione delle concentrazioni di PM₁₀ è stata effettuata su tutta la regione Lazio (considerando una risoluzione di 4x4 Km) e con una risoluzione maggiore per la città di Roma (1x1 Km).

Sono stati presi in considerazione due indicatori di inquinamento da traffico: la residenza entro un buffer di 500 m da autostrade e di 150 m da strade principali. La classificazione della tipologia di strada è stata fatta utilizzando le informazioni presenti nel database della società TELEATLAS; la classificazione è avvenuta selezionando il valore dell'attributo Functional Road Class (FRC): autostrade (FRC = 1) strade principali (1 <= FRC <= 5).

Infine, è stata considerata anche la residenza entro 1 Km ed entro 2 Km dalle industrie di rilievo presenti nella regione.

Analisi statistica

È stata valutata l'associazione tra la residenza nei pressi delle discariche e la mortalità e le ospedalizzazioni della coorte considerando, come già detto, l'esposizione a concentrazioni di H₂S ottenute dal modello di dispersione. I i soggetti della coorte, residenti entro 5 km, sono stati classificati sulla base della distribuzione percentile della concentrazione di H₂S registrata al loro indirizzo di residenza. Sono stati confrontati i rischi di mortalità, ricovero e incidenza per quartili di esposizione. In particolare gli esposti a concentrazioni di H₂S tra il 25°-50° percentile, tra il 50°-75° percentile e maggiori del 75° percentile sono stati confrontati con quelli della popolazione esposta a concentrazioni di H₂S più basse (inferiori al 25° percentile).

L'associazione tra le esposizioni di interesse e mortalità/morbosità è stata valutata in una analisi interna alla coorte attraverso una analisi di sopravvivenza (*Cox proportional hazard model*) con la stima di rischi relativi (Hazard Ratios, HR, ed intervalli di confidenza al 95%). Tale metodica si può considerare lo standard negli studi sugli effetti a lungo termine delle esposizioni ambientali. Nel

modello multivariato di analisi l'età è stata considerata come asse temporale e sono state considerate le seguenti variabili di aggiustamento: livello socio-economico (SES), PM₁₀ da modello di dispersione regionale, residenza entro 150 m da strade principali, residenza entro 500 m da autostrade e residenza entro 1 o 2 Km dalle industrie della regione. L'analisi di Cox è stata stratificata per cinque periodi di calendario, (1996-2000, 2001-2004, 2005-2008, 2009-2013, 2014-2018) per tenere conto del trend temporale della mortalità o delle ospedalizzazioni e per scaricare, per tenere conto delle diverse realtà territoriali delle zone in studio. Se il rischio di mortalità, ospedalizzazione della popolazione più esposta non differisce da quella di confronto, il corrispondente HR sarà pari a 1.0; valori di HR sopra 1.0 indicano un effetto dell'esposizione sulla mortalità/ospedalizzazione rispetto al riferimento, mentre valori sotto 1.0 indicano un rischio inferiore rispetto al riferimento. I limiti di confidenza indicano gli estremi inferiore e superiore dell'intervallo di valori all'interno del quale è probabile che ricada il valore vero del HR (la probabilità è stabilita a priori, in questo caso è il 95%). L'ampiezza dell'intervallo dà una misura della precisione statistica della stima (tanto più è ampio l'intervallo, tanto più la stima è imprecisa) ed è influenzato dalle dimensioni della popolazione in studio e dalla rarità della malattia (tanto più piccolo è il numero di eventi, tanto più imprecisa è la stima del HR e dunque tanto più ampio è l'intervallo di confidenza). L'intervallo di confidenza fornisce l'informazione sulla probabilità che l'associazione osservata sia statisticamente significativa: se entrambi gli estremi dell'intervallo sono al di sopra o al di sotto del valore nullo (in questo caso HR=1.0), significa che con una probabilità del 95% l'HR indica un eccesso (o un difetto) di mortalità.

La gestione dei data base è stata effettuata utilizzando il software SAS mentre per le analisi statistiche sono stati usati i software STATA (versione 12, StataCorp) ed R (www.r-project.org/).

RISULTATI

Caratteristiche degli impianti e della coorte

Nella figura 1 è riportata la localizzazione delle discariche in studio nella regione e la concentrazione di stimata PM₁₀ dal modello regionale con una risoluzione di 4 *4 Km.

Nelle figure 2-10 sono riportati i confini amministrativi dei comuni che costituiscono l'area in studio per ogni impianto, la localizzazione delle discariche, gli anelli concentrici che descrivono la distanza dalle discariche (0-1, 1-2, 2-3, 3-4, e 4-5 km) calcolati a partire dal confine perimetrale delle discariche stesse, i risultati dei modelli di dispersione per l' H₂S, le industrie, le autostrade e le strade principali e i membri della coorte residenti all'inizio del *follow-up* opportunamente georeferenziati,

La tabella 1 mostra le caratteristiche della coorte in studio per classe di esposizione a H₂S (<25°percentile, 25°-50° percentile, 50°-75° percentile e >75° percentile) per sesso, età all'inizio del *follow-up*, livello socio-economico, discarica, concentrazione di PM₁₀ (<50° percentile, 50°-90° percentile e >90°percentile), strade principali, autostrade e industrie. La coorte è composta da 242.409 residenti entro 5 km dalle discariche. Tra i diversi livelli di esposizione ad H₂S non si osservano differenze nella composizione della popolazione in termini di età e genere. Tra i meno esposti è più alta, invece, la percentuale di residenti con una posizione socio-economica più elevata (16% vs 5%

dei più esposti). Le persone che presentano livelli elevati di concentrazione di H₂S risiedono soprattutto in prossimità delle discariche di Albano Laziale, Latina, Guidonia, Roma e Colferro. Tra le persone con bassi livelli di concentrazione di H₂S (<50° percentile) non vi è nessuno che vive vicino le discariche di Latina e di Malagrotta (Roma); queste discariche sono quelle con la superficie più elevata tra quelle in studio e presentano quindi livelli di concentrazione di H₂S (diffusione areale) più elevati.

Il 25% della popolazione esposta a concentrazioni di H₂S superiori al 75° percentile risiede in zone caratterizzate anche da alti livelli di PM₁₀ atmosferico, mentre il 73% della coorte, che risiede in zone con le concentrazioni di H₂S inferiori al 25° percentile, è caratterizzata anche da più bassi livelli di PM₁₀. Il 40% della coorte maggiormente esposta ad H₂S risiede entro 150 m dalle strade principali e l'8% vicino ad autostrade. Infine il 15% degli esposti a livelli di H₂S superiori al 75° percentile risiede entro 1 Km dalle principali industrie della regione rispetto al 1% del gruppo dei meno esposti.

Vengono di seguito illustrati i risultati della analisi di mortalità, ospedalizzazione e incidenza di tumori.

Analisi della mortalità

Nella tabella 2 – a) Uomini; b) Donne – si mostrano l'associazione tra i livelli di concentrazione di H₂S e la mortalità della coorte. Sono riportati i risultati ottenuti considerando la concentrazione di H₂S come variabile categorica suddivisa in 4 livelli di esposizione: <25° percentile (ref.), 25-50° percentile, 50-75° percentile, > 75° percentile

Uomini

I residenti esposti a concentrazioni di H₂S > 75° mostrano eccessi di mortalità per tumore del polmone rispetto ai residenti in aree caratterizzate da una concentrazione di H₂S inferiore al 25° percentile della distribuzione (HR=1.27 IC95%1.04-1.55). Al contrario, si osserva un rischio di mortalità inferiore all'atteso per malattie ischemiche del cuore (HR=0.79 IC95% 0.64 -0.96) sempre tra i più esposti (> 75° percentile) rispetto ai meno esposti (<25° percentile).

Donne

Le donne esposte ad alte concentrazioni di H₂S non mostrano eccessi di mortalità per nessuna causa in studio rispetto alle donne meno esposte.

Analisi delle ospedalizzazioni

In tabella 2 – a) Uomini; b) Donne – si mostrano i rischi relativi di ospedalizzazione della coorte totale ottenuti dal modello di Cox per concentrazione di H₂S. La tabella riporta i risultati ottenuti considerando l'esposizione come variabile categorica (<25°percentile, 25°-50° percentile, 50°-75° percentile e >75° percentile).

Uomini

I rischi di ospedalizzazione per cause naturali della popolazione maschile esposta a più alti livelli di H₂S (>75° percentile) risultano in eccesso rispetto alla popolazione meno esposta (<25° percentile) (HR=1.04 IC95% 1.00-1.07). Rispetto agli esposti a livelli <25° percentile, si riscontrano eccessi per tumore della laringe nella classe di esposti 50°-75° percentile (HR=1.84 IC95%1.09-3.10), per tumore

della vescica tra gli esposti nella classe 50°-75° percentile e >75° percentile (HR=1.80 IC95% 1.22-2.66 e HR=2.13 IC95% 1.38-3.31 rispettivamente) e tra gli esposti >75° percentile per infezioni acute delle vie respiratorie (HR=1.13 IC95% 1.00-1.28).

Donne

Rispetto alle donne che risiedono in zone a più bassa esposizione (<25° percentile), quelle esposte a livelli di concentrazione di H₂S tra 50°-75° percentile e >75° percentile presentano eccessi di ospedalizzazione per cause naturali (HR=1.03 IC95% 1.01-1.06 e HR=1.05 IC95% 1.02-1.09 rispettivamente). Eccessi di rischio tra le più esposte si osservano anche per ASM (HR=1.31 IC95% 1.00-1.73).

DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Lo studio ha riguardato tutta la popolazione che nel Lazio risiede entro 5 Km dalle discariche per Rifiuti urbani.

L'analisi basata sui confronti interni (esposti a concentrazioni più elevate vs esposti a concentrazioni più basse) ha sostanzialmente confermato i risultati del precedente studio, fornendo risultati pressoché sovrapponibili. L'analisi di mortalità non ha fornito elementi di grande rilievo, ad eccezione di una più elevata mortalità tra gli uomini per tumore del polmone. Al contrario, per quanto riguarda i ricoveri ospedalieri non sono stati più osservati aumenti per malattie cardiovascolari ma persistono gli eccessi per le malattie respiratorie. Il quadro di salute dei residenti maggiormente esposti, con problematiche principalmente a carico dell'apparato respiratorio, depone quindi per un effetto nocivo potenzialmente attribuibile ad emissioni di sostanze irritanti, come l'acido solfidrico, batteri o endotossine. L'effetto si osserva avendo tenuto conto in fase di analisi di altri fattori che possano aver compromesso la qualità dell'aria nei pressi delle discariche (inquinanti generati da traffico veicolare o da altri siti industriali presenti nelle vicinanze). La letteratura recente¹³⁻¹⁵, del resto, ha suggerito una relazione molto stretta tra esposizione ad idrogeno solforato in prossimità di discariche e danni all'apparato respiratorio.

L'approccio seguito in questo studio e nelle modalità di analisi adottate ha cercato di superare alcuni dei limiti degli studi disponibili in letteratura:

- Disegno dello studio. È stato utilizzato un approccio di coorte di popolazione per dare una misura molto più dettagliata della popolazione a rischio: attraverso la ricostruzione della storia anagrafica della popolazione residente in 16 comuni della Regione è stato possibile calcolare gli anni-persona e quindi le misure di frequenza basate su individui e non su un approccio ecologico;
- Georeferenziazione dei soggetti in studio. È stata utilizzata una tecnica innovativa volta ad individuare, attraverso il software ArcGIS, le coordinate geografiche di ciascun indirizzo di residenza nei comuni in studio. Ciò ha permesso di attribuire ad ogni persona un livello di esposizione (distanza o concentrazione di H₂S) e diverse informazioni relative al proprio contesto ambientale;

- Esiti in studio. La valutazione dello stato di salute della coorte è stata realizzata sia in termini di mortalità che di morbosità;
- Esposizione. Oltre alla distanza, si è cercato un modo innovativo per misurare l'esposizione alle discariche, valutando le concentrazioni di H₂S mediante simulazioni modellistiche basate su modelli areali;
- Confondenti. I risultati sono aggiustati per il potenziale effetto confondente sia di variabili individuali età e posizione socio-economica, ma anche e soprattutto tenendo conto di variabili relative al contesto ambientale (vicinanza da strade ad alto traffico, prossimità a siti industriali, qualità dell'aria) che altrimenti avrebbero potuto distorcere l'associazione in studio.

Al di là dei punti di forza dello studio, occorre sottolineare i limiti:

- Storia residenziale. Non tutte le anagrafi dei comuni in studio hanno fornito informazioni relative alle variazioni di domicilio all'interno del comune. Per questo motivo l'esposizione associata ad ogni individuo è relativa all'indirizzo di residenza all'inizio del *follow-up*. Se fosse stato possibile avere a disposizione tutte le variazioni e le relative date di cambio di domicilio sarebbe stato possibile effettuare delle analisi di sensibilità considerando la residenza prevalente o costruendo misure di esposizione pesate sulla base delle diverse residenze;
- Esiti in studio. Mortalità e ricoveri ospedalieri forniscono informazioni solo su una quota di patologia e ovviamente sfuggono molte malattie che non fanno ricorso ai servizi ospedalieri;
- Esposizione. Nonostante i miglioramenti apportati alla metodologia di individuazione dei livelli di esposizione, occorrono ulteriori sviluppi per fornire una misura dell'impatto delle discariche sull'ambiente; l'H₂S fornisce una misura dell'inquinamento dell'aria della zona di interesse. Lo studio ha inoltre considerato solo la matrice aria, mentre non si può escludere un inquinamento a carico delle matrici acqua e suolo che per via alimentare può comunque arrivare all'uomo.
- Fattori di confondimento individuali. In questo studio non erano disponibili dei dati sulle abitudini personali delle persone incluse nella coorte che hanno un possibile ruolo eziologico per le patologie indagate: il fumo di sigarette, l'alcol, l'attività fisica e l'obesità. Il reperimento di queste informazioni, per esempio tramite interviste telefoniche o visite domiciliari, sarebbe stato proibitivo per una coorte composta da diverse decine di migliaia di persone. Occorre, tuttavia, valutare quanto la indisponibilità di questi dati possa aver falsato i risultati, aver cioè introdotto un confondimento non controllato nella fase di analisi dei dati. E' da osservare che molte delle abitudini personali elencate sono associate allo stato sociale. E' ragionevole dunque ritenere che l'aggiustamento effettuato nella analisi statistica per indicatore socioeconomico (un potente fattore di rischio) abbia anche aggiustato per le variabili individuali non misurate.

BIBLIOGRAFIA

1. Associazione Italiana di Epidemiologia. Trattamento dei Rifiuti e Salute. Posizione dell'Associazione Italiana di Epidemiologia. 2008 <http://www.epidemiologia.it/?q=node/273>.
2. WHO. (2007) Population health and waste management: scientific data and available options. <http://www.euro.who.int/document/E91021.pdf>.
3. Porta et al. Systematic review of epidemiological studies on health effects associated with management of solid waste. *Environ Health* 2009 Dec 23; 8:60 <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2805622/?tool=pubmed>.
4. Goldberg MS, Siemiatyck J, DeWar R, Dèsy M, Riberdy H: Risk of developing cancer relative to living near a municipal solid waste landfill site in Montreal, Quebec, Canada. *Arch Environ Health* 1999; 54:291-296.
5. Jarup L, Briggs D, de Hoogh C, Morris S, Hurt C, Lewin A, Maitland I, Richardson S, Wakefield J, Elliott P: Cancer risks in populations living near landfill sites in Great Britain. *Br J Cancer* 2002; 86:1732-1736.
6. Pukkala E and Pönkä A: Increased incidence of cancer and asthma in houses built on a former dump area. *Environ Health Perspect* 2001; 109:1121-1125.
7. Michelozzi P, Fusco D, Forastiere F, Ancona C, Dell'Orco V, Perucci CA: Small area study of mortality among people living near multiple sources of air pollution. *Occup Environ Med* 1998; 55:611-615.
8. Fielder HMP, Poon-King CM, Palmer S R, Moss N, Coleman G: Assessment of impact on health of residents living near the Nant-y-Gwyddon landfill site: retrospective analysis. *British Medical Journal* 2000; 320:19-22.
9. Giusti L: A review of waste management practices and their impact on human health. *Waste Manag* 2009 Aug; 29(8):2227-39.
10. Mataloni F, Badaloni C, Golini M N, Bolignano A, Bucci S, Sozzi R, Forastiere F, Davoli M, Ancona C. Morbidity and mortality of people who live close to municipal waste landfills: a multisite cohort study. *International Journal of Epidemiology*, 2016; 806-815.
11. EPA <http://www.epa.gov/ttnecatc1/dir1/landgem-v302-guide.pdf>.
12. Cesaroni G, Agabiti N, Rosati R, Forastiere F, Perucci CA. An index of socioeconomic position based on 2001 Census, Rome. *Epidemiol & Prev* 2006 Nov-Dec; 30(6):352-7).
13. Heaney CD, Wing S, Campbell RL, Caldwell D, Hopkins B, Richardson D, Yeatts K. Relation between malodor, ambient hydrogen sulfide, and health in a community bordering a landfill. *Environ Res* 2011 Aug; 111(6):847-52.
14. Corrêa CR, Abrahão CE, Carpintero Mdo C, Anaruma Filho F. Landfills as risk factors for respiratory disease in children. *J Pediatr (Rio J)* 2011 Jul-Aug; 87(4):319-24
15. Giovanni Vinti G, Bauza V, Clasen T, Medlicott K, Tudor T, Zurbrugg C, Vaccari M. Municipal Solid Waste Management and Adverse Health Outcomes: A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health* 2021; 18:4331.

Figura 1. Localizzazione delle discariche in studio, perimetri delle discariche, buffer di 5 Km dal perimetro e livelli di PM₁₀ (µg/m³) di qualità dell'aria

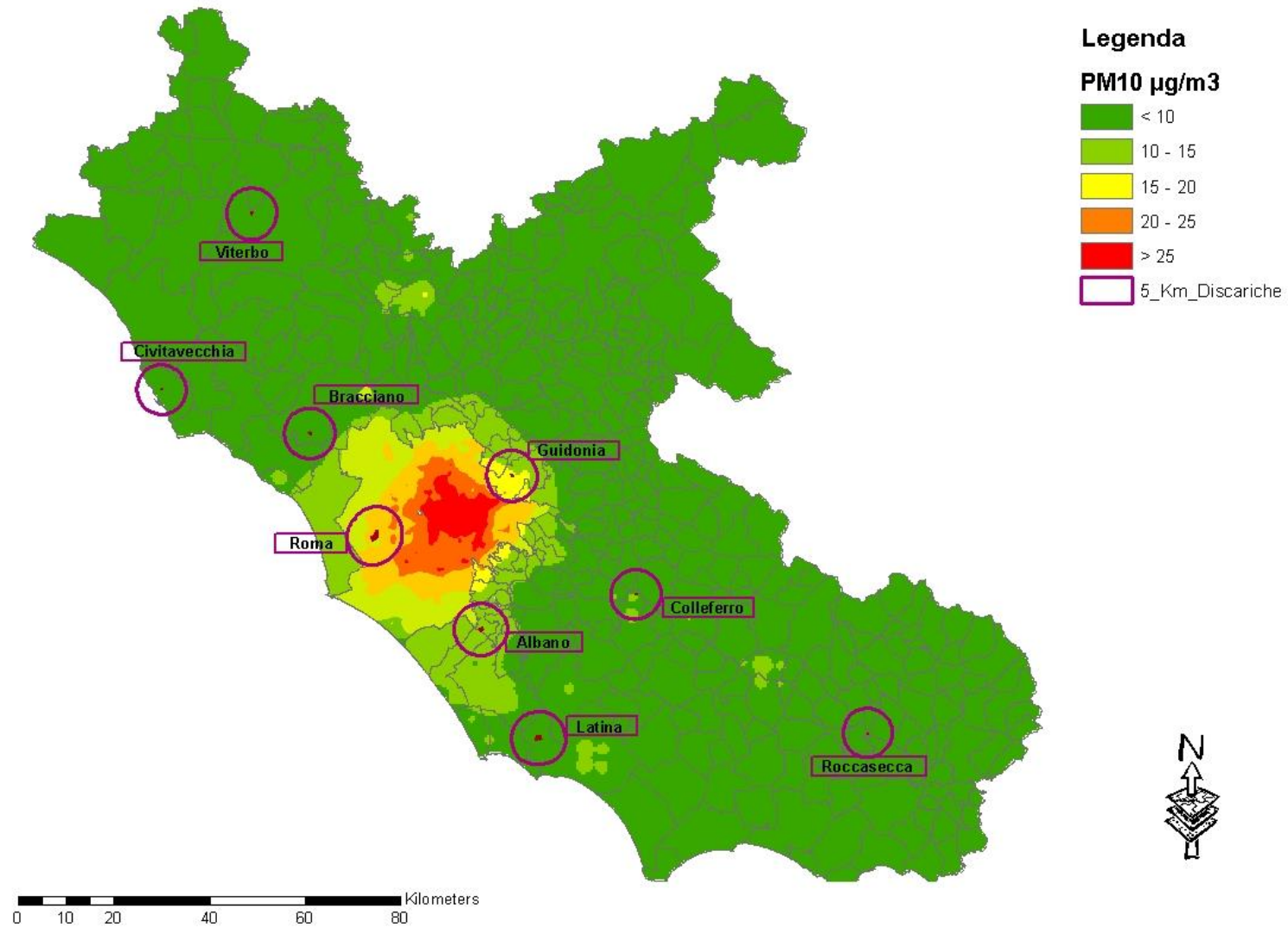


Figura 2. Discarica di Albano Laziale. Area in studio, coorte dei residenti, fasce di distanza dalla discarica e livelli di concentrazione di H₂S (µg/m³)

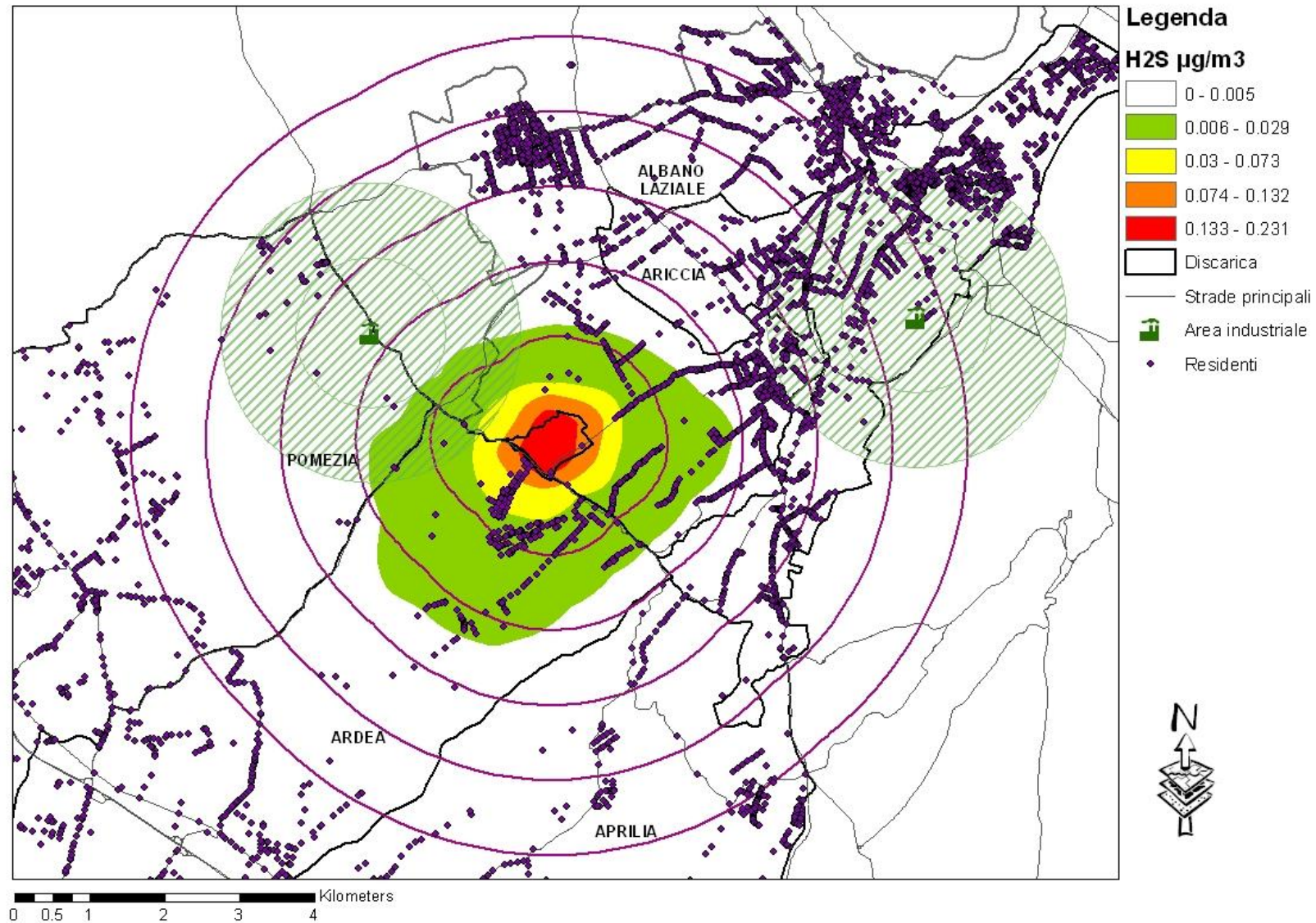


Figura 3. Discarica di Bracciano. Area in studio, coorte dei residenti, fasce di distanza dalla discarica e livelli di concentrazione di H₂S (µg/m³)

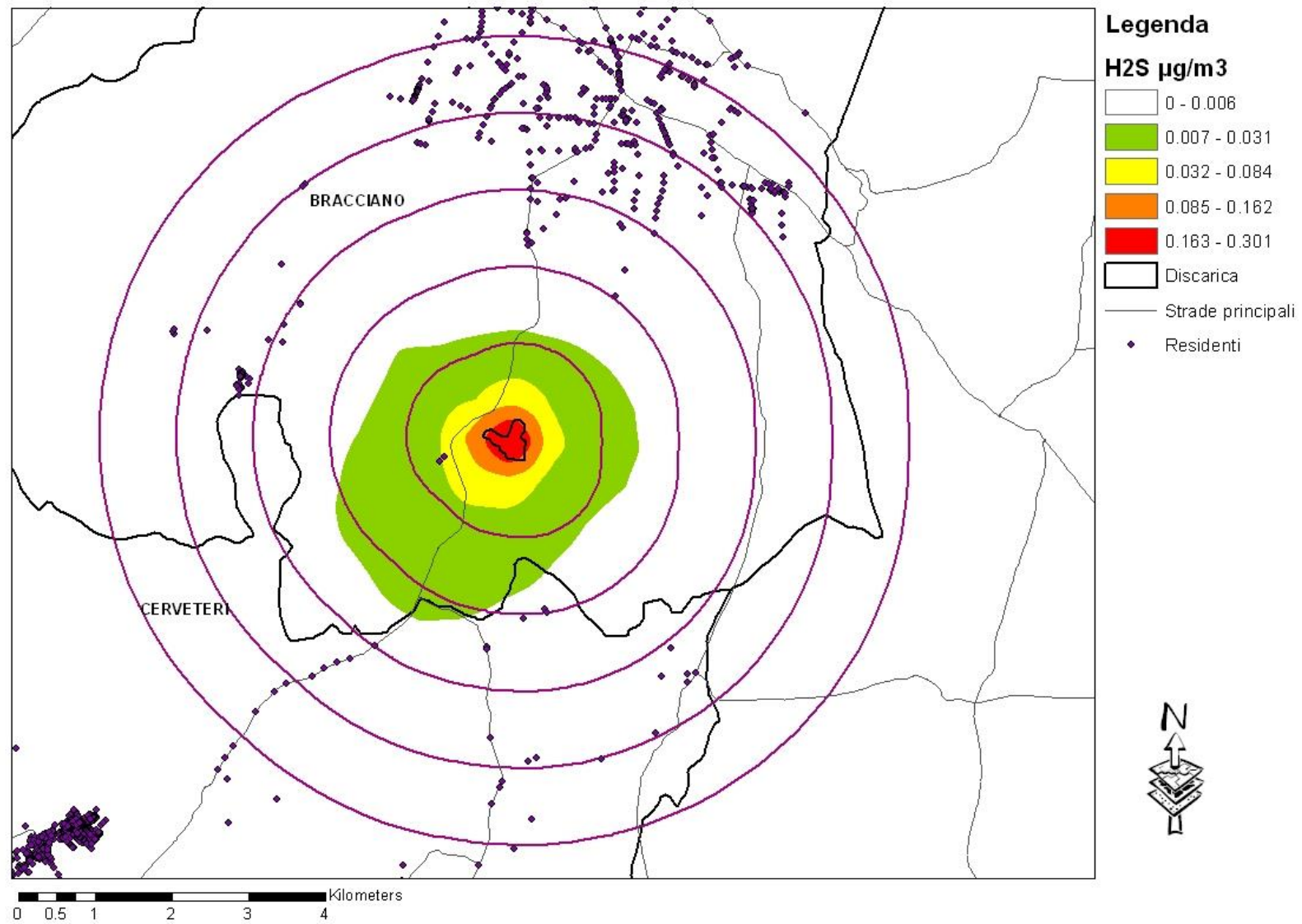


Figura 4. Discarica di Colleferro. Area in studio, coorte dei residenti, fasce di distanza dalla discarica e livelli di concentrazione di H₂S (µg/m³)

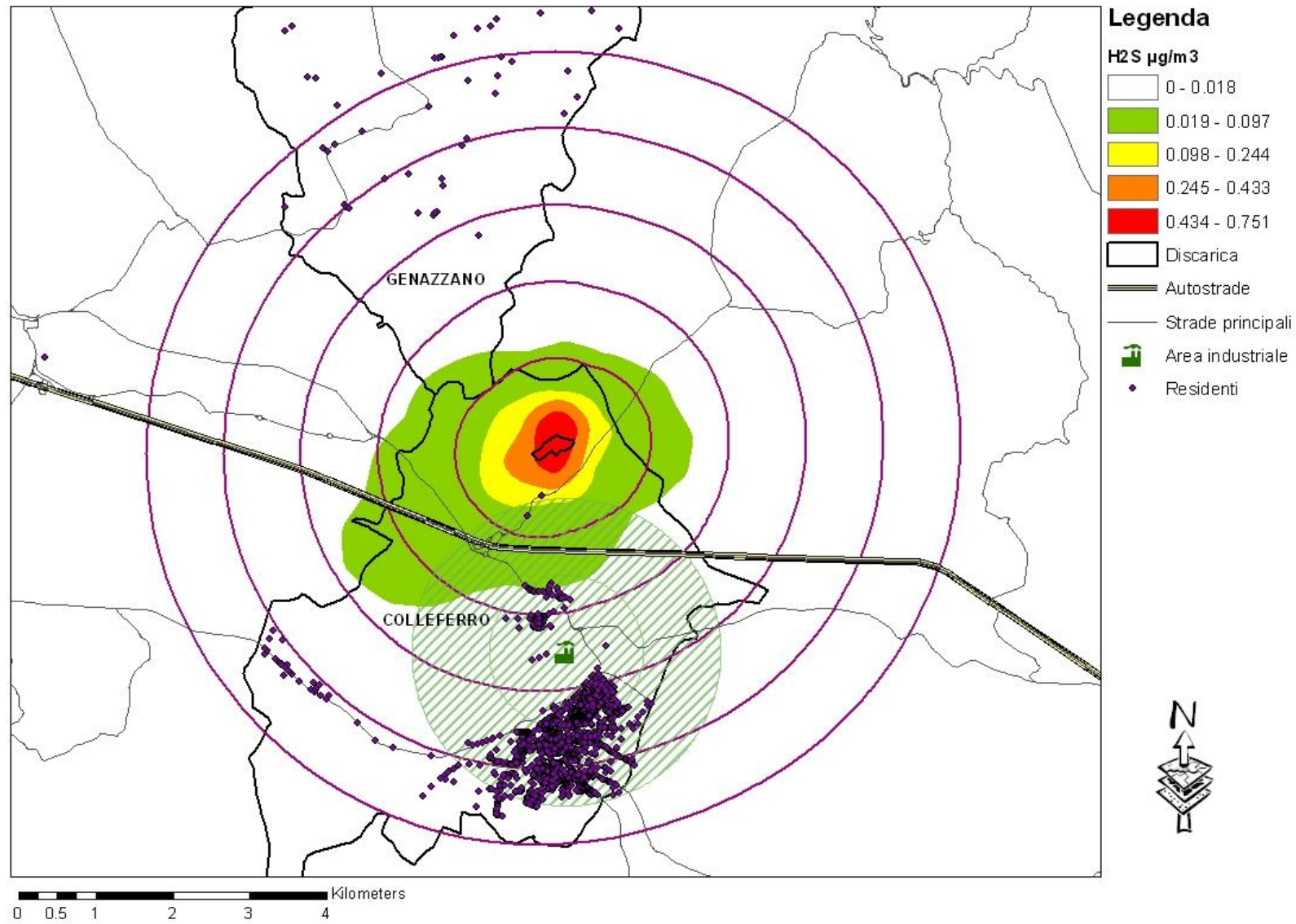


Figura 5. Discarica di Civitavecchia. Area in studio, coorte dei residenti, fasce di distanza dalla discarica e livelli di concentrazione di H₂S (µg/m³)

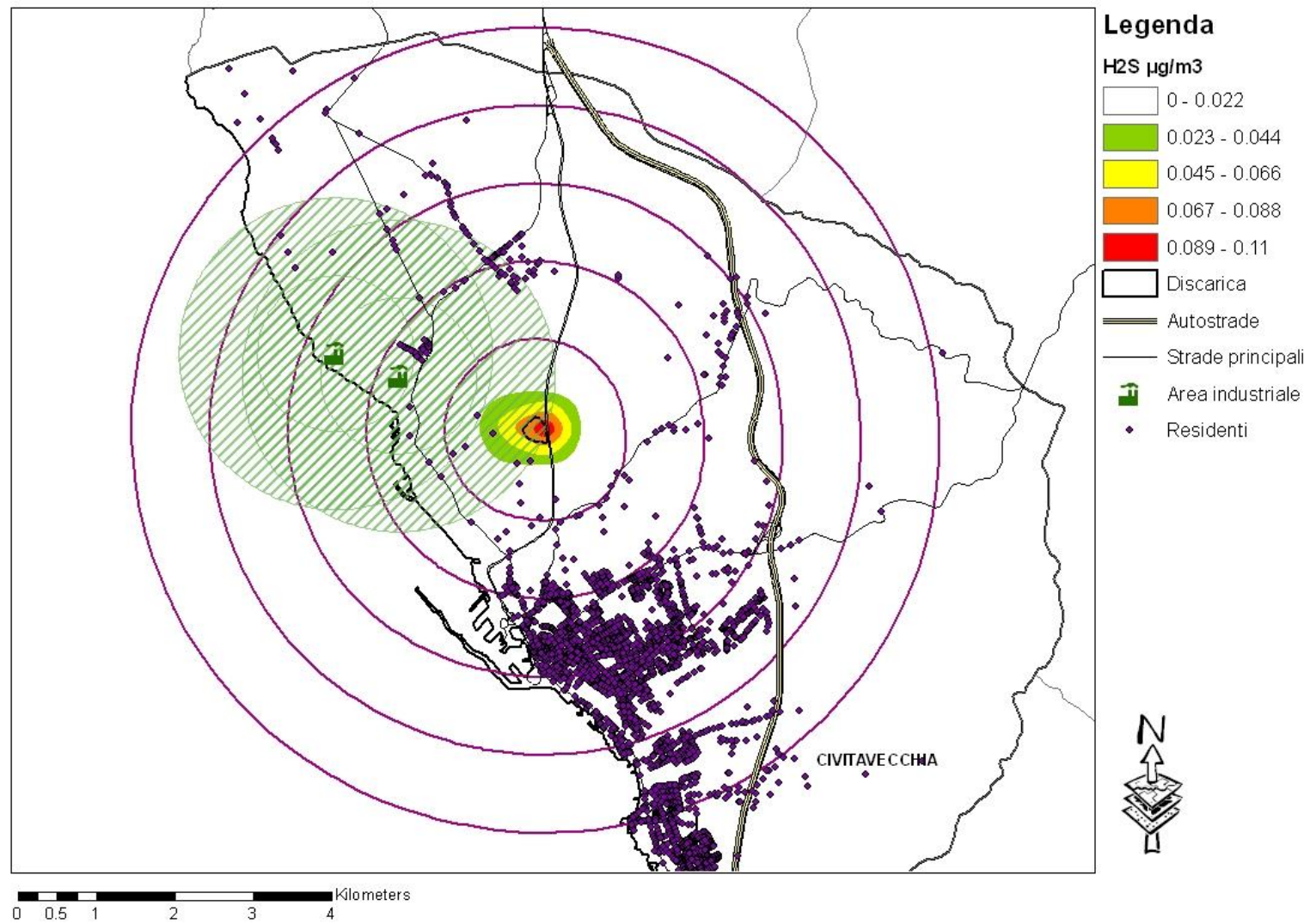


Figura 6. Discarica di Guidonia Montecelio. Area in studio, coorte dei residenti, fasce di distanza dalla discarica e livelli di concentrazione di H₂S (µg/m³)

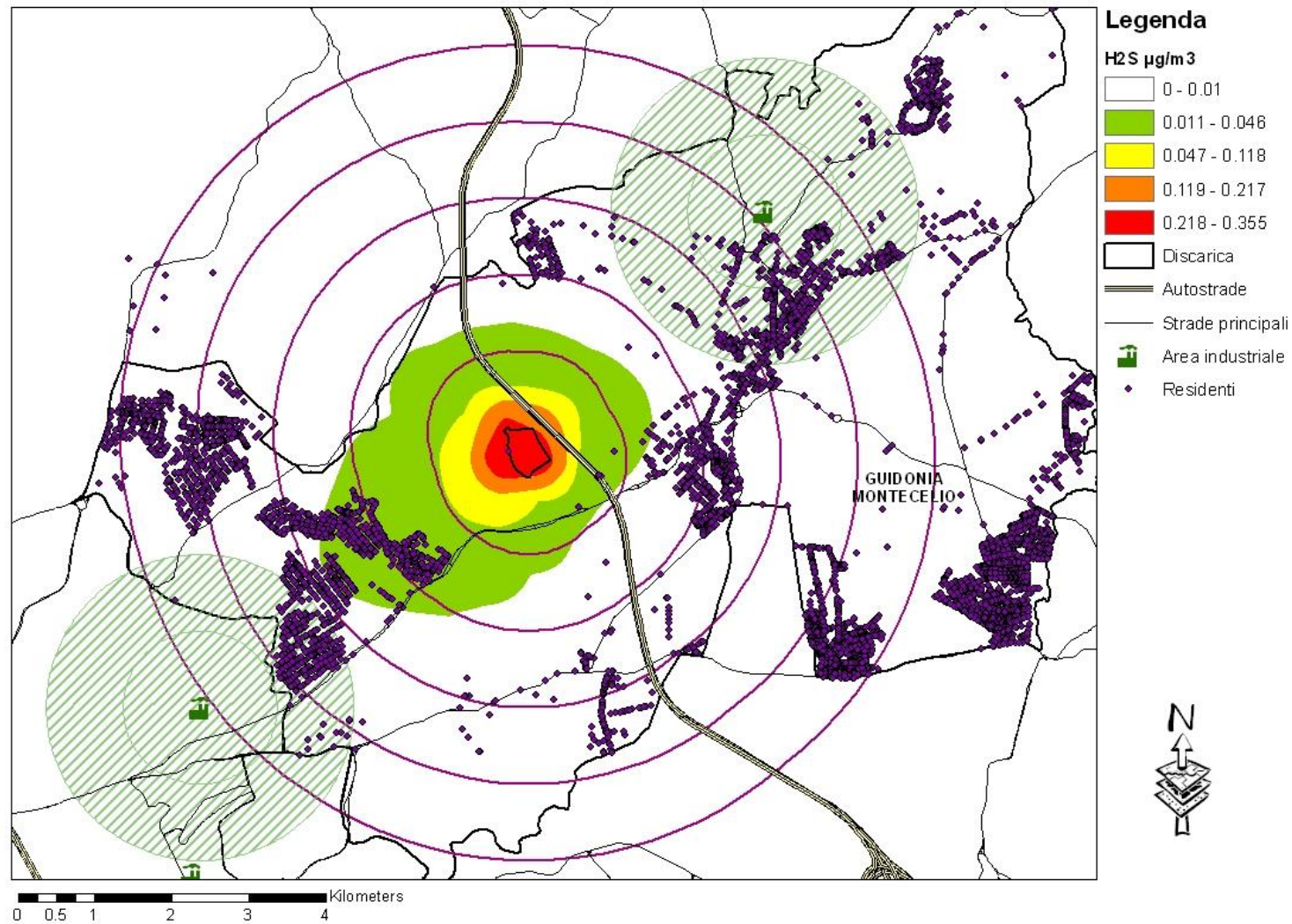


Figura 7. Discarica di Latina. Area in studio, coorte dei residenti, fasce di distanza dalla discarica e livelli di concentrazione di H₂S (µg/m³)

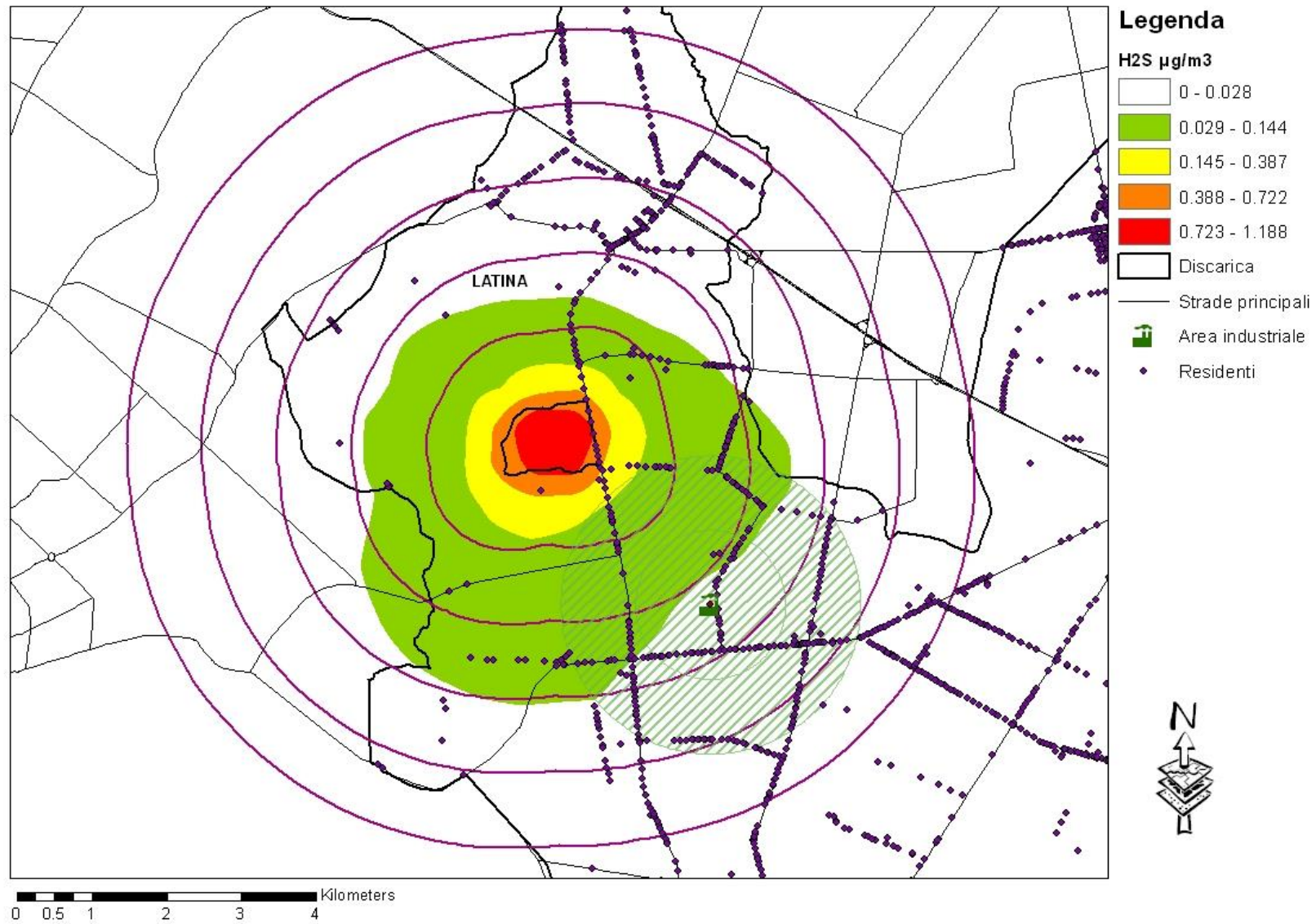


Figura 8. Discarica di Roccasecca. Area in studio, coorte dei residenti, fasce di distanza dalla discarica e livelli di concentrazione di H₂S (µg/m³)

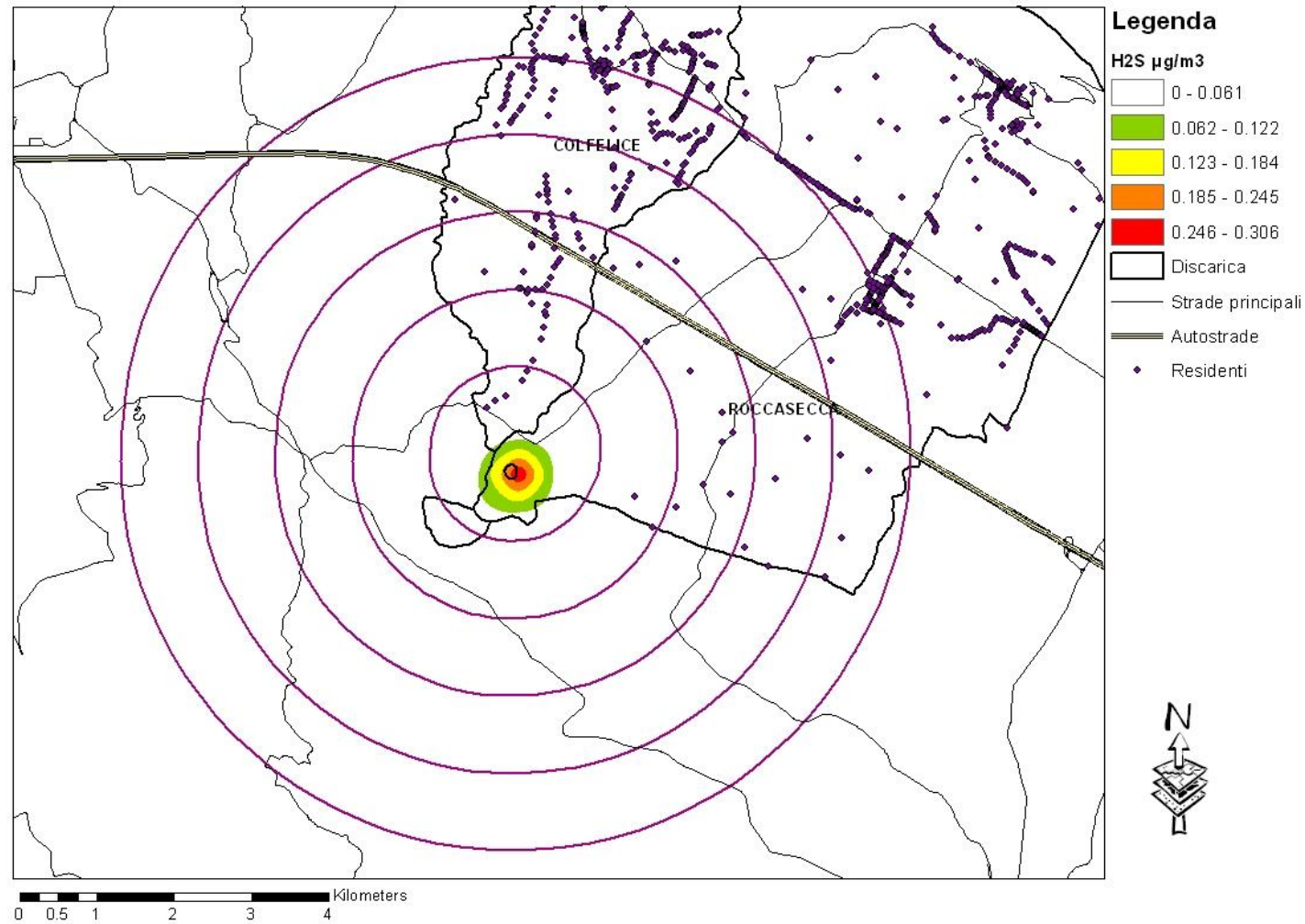


Figura 9. Discarica di Roma Malagrotta. Area in studio, coorte dei residenti, fasce di distanza dalla discarica e livelli di concentrazione di H₂S (µg/m³)

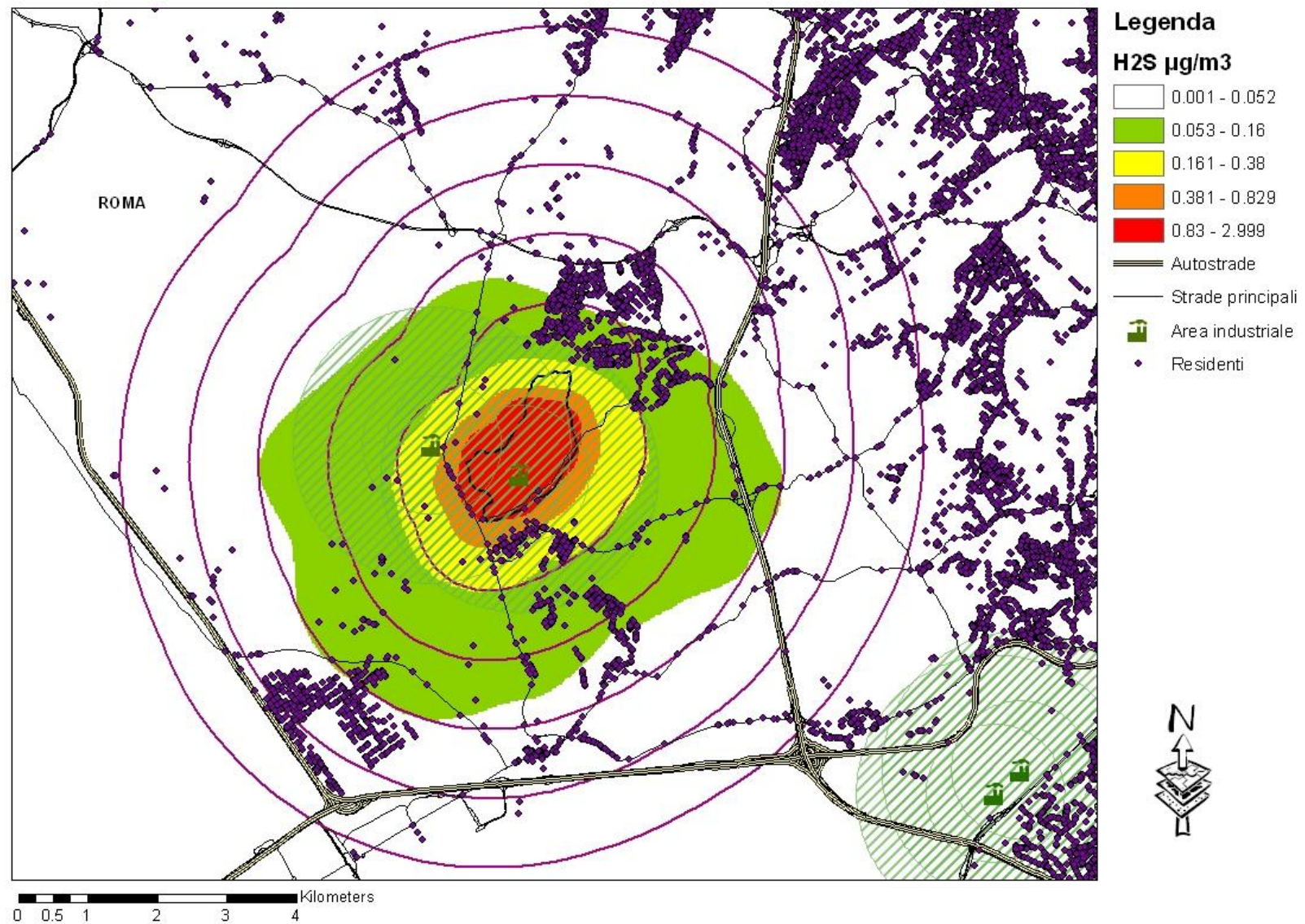
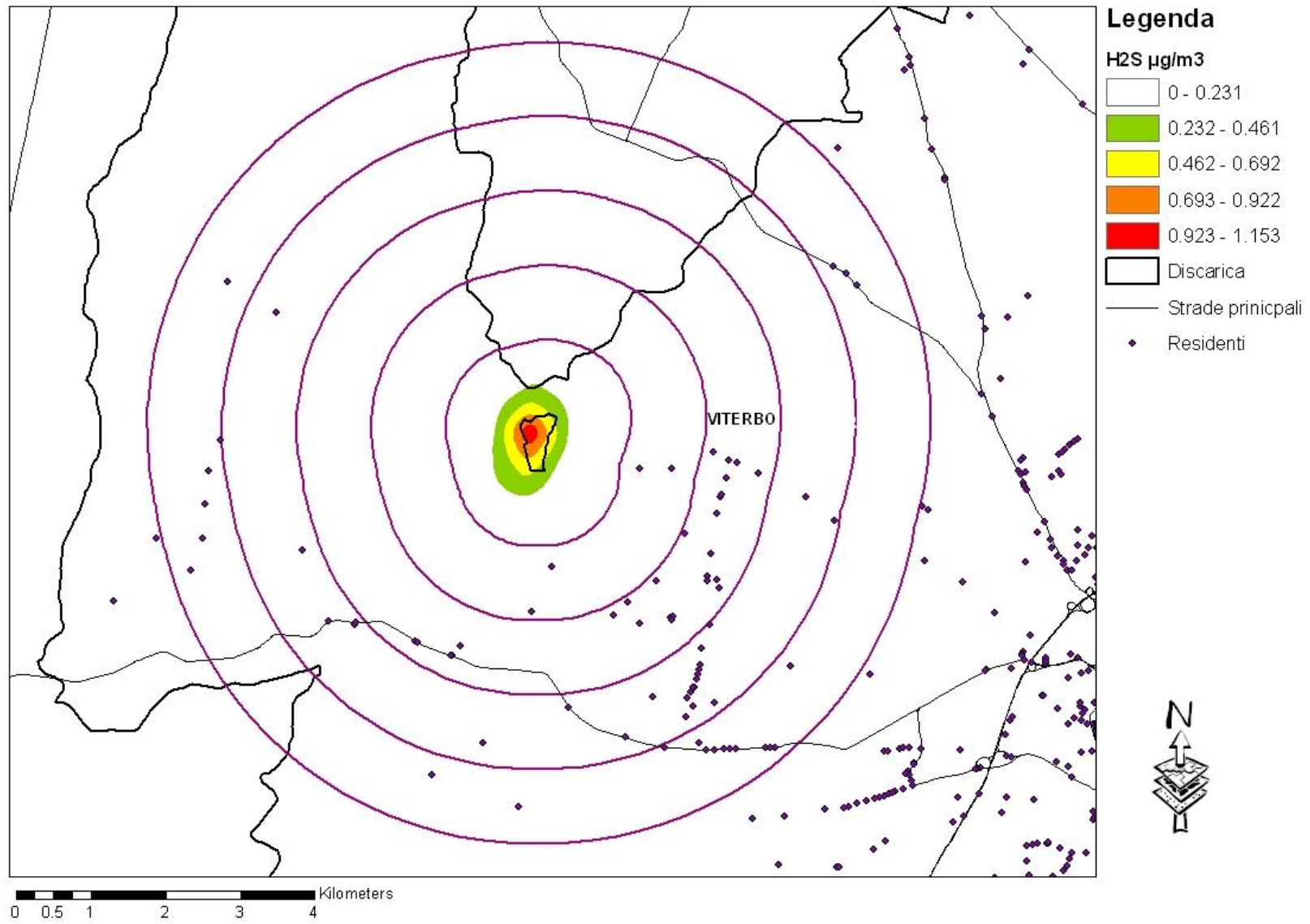


Figura 10. Discarica Viterbo. Area in studio, coorte dei residenti, fasce di distanza dalla discarica e livelli di concentrazione di H₂S (µg/m³)



(E) RAPPORTO

SALUTE

Tabella 1. Coorte dei residenti per livello di concentrazione di idrogeno solforato (H₂S), per sesso, età all'inizio del *follow-up*, livello socio-economico, discarica, livello di PM₁₀ e residenza in prossimità di strade principali, autostrade e industrie.

Totale	Totale	Esposizione ad H ₂ S									
		Totale		<25° percentile		25-50° percentile		50-75° percentile		>75° percentile	
		n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
		242,409	100	60,927	100	60,775	100	63,962	100	56,745	100
Genere	Males	120,232	50	29,781	49	30,137	50	31,979	50	28,335	50
	Females	122,177	50	31,146	51	30,638	50	31,983	50	28,410	50
Età all'arruolamento (anni)	0-14	53,082	22	12,246	20	13,011	21	16,266	25	11,559	20
	15-44	112,754	47	27,380	45	28,383	47	30,661	48	26,330	46
	45-64	50,146	21	13,296	22	12,584	21	11,727	18	12,539	22
	>65	26,427	11	8,005	13	6,797	11	5,308	8	6,317	11
Posizione socio economica	high	23,589	10	10,012	16	6,033	10	4,779	7	2,765	5
	middle-high	41,955	17	7,843	13	8,834	15	9,548	15	15,730	28
	medium	42,286	17	7,447	12	8,588	14	13,958	22	12,293	22
	middle-low	50,394	21	5,364	9	16,816	28	17,563	27	10,651	19
	low	62,157	26	22,806	37	15,206	25	11,906	19	12,239	22
	missing	22,028	9	7,455	12	5,298	9	6,208	10	3,067	5
Discarica	Albano Laziale	52,438	22	15,958	26	16,119	27	14,306	22	6,055	11
	Bracciano	3,954	2	788	1	2,855	5	110	0	201	0
	Latina	5,677	2	0	0	0	0	14	0	5,663	10
	Civitavecchia	52,150	22	31,567	52	20,249	33	259	0	75	0
	Guidonia	80,319	33	12,072	20	19,460	32	32,383	51	16,404	29
	Viterbo	798	0	0	0	95	0	368	1	335	1
	Roma	15,096	6	0	0	0	0	0	0	15,096	27
	Roccasecca	2,610	1	542	1	1,496	2	542	1	30	0
Colleferro	29,367	12	0	0	501	1	15,980	25	12886	23	
PM10	< 11.99µg/m ³ (<50° perc)	121,222	50	44,371	73	29,696	49	23,986	38	23,169	41
	.99-17.69µg/m ³ (50° - 90° pe	96,369	40	16,556	27	28,967	48	31,661	49	19,185	34
	> 17.69µg/m ³ (>90°perc)	24,818	10	0	0	2,112	3	8,315	13	14,391	25
Distanza da strade principali	> 150 m	127,711	53	29,085	48	34,899	57	29,456	46	34,271	60
	<= 150 m	114,698	47	31,842	52	25,876	43	34,506	54	22,474	40
Distanza da autostrade	> 500 m	232,981	96	58,019	95	59,688	98	63,218	99	52,056	92
	<= 500 m	9,428	4	2,908	5	1,087	2	744	1	4,689	8
Impianti industriali	> 2 Km	179,043	74	59,413	98	48,510	80	34,023	53	37,097	65
	0 - 1 Km	12,863	5	376	1	2,676	4	1,130	2	8,681	15
	1 - 2 Km	50,503	21	1,138	2	9,589	16	28,809	45	10,967	19
Stato in vita (al 31 Dicembre 2018)	Vivo	184,437	76	46,958	77	45,524	75	48,129	75	43,826	77
	Emigrato o non rintracciabile	28,104	12	6,463	11	7,816	13	8,345	13	5,480	10
	Deceduto	29,868	12	7,507	12	7,434	12	7,488	12	7,439	13

Tabella 2. Rischi Relativi (Hazard Ratios, HR) di mortalità aggiustati per età, SES, PM₁₀, residenza vicino a strade principali, autostrade e industrie e i relativi Intervalli di Confidenza (IC) al 95% per i diversi livelli di concentrazione di H₂S.

a) Uomini

Causa di morte	Concentrazione di H ₂ S											
	<25° percentile*			25-50° percentile			50-75° percentile			>75° percentile		
	n	HR	I.C. 95%	n	HR	I.C. 95%	n	HR	I.C. 95%	n	HR	I.C. 95%
Cause naturali	3,534	1.04	0.99 1.09	3,486	1.06	0.98 1.15	3,690	1.03	0.97 1.09	3,648	1.03	0.96 1.10
Tutti i tumori	1,309	1.06	0.98 1.15	1,315	1.05	0.95 1.15	1,410	1.05	0.95 1.15	1,447	1.11	0.99 1.25
Stomaco	67	1.28	0.92 1.79	94	1.32	0.89 1.94	94	1.32	0.89 1.94	106	1.38	0.88 2.15
Colon	120	1.05	0.80 1.38	123	1.10	0.81 1.50	139	1.10	0.81 1.50	146	1.27	0.89 1.82
Fegato	105	0.72	0.52 0.99	75	0.71	0.48 1.04	89	0.71	0.48 1.04	92	0.71	0.45 1.13
Pancreas	73	0.85	0.58 1.23	58	1.03	0.67 1.57	78	1.03	0.67 1.57	62	0.66	0.38 1.14
Laringe	20	0.89	0.44 1.77	19	0.72	0.30 1.71	20	0.72	0.30 1.71	24	0.51	0.18 1.43
Trachea, bronchi e polmoni	383	1.12	0.97 1.30	395	1.09	0.92 1.29	438	1.09	0.92 1.29	456	1.27	1.04 1.55
Vescica	79	0.86	0.60 1.21	66	0.99	0.65 1.51	65	0.99	0.65 1.51	54	0.61	0.35 1.09
Rene	39	0.82	0.49 1.36	30	0.95	0.53 1.67	41	0.95	0.53 1.67	45	1.23	0.64 2.34
Encefalo	33	0.84	0.48 1.46	26	0.99	0.52 1.89	31	0.99	0.52 1.89	37	1.13	0.55 2.35
Tessuti linfatici ed ematopoietici	105	1.24	0.94 1.64	123	0.93	0.66 1.31	103	0.93	0.66 1.31	118	1.28	0.87 1.89
Malattie Cardiovascolari	1,254	1.01	0.93 1.10	1,236	1.04	0.94 1.15	1,295	1.04	0.94 1.15	1,262	0.97	0.86 1.09
malattie ischemiche	509	0.95	0.83 1.09	480	1.00	0.85 1.17	515	1.00	0.85 1.17	467	0.79	0.64 0.96
Malattie respiratorie	288	1.01	0.84 1.21	262	0.97	0.78 1.20	256	0.97	0.78 1.20	279	1.14	0.88 1.47
Malattie dell'apparato digerente	144	1.00	0.78 1.29	140	1.19	0.91 1.57	195	1.19	0.91 1.57	171	1.07	0.77 1.49
Malattie del sistema urinario	62	1.41	0.99 2.03	76	1.30	0.84 2.01	67	1.30	0.84 2.01	56	1.29	0.76 2.20

* Riferimento

b) Donne

Causa di morte	Concentrazione di H ₂ S												
	<25° percentile*	25-50° percentile				50-75° percentile				>75° percentile			
		n	n	HR	I.C. 95%	n	HR	I.C. 95%	n	HR	I.C. 95%		
Cause naturali	3,395	3,342	1.04	0.99	1.09	3,196	1.00	0.94	1.07	3,276	1.02	0.94	1.10
Tutti i tumori	933	941	1.06	0.97	1.17	946	1.05	0.94	1.18	924	1.01	0.88	1.16
Stomaco	55	43	0.77	0.51	1.18	65	1.21	0.76	1.93	61	0.72	0.39	1.34
Colon	114	125	1.13	0.86	1.49	99	0.88	0.63	1.24	96	0.94	0.62	1.43
Fegato	59	60	1.08	0.74	1.58	63	1.10	0.69	1.76	53	0.98	0.56	1.74
Pancreas	64	64	1.05	0.72	1.52	66	1.15	0.73	1.80	73	0.99	0.57	1.72
Laringe	3	3	0.71	0.13	3.91	2	0.39	0.04	4.14	7	0.97	0.08	11.08
Trachea, bronchi e polmoni	115	119	1.07	0.81	1.41	151	1.33	0.96	1.85	145	1.17	0.80	1.73
Vescica	14	8	0.64	0.26	1.57	18	2.18	0.82	5.83	19	2.61	0.88	7.79
Rene	27	23	0.95	0.53	1.70	24	1.37	0.68	2.77	13	0.85	0.33	2.18
Encefalo	22	26	1.06	0.57	1.97	27	0.94	0.46	1.93	27	0.73	0.30	1.81
Tessuti linfatici ed ematopoietici	98	81	0.97	0.71	1.33	75	0.91	0.63	1.34	71	0.90	0.56	1.46
Malattie Cardiovascolari	1,407	1,465	1.07	0.99	1.16	1,329	0.99	0.90	1.09	1,416	1.04	0.92	1.17
malattie ischemiche	359	408	1.15	0.99	1.34	343	0.97	0.80	1.17	385	1.14	0.91	1.43
Malattie respiratorie	238	180	0.87	0.71	1.07	188	1.04	0.81	1.33	197	1.26	0.93	1.71
Malattie dell'apparato digerente	153	125	0.82	0.64	1.06	128	0.74	0.54	1.01	136	0.86	0.59	1.24
Malattie del sistema urinario	67	65	1.02	0.71	1.48	59	0.95	0.61	1.48	65	1.12	0.65	1.92

* Riferimento

Tabella 3. Hazard Ratios (HR) di ricovero aggiustati per età, SES, PM₁₀, residenza vicino a strade principali, autostrade e industrie e i relativi Intervalli di Confidenza (IC) al 95% per i diversi livelli di concentrazione di H₂S.

a) Uomini

Causa di Ricovero	Concentrazione di H ₂ S									
	<25° percentile*		25-50° percentile			50-75° percentile				
	n	n	HR	I.C. 95%		n	HR	I.C. 95%		n
Cause naturali	17441	17217	0.99	0.97	1.01	19165	1.01	0.98	1.04	18076
Tumori maligni	2098	1965	1.01	0.94	1.08	2093	1.02	0.94	1.11	2170
Tumore dello stomaco	69	100	1.35	0.97	1.88	86	0.97	0.65	1.45	93
Tumore del colon e del retto	274	226	0.85	0.70	1.03	232	0.85	0.67	1.07	271
Tumore del fegato	65	48	0.81	0.55	1.21	48	0.77	0.46	1.26	45
Tumore del pancreas	60	39	0.68	0.44	1.05	53	0.88	0.54	1.44	47
Tumore della laringe	38	49	1.41	0.89	2.22	61	1.84	1.09	3.10	51
Tumore della trachea, bronchi e polmone	304	296	1.11	0.93	1.31	309	1.06	0.87	1.30	305
Tumore della vescica	257	243	1.02	0.84	1.23	266	1.11	0.89	1.39	287
Tumore del rene	72	85	1.36	0.97	1.89	104	1.80	1.22	2.66	107
Tumore encefalo	36	43	1.33	0.83	2.14	55	1.38	0.81	2.38	42
Tumori linfatici ed ematopoietici	166	164	1.05	0.83	1.32	185	1.02	0.77	1.34	207
Malattie del sistema circolatorio	4362	4249	1.01	0.97	1.06	4638	1.02	0.96	1.08	4711
Malattie cardiache	2624	2558	1.01	0.95	1.07	2625	0.97	0.90	1.04	2868
Malattia ischemica del cuore	1107	1185	1.05	0.96	1.14	1147	0.92	0.83	1.02	1238
Malattie cerebrovascolari	984	942	1.01	0.92	1.12	971	0.99	0.88	1.11	995
Malattie dell'apparato respiratorio	3037	3094	0.98	0.93	1.04	4018	1.02	0.96	1.09	3530
Infezioni acute delle vie respiratorie	925	991	0.99	0.90	1.09	1202	1.01	0.91	1.13	1086
BPCO	423	405	1.00	0.86	1.16	359	0.92	0.77	1.10	381
ASMA	225	252	1.03	0.84	1.25	427	1.12	0.91	1.38	264
Malattie dell'apparato digerente	4494	4638	1.02	0.97	1.06	5309	1.02	0.97	1.07	5029
Malattie dell'apparato urinario	1307	1176	0.92	0.85	1.01	1212	0.92	0.83	1.02	1207
Nefrite, sindrome nefrosica e nefrosi	422	365	0.99	0.86	1.16	291	0.90	0.74	1.10	248
Malattie della tiroide	173	207	1.07	0.86	1.33	225	0.91	0.71	1.17	226

* Riferimento

b) Donne

Causa di Ricovero	Concentrazione di H ₂ S							
	<25° percentile*		25-50° percentile			50-75° percentile		
	n	n	HR	I.C. 95%	I.C. 95%	n	HR	I.C. 95%
Cause naturali	18342	17824	1.00	0.98	1.03	19413	1.03	1.01
Tumori maligni	1965	1850	1.04	0.97	1.11	1908	1.03	0.95
Tumore dello stomaco	70	61	0.88	0.61	1.27	56	1.04	0.66
Tumore del colon e del retto	237	197	0.95	0.78	1.17	195	0.93	0.72
Tumore del fegato	26	25	1.01	0.56	1.82	18	0.50	0.23
Tumore del pancreas	41	52	1.32	0.85	2.04	38	0.85	0.49
Tumore della laringe	11	5	0.25	0.08	0.86	17	0.78	0.24
Tumore della trachea, bronchi e polmone	101	103	1.06	0.79	1.43	128	1.35	0.95
Tumore della vescica	48	50	1.32	0.87	2.01	54	1.52	0.90
Tumore del rene	51	43	0.92	0.60	1.42	47	1.16	0.70
Tumore encefalo	36	26	0.75	0.43	1.31	35	0.83	0.45
Tumori linfatici ed ematopoietici	148	125	1.01	0.78	1.30	132	0.99	0.73
Malattie del sistema circolatorio	3765	3407	0.96	0.92	1.01	3423	0.99	0.93
Malattie cardiache	2186	1909	0.95	0.89	1.01	1895	0.97	0.90
Malattia ischemica del cuore	599	504	0.90	0.79	1.03	502	0.93	0.80
Malattie cerebrovascolari	966	850	0.93	0.84	1.02	812	0.95	0.84
Malattie dell'apparato respiratorio	2337	2405	0.97	0.91	1.03	3146	1.00	0.93
Infezioni acute delle vie respiratorie	797	810	0.94	0.84	1.04	940	0.92	0.81
BPCO	295	282	0.89	0.74	1.06	267	0.91	0.74
ASMA	184	193	1.06	0.84	1.32	291	1.25	0.99
Malattie dell'apparato digerente	3735	3653	0.97	0.93	1.02	4096	0.98	0.93
Malattie dell'apparato urinario	953	846	0.93	0.84	1.03	938	1.04	0.92
Nefrite, sindrome nefrosica e nefrosi	301	238	0.96	0.80	1.15	206	1.05	0.84
Malattie della tiroide	667	705	1.03	0.92	1.16	943	1.08	0.95

* Riferimento

ALLEGATO 4

ERAS Lazio 2 – Valutazione epidemiologica dello stato di salute della popolazione residente nei pressi dei termovalorizzatori del Lazio

Executive summary

La valutazione degli effetti sulla salute associati alla residenza in prossimità di inceneritori deriva prevalentemente da studi ecologici e suggerisce un possibile effetto per alcuni esiti riproduttivi (malformazioni congenite, nascita pretermine e basso peso alla nascita) e alcune forme tumorali (laringe, polmoni, esofago, stomaco, intestino, fegato, reni, vescica e seno). Tuttavia il grado di evidenza è limitato. Lo studio è stato condotto nell'ambito del progetto ERASLazio2 e ha valutato il rischio di ricovero ospedaliero tra i residenti sul territorio, in relazione all'attivazione e alla chiusura dei due termovalorizzatori di Colferro e San Vittore del Lazio. Nella valutazione degli effetti dei termovalorizzatori si è tenuto conto della concentrazione di PM10 derivante da altre fonti (PM10 di background).

L'approccio utilizzato è quello di coorte retrospettivo. Sono stati arruolati 47,192 soggetti residenti tra il 1° Gennaio 1996 e il 31 Dicembre 2008 in un'area di 7 km dall'impianto di Colferro e di 5 km dall'impianto di San Vittore del Lazio, entrati in funzione nel 2002. La disponibilità delle informazioni anagrafiche georeferenziate ha consentito di attribuire l'esposizione ai livelli di inquinamento di background (concentrazione media annua di PM10 stimata nel 2018 tramite modelli random forest) e alle emissioni dei termovalorizzatori (PM10) stimate dal modello di dispersione lagrangiano SPRAY. I soggetti della coorte sono stati suddivisi in tre categorie di esposizione "bassa-media-alta" in base alle concentrazioni stimate degli inquinanti. Tutte le analisi, condotte con il modello di Cox separatamente per genere, hanno tenuto conto di età, classe di rischio, sede dell'impianto, posizione socio-economica e una serie di variabili GIS indicative della residenza in prossimità di altre potenziali fonti di inquinamento presenti nelle aree (HR e IC 95%).

L'effetto della vicinanza residenziale agli impianti di Colferro e San Vittore del Lazio sul rischio di ospedalizzazione nelle aree a media e alta esposizione (post-attivazione vs pre-attivazione degli impianti) si manifesta con un aumento di rischio per le malattie respiratorie cronico-ostruttive (HR = 1,65; 1,41-2,61); un aumento del rischio di malattie respiratorie si osserva anche tra i residenti nell'area a media esposizione (HR = 1,15; 1-1,37). Stratificando per sesso si osserva tra gli uomini che vivono nell'area a media esposizione un eccesso di rischio di ospedalizzazione per malattie respiratorie (HR = 1,28; 1,04-1,57) mentre per le donne residenti nell'area di media esposizione si evidenzia un aumento del rischio di asma (HR = 3,12; 1,00-9,73).

I risultati indicano una associazione tra l'esposizione all'inquinamento derivante dagli impianti di termovalorizzazione e un incremento delle ospedalizzazioni per disturbi respiratori. E' quindi opportuna una continua sorveglianza epidemiologica della popolazione residente in una delle aree a più elevata criticità ambientale del Lazio.

INTRODUZIONE

Il processo di combustione, generalmente chiamato incenerimento, è oggi il trattamento termico più comune applicato per diverse tipologie di rifiuti, tra cui i rifiuti solidi urbani, i rifiuti industriali e i combustibili solidi da rifiuti (Lombardi et al., 2015). Il trattamento termico consente di ridurre i rifiuti solidi sia in massa che in volume, preservando lo spazio in discarica e riducendo il rischio di problemi sanitari dovuti alla loro decomposizione (Gohlke e Martin, 2007). Il vantaggio principale di questo processo è infatti la possibilità di recuperare energia durante la lavorazione degli scarti. Pertanto, gli impianti di trattamento termico sono oggi indicati come termovalorizzatori.

Al di là degli indubbi benefici, c'è anche una certa preoccupazione per i possibili effetti nocivi dell'incenerimento per la salute umana. Il processo termico rilascia nell'aria diverse sostanze, tra cui il particolato, sia grossolano (PM10) che fine (PM2,5), metalli pesanti come il mercurio o il piombo, e prodotti di combustione incompleta come le diossine o il benzene (National Research Council (US) Committee on Health Effects of Waste Incineration, 2000). Questi contaminanti, una volta rilasciati, possono raggiungere il corpo umano attraverso varie vie, e quindi potenzialmente esercitare i loro danni. L'effetto dell'incenerimento dei rifiuti sulla salute umana è stato analizzato molte volte negli ultimi anni, valutando vari possibili esiti. Revisioni recenti (Tait et al., 2019; Domingo et al., 2020; Vinti et al., 2021) hanno mostrato associazioni rilevanti tra le emissioni degli inceneritori e molteplici esiti come cancro, malattie cardiovascolari e respiratorie in termini sia di mortalità che di morbilità. Gli esiti riproduttivi e i difetti congeniti sono, così come le disfunzioni endocrine, eventi frequentemente studiati in questo tipo di contesti. I risultati degli studi sugli effetti sulla salute dell'incenerimento dei rifiuti, tuttavia, sono spesso poco chiari o incompleti, principalmente a causa di problemi di progettazione dello studio o di valutazione dell'esposizione. D'altra parte, non ci sono dubbi sugli effetti dannosi dell'inquinamento atmosferico sulla salute umana, a vari livelli, (Dominski et al., 2021), e sul suo carico di malattia attribuibile. Nel 2019, ad esempio, il PM2.5 è stato responsabile di 463.526 (320.221 – 607.077) decessi in Europa e di 32.738 (23.731 – 41.752) in Italia. Anche la qualità della vita ne risente fortemente, con una stima di 1045 (724,6 – 1.373) DALY per 100.000 abitanti in Europa e 729,8 (528,2 – 940,7) in Italia nel 2019 (Organizzazione Mondiale della Sanità [OMS], 2022).

A partire dal 2020, gli impianti di incenerimento in Italia erano 80, per lo più situati nella parte settentrionale del Paese (ISPRA, 2022). Abbiamo ambientato il nostro studio in una nota area ecologicamente critica del Lazio, nell'Italia centrale, che comprende sei comuni. Abbiamo analizzato l'effetto della vicinanza residenziale ai due termovalorizzatori presenti nell'area (ubicati nei comuni di Colleferro e San Vittore del Lazio).

La stessa area era stata precedentemente studiata da Golini et al. (2014). I loro risultati hanno indicato un eccesso di ricoveri per malattie respiratorie in individui di sesso maschile che vivono vicino agli impianti, nonché rischi per la salute cardiovascolare e respiratoria associati al particolato proveniente dalle emissioni primarie.

Il nostro obiettivo è stato quello di definire il rischio di ricovero ospedaliero tra i residenti sul territorio, in relazione all'attivazione e alla chiusura dei due termovalorizzatori. La nostra scelta delle malattie studiate è stata coerente sia con il rationale di studi precedenti simili che con le caratteristiche specifiche del nostro ambiente. Per questo motivo, abbiamo escluso le cause tumorali a causa del tempo di induzione possibilmente poco chiaro, considerando il tempo di follow-up del nostro studio, e

i difetti riproduttivi/congeniti, a causa dell'impiego di una coorte chiusa. Invece, ci siamo concentrati sulle malattie cardiovascolari e respiratorie.

Metodi

Area di studio

Il termovalorizzatore di Colferro è situato in un'area di circa 30.000 m² ed è costituito da due impianti, il primo attivato nel dicembre 2002, il secondo nel giugno 2003. Il termovalorizzatore di San Vittore del Lazio si estende su un'area di circa 50.000 m² ed è stato attivato nell'agosto 2002. Alla fine del 2018, la chiusura dell'impianto di Colferro è stata decisa dall'amministrazione politica della regione Lazio, con l'impianto già sequestrato per smaltimento illecito di rifiuti nel 2009.

Colferro è un'area ecologicamente critica della regione Lazio. Dall'inizio del 1900 ha inglobato impianti industriali di vario tipo che hanno contaminato il terreno e le falde acquifere sottostanti. La situazione critica di Colferro è legata alla sua ubicazione nella valle del fiume Sacco, monitorata da decenni dopo la scoperta di un massiccio smaltimento illegale di rifiuti, altamente contaminati da beta-esaclorocicloesano, un composto organico ritenuto tossico (Tomczak et al., 1981). Studi di biomonitoraggio sono stati condotti negli ultimi anni in quell'area e i risultati hanno confermato la contaminazione umana da beta-esaclorocicloesano (Porta et al., 2013) e metalli pesanti (D'Ilio et al., 2013) nel sangue dei residenti nell'area.

L'area di studio è stata definita come un raggio di 5 Km dall'impianto di San Vittore e di 7 km dall'impianto di Colferro, a causa della sua complessità. Le posizioni centrali delle aree dei due inceneritori sono state geocodificate utilizzando un sistema GIS.

Valutazione dell'esposizione

Il particolato (PM₁₀) è stato scelto come proxy dell'inquinamento atmosferico prodotto dai due impianti. Per stimare la sua concentrazione a livello del suolo, è stato utilizzato il modello di dispersione lagrangiana SPRAY delle particelle. Questo modello ha utilizzato le informazioni sulle specifiche tecniche degli impianti, i parametri meteorologici e l'orografia dell'area per fornire la concentrazione di PM₁₀ a livello del suolo con una risoluzione di 500 x 500 m. Le emissioni complessive dell'impianto di Colferro sono state stimate sommando le emissioni delle due ciminiere. Il PM₁₀ è stato anche considerato un indicatore dell'inquinamento atmosferico di fondo dovuto alle emissioni primarie del traffico urbano. Le concentrazioni medie annuali di fondo di PM₁₀ (2016-2019) sono state stimate per ogni km² d'Italia utilizzando un approccio di machine learning, la foresta casuale (RF), che sfrutta le informazioni provenienti da predittori spazio-temporali, dati satellitari e dati di monitoraggio della qualità dell'aria. I dettagli possono essere trovati in Stafoggia et al. 2021 (25,26).

Disegno dello studio

È stato condotto uno studio retrospettivo di coorte residenziale. Tutti i residenti nell'area entro 7 km (Colferro) e 5 km (S. Vittore) dagli impianti tra il 01/01/1996 e il 31/12/2008 sono stati registrati con indirizzi geocodificati e seguiti fino al 31/12/2022. Per ogni soggetto erano disponibili i dati anagrafici, l'indirizzo di base di residenza geocodificato utilizzando l'indirizzo del software ArcGIS, la data di immigrazione (e l'eventuale emigrazione) e lo stato anagrafico. Il follow-up per lo stato di stato civile è stato effettuato attraverso l'anagrafe comunale e il collegamento dei registri con la banca dati regionale sulla mortalità, che comprende tutti i decessi della popolazione residente. Lo stato di

vitalità delle persone che si sono trasferite al di fuori dell'area di studio nel periodo 1996-2018 è stato registrato tramite collegamento con il fascicolo della Direzione Sanitaria Regionale. I soggetti sono stati considerati a rischio fino al decesso, al di fuori della regione Lazio, o fino all'ultimo giorno del follow-up (31/12/2022).

Per ogni soggetto della coorte sono stati valutati, oltre al PM10 da emissioni primarie, l'esposizione al PM10 derivante dagli impianti, stimata all'indirizzo di residenza. Abbiamo definito tre livelli di esposizione:

- Basso: valori di PM10 inferiori al 50° percentile;
- Intermedio: valori di PM10 compresi tra il 50° e l'80° percentile;
- Alto: valori di PM10 superiori all'80° percentile.

La geocodifica degli indirizzi ha permesso, per ogni individuo, di determinare la distanza tra l'indirizzo di residenza e le autostrade, le strade molto trafficate e gli impianti industriali. La residenza all'interno dei confini dello Scalo di Colferro e in prossimità del fiume Sacco è considerata anche per le persone esposte all'impianto di Colferro. La posizione socio-economica (SEP) è stata valutata per ogni soggetto, sulla base del tratto di censimento.

Dati sanitari

I dati relativi ai ricoveri tra il 1996 e il 2022 sono stati ricavati dai sistemi informativi regionali del Lazio. Abbiamo incluso nell'analisi ogni individuo della coorte che, durante il periodo di follow-up, aveva subito almeno un ricovero con una delle cause di interesse come diagnosi primaria:

- Cause naturali, ad eccezione del parto o di traumatismi (ICD IX 001-629; 677-799);
- Malattie circolatorie (ICD IX 390-459), ulteriormente suddivise in:
 - o Malattie cardiache (ICD IX 390-429);
 - o Cardiopatie ischemiche (ICD IX 410-414);
 - o Malattie cerebrovascolari (ICD IX 430-438);
- Malattie respiratorie (ICD IX 460-519), ulteriormente suddivise in:
 - o Infezioni acute delle vie respiratorie (ICD IX 460-466; 480-487);
 - o Malattie polmonari cronico-ostruttive (ICD IX 490-492; 494-496);
 - o Asma (ICD IX 493);

Sono stati esclusi dall'analisi gli individui che avevano subito due diversi ricoveri in meno di 30 giorni.

Analisi statistica

Abbiamo eseguito un'analisi in due fasi, considerando diversi intervalli di tempo. La prima fase ha avuto l'obiettivo di valutare il rischio di ospedalizzazione dal 1/01/1996 al 31/12/2002 (prima che gli impianti fossero attivi) e dal 1/01/2003 al 31/12/2018 (quando entrambi gli impianti erano attivi). Abbiamo utilizzato il modello di Cox per gli eventi ricorrenti, inserendo un termine di interazione tra l'esposizione categoriale al PM10 e una variabile fittizia che tiene conto del periodo durante il quale si è verificato il ricovero (prima o dopo il 01/01/2003). Sono stati esclusi dal tempo a rischio il tempo trascorso in ospedale per una causa diversa dalle cause di interesse. Abbiamo stratificato per localizzazione dell'impianto e classe di rischio (un valore che è unico per ogni individuo: l'ipotesi è che chi era già stato ricoverato avesse una maggiore probabilità di subire un altro ricovero, per una delle cause studiate o per qualsiasi altra causa). Le stime sono state corrette per: PM10 da emissioni primarie, stato socio-economico (Cesaroni et al., 2006), residenza in prossimità di autostrade e strade molto trafficate, fiume Sacco, impianti industriali e confini di Colferro Scalo. Questo approccio pre-

post ha permesso di stimare il rischio di ospedalizzazione passando dal periodo precedente all'attivazione degli impianti al periodo successivo, nelle aree a media e alta esposizione, relativamente al rischio di ospedalizzazione nell'area di controllo.

La seconda fase ha riguardato solo l'impianto di Colferro. La sua chiusura è stata decretata alla fine del 2018. In questo caso abbiamo utilizzato un approccio pre-post con due cut-off, uno il 01/01/2003, quando l'impianto è stato attivato, e uno il 01/01/2019, quando abbiamo ipotizzato la chiusura. Abbiamo usato il modello di Cox per gli eventi ricorrenti. Il gruppo di riferimento era costituito dai residenti nell'area a bassa esposizione nel periodo precedente all'attivazione dell'impianto. Le stime sono state corrette come per il modello utilizzato nella prima fase e per una variabile fittizia che tiene conto della presenza di codici ICD-9 utilizzati per Covid-19 (043.1, 043.21, 043.31, 079.82, 480.2, 480.41, 480.42, 480.3, 518.1, 518.2, 518.91, 519.1, 519.2, 5197.1) nelle diagnosi primarie o secondarie.

Tutte le analisi sono state eseguite con Stata e RStudio (StataCorp. 2019. Software statistico Stata: versione 16. Stazione dell'università, TX: LLC di StataCorp.; RStudio Team (2020). RStudio: Sviluppo integrato per R. RStudio, PBC, Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>).

Risultati

Principali risultati

Le figure 1-6 mostrano i confini amministrativi dei comuni coinvolti in questo studio, gli impianti con buffer di 5 e 7 km, i residenti, le autostrade, le strade trafficate e i fiumi.

Le figure 1 e 2 mostrano i modelli di dispersione del PM10 derivanti dagli impianti. Le figure 3 e 4 mostrano le tre zone di esposizione (bassa, media e alta).

Figura 1 Modello di dispersione del PM10 derivante dall'impianto di Colferro

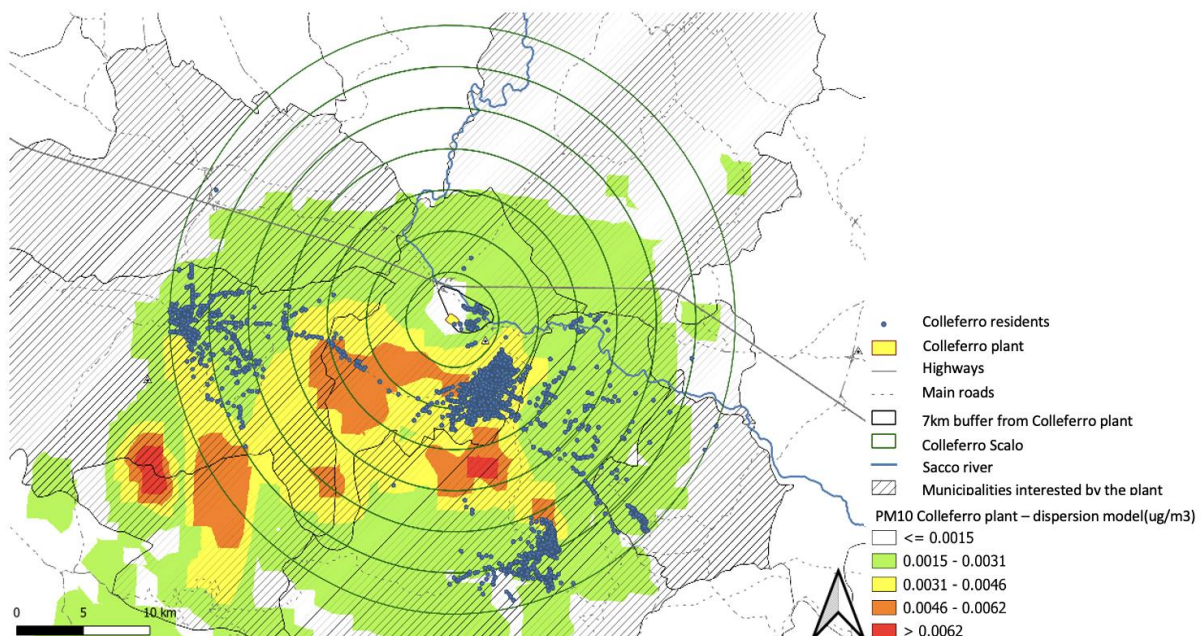


Figura 2 Modello di dispersione del PM10 derivante dall'impianto di San Vittore del Lazio

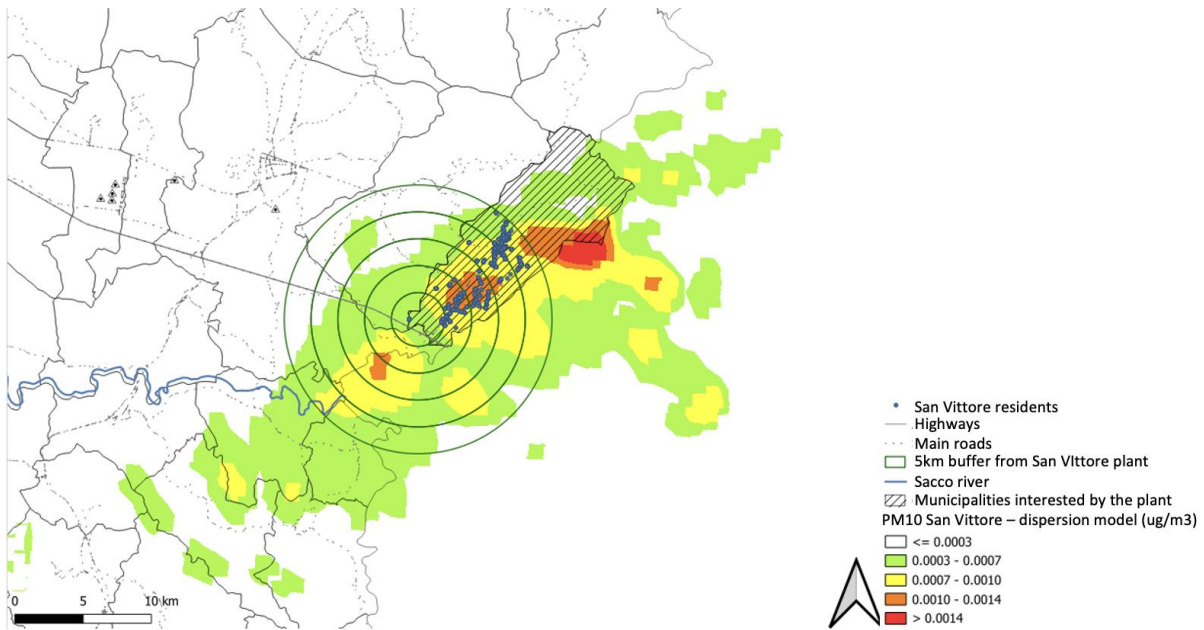


Figura 3 Zone di esposizione al PM10 derivanti dall'impianto di Colleferro

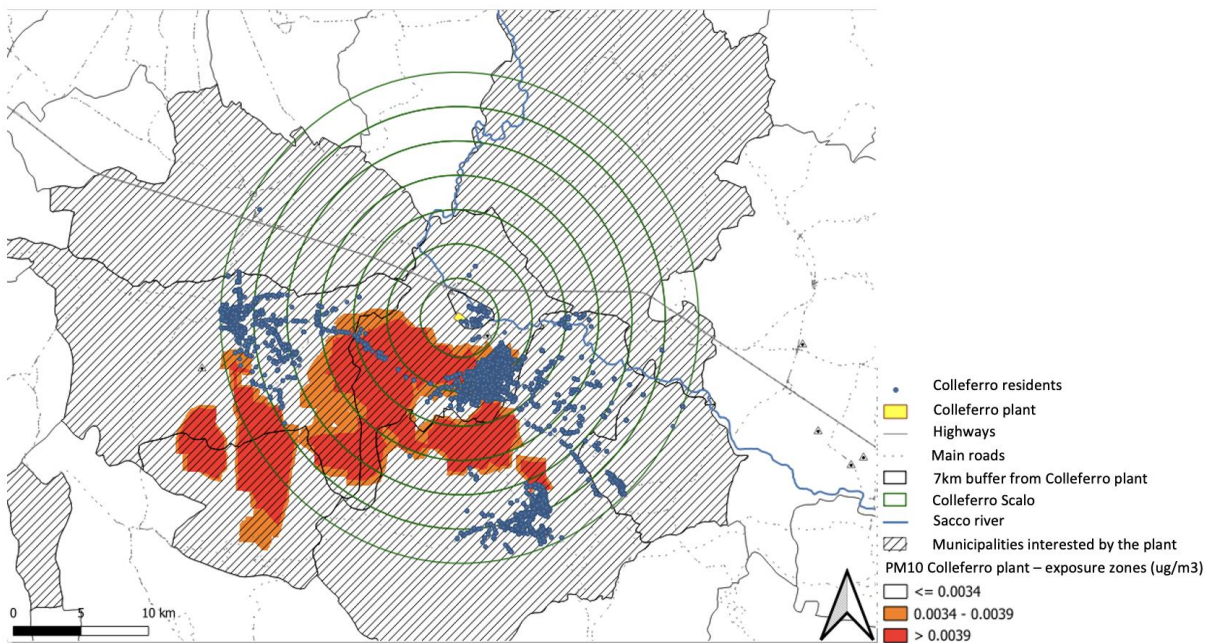
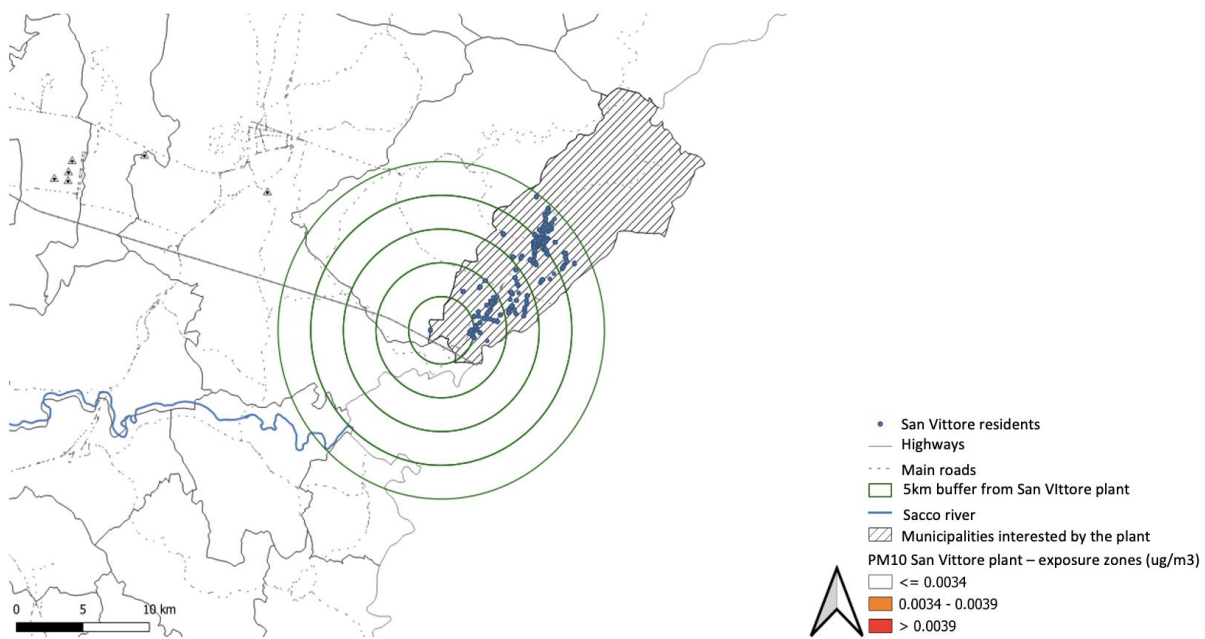


Figura 4 Zone di esposizione al PM10 derivanti dall'impianto di San Vittore del Lazio



Le figure 5 e 6 mostrano la concentrazione media annua di PM10 del 2018 nelle aree di interesse.
 Figura 5 Concentrazione media di PM10 (2018) nell'area di Colleferro

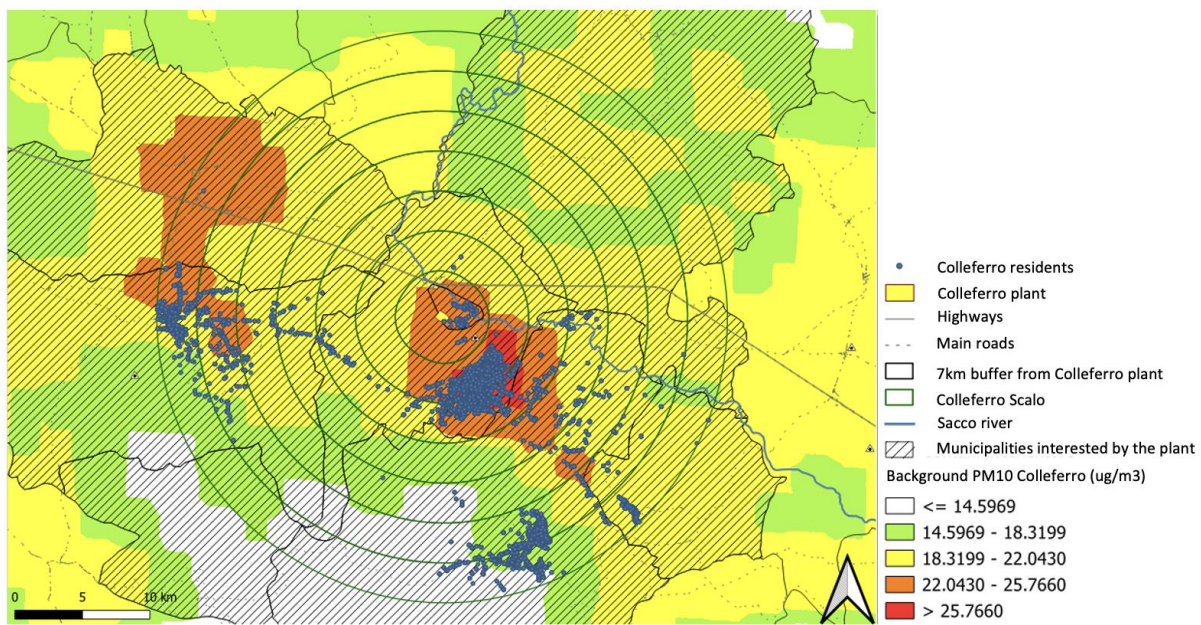
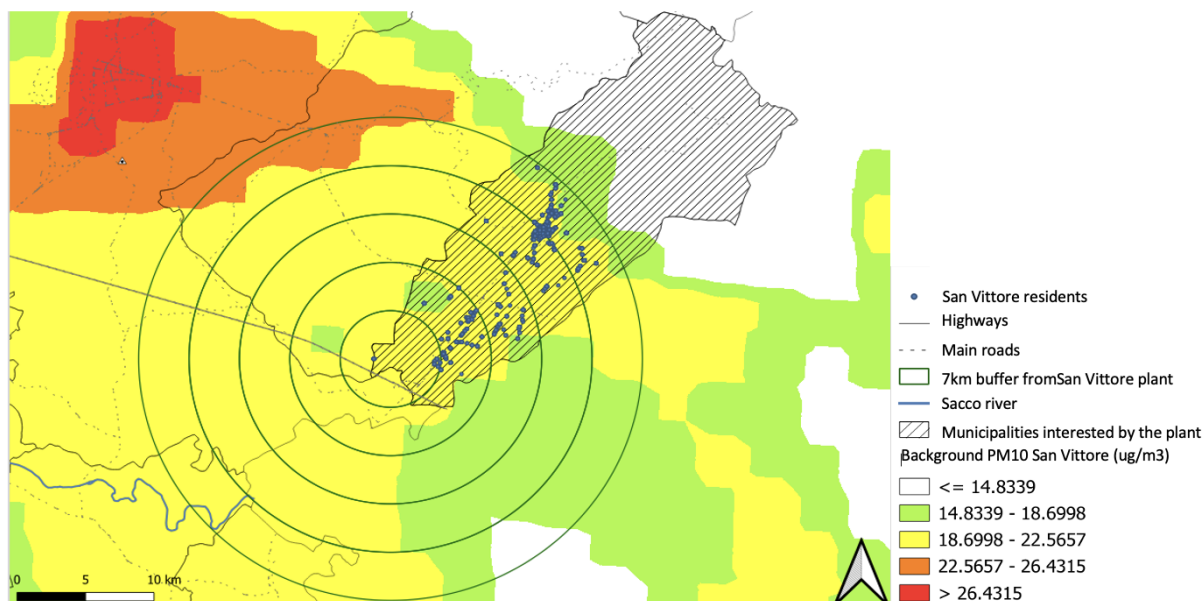


Figura 6 Concentrazione media di PM10 (2018) nell'area di San Vittore del Lazio



Nella Tabella 1 abbiamo riassunto alcune caratteristiche della popolazione in studio al basale. La coorte è composta da 47.192 residenti nell'area di studio (50,6% femmine). La maggior parte degli individui aveva un'età compresa tra 15 e 44 anni al baseline (44,6%). Il 27,1% dei residenti aveva una posizione socioeconomica medio-alta e solo il 6,2% si collocava nella classe più bassa di questo indicatore. La maggior parte degli individui risiedeva in prossimità dello stabilimento di Colferro (94%), con solo il 6% della coorte riferita allo stabilimento di San Vittore. Considerando il PM10 da emissioni primarie, la maggior parte degli individui (48,7%) apparteneva alla classe di esposizione più bassa, seguita dalla classe intermedia (36,9%). La maggior parte (55%) degli individui viveva a meno di 150 metri da strade molto trafficate. Il contrario è stato registrato considerando le autostrade, con il 99,3% della coorte che vive a più di 500 metri. Il 65,4% degli individui risiedeva a meno di 2 km da un impianto industriale. L'11% dei soggetti risiedeva in prossimità (fino a 1 km) del fiume Sacco. Solo il 3% degli individui risiedeva all'interno dei confini di Colferro Scalo. Durante il periodo di studio (1996-2022), il 15,6% degli individui è emigrato dalla coorte e il 17,7% è deceduto.

Tabella 1. Caratteristiche della popolazione in studio per periodo e classe di esposizione al PM10.

		1996-2022	1996-2002	2003-2022			
				PM10			
				Basso	Medio	Alto	Total
		N	N	N	N	N	N
	Totale	47192	40227	20857	12132	8390	41379
		%	%	%	%	%	%
Sesso	Maschio	49.4	49.1	49.7	48.0	48.7	49.0
	Femmina	50.6	50.9	50.3	52.0	51.3	51.0
Età	0-14	22	19.3	24.1	23.6	21.1	23.3
	15-44	44.6	43.8	45.7	45.1	44.1	45.2
	45-64	20.3	22.2	19.8	21.7	23.5	21.1
	65+	13.1	14.7	10.4	9.6	11.3	10.4
Posizione socioeconomica	Alto	9.6	10.1	4.0	5.8	28.6	9.5
	Medio-alto	27.6	28.3	27.1	22.4	35.9	27.5
	Medio	33	33	23.0	48.0	35.3	32.8
	Medio-basso	18.7	18.2	24.3	22.2	0.0	18.8
	Basso	6.2	5.8	12.2	0.0	0.0	6.1
impianto	Colleferro	94	94	87.3	100.0	100.0	93.6
	San Vittore	6	6	12.7	0.0	0.0	6.4
PM10 da emissioni primarie	<24,71 µg/m3	48.7	47.2	84.0	20.0	4.0	49.0
	24,71-26,49 µg/m3	36.9	38.1	10.6	18.2	14.0	36.5
	>26,49 µg/m3	13.6	13.8	3.5	61.8	82.0	13.5
Distanza dalle strade trafficate	>150 m sopra il livello del mare	45	45.1	43.9	57.5	29.0	44.9
	≤150 m sopra il livello del mare	55	54.9	56.1	42.5	71.0	55.1
Distanza dalle autostrade	>500 m sopra il livello del mare	99.3	99.3	98.6	100.0	100.0	99.3
	≤500 m sopra il livello del mare	0.7	0.7	1.4	0.0	0.0	0.7
Distanza da impianti industriali	>2 km	34.5	34.3	67.3	2.1	3.2	35.2
	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
Distanza dal fiume Sacco	>1 km	88.6	88.6	89.4	79.8	99.9	88.7
	≤1 km	11.4	11.4	10.6	20.2	0.1	11.3
Residenza all'interno dei confini di Colleferro Scalo	No	97	97	94.2	100.0	100.0	97.1
	Sì	3	3	5.8	0.0	0.0	2.9
Stato in vita	Vivo	69.4	69.6	74.7	75.1	73.5	74.6
	Emigrato	15.6	10.6	11.4	11.8	11.8	11.6
	Morto	17.7	19.8	13.8	13.1	14.7	13.8

La tabella 2 mostra il numero di anni-persona, stratificato per periodo di studio, ubicazione dell'impianto e classe di esposizione.

Tabella 2 Anni-persona, stratificati per periodo di studio, ubicazione dell'impianto e classe di esposizione.

	Bassa esposizione	Esposizione media	Alta esposizione	Totale
San Vittore	60396.04	0	0	60396.04
1996-2002	14876.46	0	0	14876.46
2003-2022	45519.58	0	0	45519.58
Colleferro	418910.48	291311.03	203166.31	913387.82
1996-2002	103120.08	75914.67	54412.63	233447.38
2003-2018	259146.00	177117.70	122797.56	559061.26
2019-2022	56644.40	38278.66	25956.12	120879.18
Totale	479306.52	291311.03	203166.31	973783.86

La Tabella 3 mostra il numero totale di ricoveri ospedalieri causa-specifici, stratificati per periodo di studio, ubicazione dell'impianto e classe di esposizione.

Tabella 3 Numero totale di ricoveri ospedalieri causa-specifici, stratificato per periodo di studio, ubicazione dell'impianto e classe di esposizione.

Causa del ricovero	1996-2002			2003-2018			2019-2022		
	Bassa esposizione	Esposizione media	Alta esposizione	Bassa esposizione	Esposizione media	Alta esposizione	Bassa bassa	Esposizione media	Alta esposiz
Cause naturali	10394	6016	4142	19505	11062	7507	4314	2567	1704
Colleferro	8741	6016	4142	15715	11062	7507	3693	2567	1704
San Vittore	1653	0	0	3790	0	0	621	0	0
Malattie circolatorie	2099	1117	718	3997	2153	1507	977	523	433
Colleferro	1689	1117	718	3077	2153	1507	821	523	433
San Vittore	410	0	0	920	0	0	156	0	0
Malattie cardiache	1326	675	445	2541	1440	1002	674	398	323
Colleferro	1014	675	445	1964	1440	1002	586	398	323
San Vittore	312	0	0	577	0	0	88	0	0
Cardiopatie ischemiche	319	208	160	772	499	347	262	172	129
Colleferro	260	208	160	599	499	347	231	172	129
San Vittore	59	0	0	173	0	0	31	0	0
Malattie cerebrovascolari	401	205	115	850	399	277	198	76	74
Colleferro	346	205	115	625	399	277	149	76	74
San Vittore	55	0	0	225	0	0	49	0	0
Malattie respiratorie	1092	591	384	1967	1137	719	567	342	216
Colleferro	941	591	384	1694	1137	719	489	342	216
San Vittore	151	0	0	273	0	0	78	0	0
Disassi respiratori infettivi	317	169	112	627	357	183	292	195	131
Colleferro	282	169	112	533	357	183	261	195	131
San Vittore	35	0	0	94	0	0	31	0	0
Malattie polmonari cronico-ostruttive	245	75	52	199	91	68	22	14	5
Colleferro	184	75	52	155	91	68	18	14	5
San Vittore	61	0	0	44	0	0	4	0	0
Asma	65	22	24	88	43	21	1	0	0

Colleferro	57	22	24	73	43	21	1	0	0
San Vittore	8	0	0	15	0	0	0	0	0

La Tabella 4 mostra i risultati della prima fase dell'analisi di questo studio. Viene illustrato l'effetto degli impianti di incenerimento dei rifiuti di Colferro e San Vittore del Lazio sul rischio di ospedalizzazione tra i residenti nelle aree a media e alta esposizione (post-attivazione vs pre-attivazione degli impianti). L'aumento di rischio più elevato si riscontra nell'area ad alta esposizione per le malattie respiratorie cronico-ostruttive (HR = 1,65; 1,41-2,61). Si segnala, inoltre, un significativo aumento del rischio di malattie respiratorie tra i residenti nell'area a media esposizione (HR = 1,15; 1-1,37).

Nella Figura 7 sono mostrati i risultati stratificati per sesso. Per i residenti di sesso maschile che vivono nell'area a media esposizione, il rischio di malattie respiratorie è aumentato (HR = 1,28; 1,04-1,57). Per le donne residenti nell'area di media esposizione, c'è un aumento del rischio di asma (HR = 3,12; 1,00-9,73).

La Tabella 5 mostra i risultati della seconda fase di questo studio. Nell'area di esposizione media, si osserva un rischio di 1,33 (IC 95%: 0,99 - 1,77) per malattie respiratorie infettive; i residenti nell'area ad alta esposizione mostrano mostrato rischi di 1.07 (IC 95%: 1.00 - 1.15) per cause naturali, 1.29 (IC 95%: 1.09 - 1.52) per le malattie circolatorie, 1.27 (IC 95%: 1.03 - 1.57) per le malattie cardiache e di 1.52 (IC 95%: 1.02 - 2.26) per le malattie cerebrovascolari. La figura 8 mostra i risultati stratificati per genere.

Tabella 4 *Effetto della vicinanza residenziale ai termovalorizzatori sul rischio di ospedalizzazione nelle aree a media e alta esposizione (periodo di post-attivazione rispetto al periodo di pre-attivazione), valutato dal 1996 al 2018. I risultati sono espressi come hazard ratio (HR) con intervalli di confidenza del 95% (IC95%). Le stime sono corrette per: età, ubicazione dell'impianto, classe di rischio, PM10 di fondo, stato socioeconomico, vicinanza residenziale alle industrie, autostrade, strade trafficate, fiume Sacco, Colleferro Scalo.*

Causa	Bassa esposizione	Esposizione media	Alta esposizione
	HR (IC 95%)	HR (IC 95%)	HR (IC 95%)
Cause naturali	1	1.01 (0.97 - 1.06)	1.03 (0.98 - 1.09)
Malattie circolatorie	1	1.00 (0.90 - 1.12)	1.12 (0.99 - 1.27)
Malattie cardiache	1	1.05 (0.91 - 1.22)	1.14 (0.97 - 1.34)
Cardiopatie ischemiche	1	0.98 (0.75 - 1.27)	0.92 (0.69 - 1.22)
Malattie cerebrovascolari	1	0.94 (0.75 - 1.18)	1.20 (0.91 - 1.58)
Malattie respiratorie	1	1.15 (1 - 1.33)	1.15 (0.99 - 1.35)
Disassi respiratori infettivi	1	1.23 (0.97 - 1.56)	0.94 (0.71 - 1.25)
Malattie polmonari cronico-ostruttive	1	1.40 (0.86 - 2.28)	1.65 (1.04 - 2.61)
Asma	1	1.78 (0.93 - 3.43)	0.85 (0.402- 1.78)

Figura 7 Effetto della vicinanza residenziale ai termovalorizzatori sul rischio di ospedalizzazione nelle aree a media e alta esposizione (periodo di post-attivazione relativamente al periodo di pre-attivazione), valutato dal 1996 al 2018. I risultati sono visualizzati come hazard ratio (HR) con intervalli di confidenza del 95% (IC95%). Le stime sono corrette per: età, ubicazione dell'impianto, classe di rischio, PM10 di fondo, stato socioeconomico, vicinanza residenziale alle industrie, autostrade, strade trafficate, fiume Sacco, Colleferro Scalo

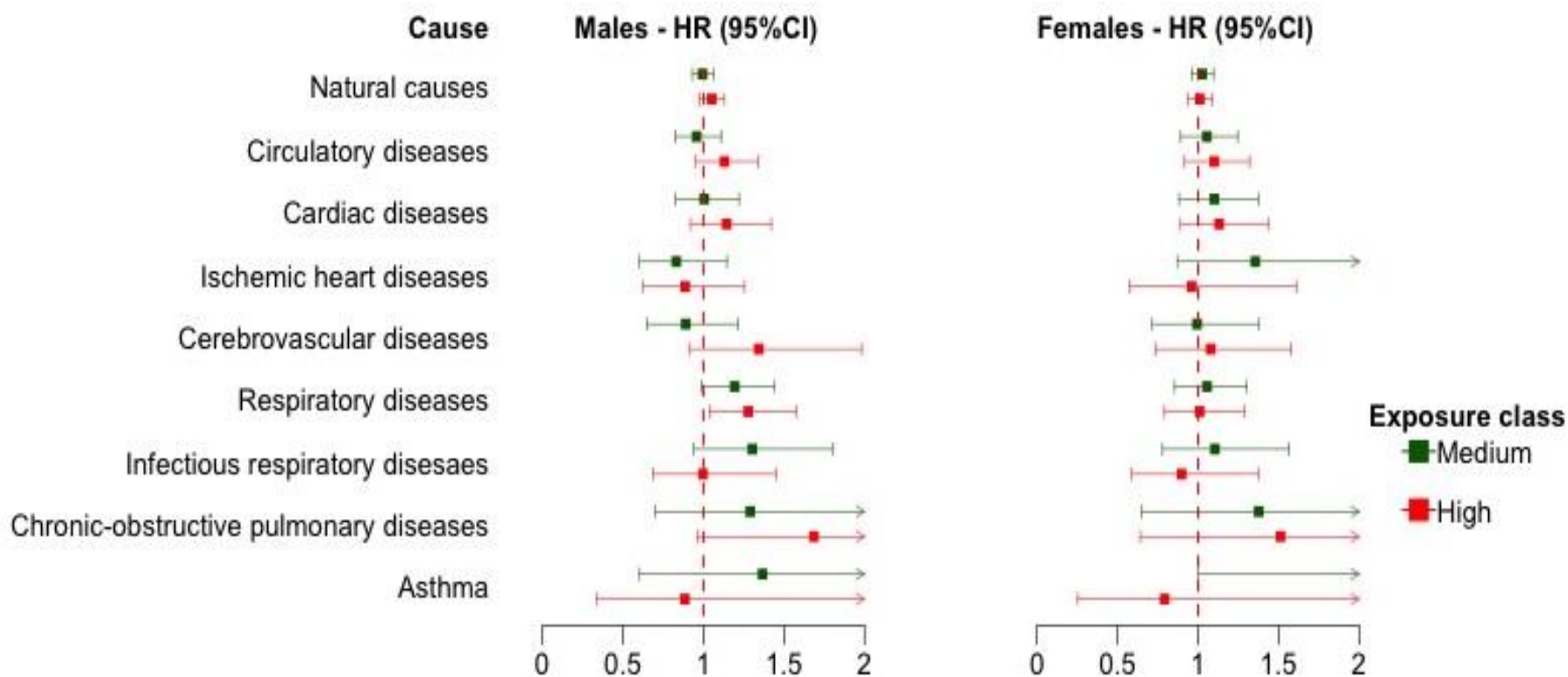
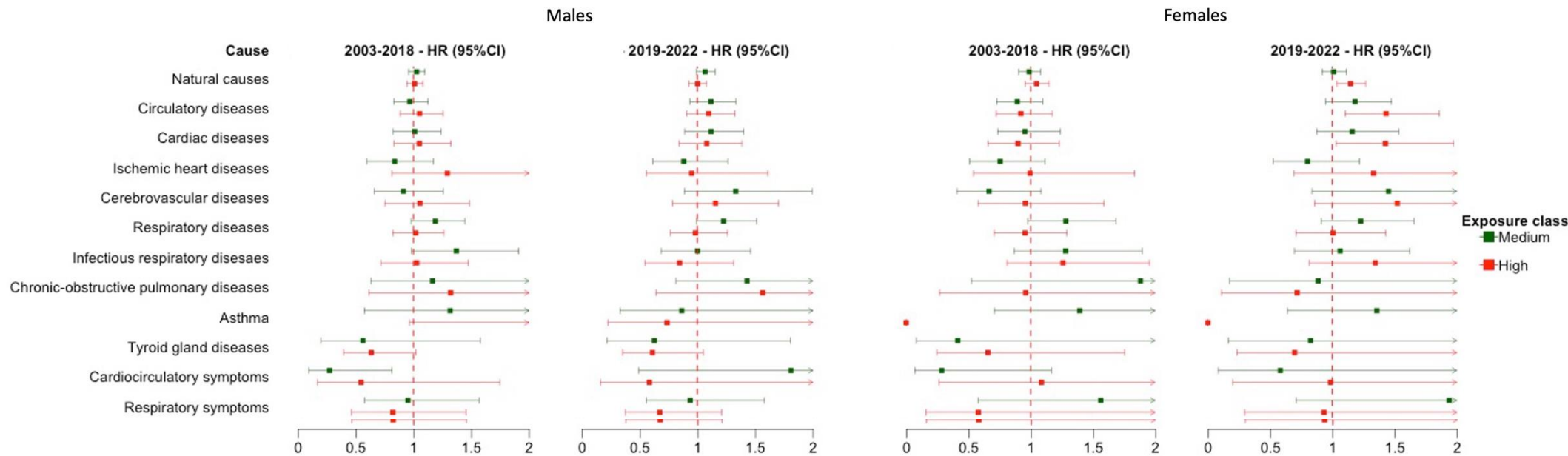


Tabella 5 Effetto della vicinanza residenziale ai termovalorizzatori sul rischio di ospedalizzazione nelle aree a media e alta esposizione, valutato dal 1996 al 2022. I risultati sono espressi come hazard ratio (HR) con intervalli di confidenza del 95% (IC95%). I rischi sono espressi per due archi temporali (2003-2018, durante l'attività dell'impianto, e 2019-2022, dopo la chiusura dell'impianto), considerando come gruppo di riferimento la categoria a bassa esposizione nel periodo 1996-2003. Le stime sono corrette per: età, ubicazione dell'impianto, classe di rischio, background PM₁₀, stato socioeconomico, vicinanza residenziale a industrie, autostrade, strade trafficate, fiume Sacco, Colferro Scalo e codici ICD-IX COVID-19 nelle diagnosi primarie o secondarie.

Causa	2003-2018			2019-2022	
	Bassa esposizione HR (IC 95%)	Esposizione media HR (IC 95%)	Alta esposizione HR (IC 95%)	Esposizione media HR (IC 95%)	Alta esposizione HR (IC 95%)
Cause naturali	1	1.02 (0.97 - 1.07)	1.03 (0.98 - 1.09)	1.01 (0.95 - 1.08)	1.07 (1 - 1.15)
Malattie circolatorie	1	1 (0.89 - 1.13)	1.11 (0.97 - 1.26)	0.9 (0.77 - 1.06)	1.29 (1.09 - 1.52)
Malattie cardiache	1	1.02 (0.88 - 1.19)	1.1 (0.93 - 1.3)	0.94 (0.76 - 1.14)	1.27 (1.03 - 1.57)
Cardiopatie ischemiche	1	0.96 (0.73 - 1.26)	0.9 (0.67 - 1.22)	0.82 (0.59 - 1.14)	0.94 (0.66 - 1.34)
Malattie cerebrovascolari	1	0.98 (0.78 - 1.24)	1.24 (0.94 - 1.64)	0.8 (0.56 - 1.14)	1.52 (1.02 - 2.26)
Malattie respiratorie	1	1.11 (0.96 - 1.29)	1.1 (0.94 - 1.29)	1.14 (0.93 - 1.4)	1.18 (0.94 - 1.48)
Disassi respiratori infettivi	1	1.22 (0.96 - 1.55)	0.93 (0.7 - 1.23)	1.33 (0.99 - 1.78)	1.26 (0.91 - 1.73)
BPCO	1	1.26 (0.77 - 2.06)	1.43 (0.9 - 2.29)	1.37 (0.55 - 3.39)	0.99 (0.31 - 3.17)
Asma	1	1.71 (0.88 - 3.31)	0.81 (0.38 - 1.72)	0 (0 - 0)	0 (0 - 0)

Figura 8 Effetto della vicinanza residenziale ai termovalorizzatori sul rischio di ospedalizzazione nelle aree a media e alta esposizione, valutato dal 1996 al 2022. I risultati sono espressi come hazard ratio (HR) con intervalli di confidenza del 95% (IC95%). I rischi sono visualizzati per due intervalli temporali (2003-2018, durante l'attività dell'impianto, e 2019-2022, dopo la chiusura dell'impianto), considerando come gruppo di riferimento la categoria a bassa esposizione nel periodo 1996-2003. Le stime sono corrette per: età, ubicazione dell'impianto, classe di rischio, background PM₁₀, stato socioeconomico, vicinanza residenziale a industrie, autostrade, strade trafficate, fiume Sacco, Colleferro Scalo e codici ICD-IX COVID-19 nelle diagnosi primarie o secondarie.



Discussione

Questo studio ha rivelato un aumento dei rischi di ospedalizzazione per malattie respiratorie, in particolare broncopneumopatie croniche ostruttive (BPCO), tra tutti i residenti a seguito dell'attivazione di impianti di termovalorizzazione, con un rischio maggiore nelle zone ad alta concentrazione stimata delle emissioni degli impianti. Inoltre, dal 2019 al 2022 c'è stato un notevole aumento dei ricoveri per disturbi dell'apparato circolatorio, in particolare per malattie cardiache e cerebrovascolari, tra i residenti nelle aree ad alta esposizione, con le donne che mostrano un rischio maggiore di disturbi circolatori.

Rispetto ai risultati del primo studio ERAS (Golini et al., 2014) che copre il periodo 2003-2008, questo aggiornamento al 2018 ha mostrato un aumento dei rischi di BPCO tra tutti i residenti. In particolare, c'è stato un aumento statisticamente significativo dei rischi di malattie respiratorie tra le femmine nelle aree a media esposizione, dove le analisi precedentemente condotte non avevano identificato rischi significativi.

Questi risultati sono in linea con quanto riportato in letteratura. Tait et al. (2019) hanno esaminato gli effetti sulla salute associati all'attività dell'inceneritore, comprese le malattie nel nostro studio. L'associazione dell'esposizione short e long term a particolato sulla salute cardiovascolare presentano risultati contrastanti; alcuni studi (Fukuda et al., 2003; Ranzi et al., 2011) non mostrano tendenze chiare, mentre Galise et al. (2012) hanno associato un aumento dello 0,06% del rischio di ricoveri ospedalieri correlati a malattie cardiache con emissioni di PM10 di 40 µg/m³. Al contrario, Chen et al. (2006) hanno rivelato un'associazione più forte (OR = 5,58; 1,63-19,62) tra i livelli di diossina e l'ipertensione tra i residenti vicino agli inceneritori. Per le malattie respiratorie, Galise et al. (2012) hanno notato un aumento dello 0,12% dei ricoveri ospedalieri legati alle emissioni di PM10, in contrasto con i risultati di Ranzi et al. (2011). Tuttavia, il confronto di questi risultati è difficile a causa dei diversi disegni di studio e valutazioni dell'esposizione. Gli studi esaminati da Tait et al. (2019) hanno in genere impiegato disegni trasversali o ecologici. Minichilli et al. (2016) hanno condotto uno studio di coorte vicino a un inceneritore (Arezzo, Toscana) mostrando un aumento del rischio di morbilità cardiovascolare (HR = 1,18; 1,06-1,32), aggiustando per le covariate. Al contrario, Romanelli et al. (2019) studiando l'inceneritore di Pisa non hanno riscontrato alcun rischio significativo di ospedalizzazione correlato agli NOx emessi in uno studio di coorte retrospettivo.

I nostri risultati sono in linea con i meccanismi biologici proposti che collegano l'esposizione al particolato alle malattie studiate. Grzywa-Celinska et al. (2020) hanno delineato questi meccanismi per quanto riguarda le malattie respiratorie, in cui il particolato danneggia le cellule epiteliali, innescando l'infiammazione e la formazione di specie reattive dell'ossigeno (ROS). Le risposte infiammatorie coinvolgono la secrezione di citochine, portando a condizioni come la bronchite cronica e una maggiore suscettibilità alle infezioni batteriche. Inoltre, il particolato esacerba l'asma negli individui suscettibili causando irritazione ed eccessiva produzione di muco. Per quanto riguarda le malattie cardiovascolari, Yu et al. (2022) hanno evidenziato i meccanismi patogenetici associati all'esposizione al particolato. Questa esposizione induce la formazione di ROS, innescando lo stress ossidativo e la disfunzione mitocondriale, portando infine a

un'ulteriore produzione di ROS. Questi meccanismi contribuiscono alla disfunzione endoteliale, alla fibrosi vascolare e cardiaca, con conseguenti esiti avversi a livello di popolazione.

Le differenze nei rischi tra individui di sesso maschile e femminile osservate in questo studio potrebbero essere dovute a una suscettibilità sesso-specifica agli inquinanti atmosferici. (Clougherty et al., 2011; Frampton et al., 2006; Zhang et al., 2022). Gli studi sugli animali hanno evidenziato alcuni meccanismi biologici che potrebbero variare tra i sessi dopo l'esposizione al particolato e che potrebbero contribuire alle differenze nel rischio cardiovascolare (Liao et al., 2023).

I residenti possono continuare a sperimentare effetti a lungo termine anche dopo la chiusura di un impianto a causa dell'esposizione cronica agli inquinanti atmosferici. Tale esposizione prolungata potrebbe portare a problemi di salute persistenti legati a malattie respiratorie e cardiovascolari, come evidenziato dagli studi sopra citati. Queste conseguenze durature potrebbero persistere nella popolazione nonostante la cessazione delle emissioni dell'impianto. Questo studio ha diversi punti di forza. In primo luogo, le dimensioni considerevoli della coorte e l'ampio periodo di follow-up di 25 anni, insieme a precisi dati amministrativi sulla popolazione, supportano solide inferenze. In secondo luogo, la geocodifica degli indirizzi residenziali ha consentito valutazioni individuali dell'esposizione, classificando ogni persona in specifici gruppi di esposizione. Inoltre, questo processo ha facilitato l'aggiustamento dei modelli in base a importanti covariate, come la vicinanza residenziale a potenziali fonti di inquinamento come autostrade e impianti industriali. L'uso di modelli di dispersione per l'inquinamento da particolato di fondo ha migliorato significativamente l'accuratezza della stima dell'impatto del particolato emesso dalle strutture studiate. Infine, il disegno dello studio ha incorporato gli stessi individui in diversi periodi di tempo, adattando indirettamente i modelli per i singoli fattori di rischio.

A parte questi punti di forza, questo studio non è esente da limitazioni. Ci siamo concentrati sulle esposizioni croniche, ma disporre di dati che coprono un numero comparabile di anni prima e dopo l'apertura e la chiusura dei termovalorizzatori sarebbe stato ottimale per discernere meglio il loro impatto sulla salute della popolazione vicina. La valutazione dell'esposizione al particolato emesso dai due impianti è stata effettuata all'inizio del periodo di follow-up del 1996 e potrebbe essere cambiata in modo sostanziale nel tempo. Inoltre, potrebbero esistere potenziali periodi di chiusura dello stabilimento di Colleferro senza registrazioni documentate. Il nostro affidarci esclusivamente a fonti amministrative ufficiali per dedurre l'attività dell'impianto potrebbe introdurre delle limitazioni. L'utilizzo dei codici ICD-IX nelle diagnosi di ospedalizzazione potrebbe aver contribuito a un certo grado di errata classificazione degli esiti, in particolare dopo il 2019 per quanto riguarda le malattie respiratorie dovute all'influenza della pandemia di COVID-19. Le informazioni relative ai fattori dello stile di vita individuale, come la dieta o le abitudini di fumo, potrebbero essere servite come preziose covariate per regolare i modelli.

Conclusioni

In questo studio abbiamo fornito evidenze circa l'aumento del rischio di malattie respiratorie a seguito dell'attivazione di due termovalorizzatori nella regione Lazio, Italia nel periodo dal 1996

al 2022. La chiusura di uno dei due impianti potrebbe aver avuto un effetto benefico sulla riduzione del rischio per la popolazione esposta di malattie respiratorie, anche se non sono chiare le evidenze soprattutto per quanto riguarda le malattie cardiocircolatorie che potrebbero essere emerse come effetto dell'esposizione cronica. I risultati sono coerenti con precedenti analisi simili e con i meccanismi biologici che legano il particolato all'insorgenza delle malattie studiate.

Referenze

- ARPA Lazio. Sistema di modellazione della qualità dell'aria. Disponibile all'indirizzo: <http://www.arpalazio.net/main/aria/doc/SM/previsioni.php>
- Cesaroni G, Agabiti N, Rosati R, Forastiere F, Perucci CA. Indice della situazione socioeconomica basato sul censimento del 2001, Roma. *Epidemiol Prev* 2006; 30(6):352-7
- Clougherty, J. E. (2011). Un ruolo crescente per l'analisi di genere nell'epidemiologia dell'inquinamento atmosferico. *Ciência & Saúde Coletiva*, 16(4), 2221-2238. <https://doi.org/10.1590/S1413-81232011000400021>
- D'Ilio S, Forastiere F, Draicchio A, et al. Biomonitoraggio umano di Cd, Hg e Pb nel sangue degli abitanti della Valle del Sacco (Italia). *Ann Ist Super Sanita*. 2013; 49(1):24-33. DOI:10.4415/ANN_13_01_06
- Domingo JL, Marquès M, Mari M, Schuhmacher M. Effetti negativi sulla salute per le popolazioni che vivono vicino agli inceneritori di rifiuti, con particolare attenzione agli inceneritori di rifiuti pericolosi. Una rassegna della letteratura scientifica. *Environ Res*. 2020;187:109631. doi:10.1016/j.envres.2020.109631
- Dominski FH, Lorenzetti Branco JH, Buonanno G, Stabile L, Gameiro da Silva M, Andrade A. Effetti dell'inquinamento atmosferico sulla salute: una revisione della mappatura di revisioni sistematiche e meta-analisi. *Ambiente Res*. 2021;201:111487. DOI:10.1016/j.envres.2021.111487
- Fantini F, Porta D, Fano V, et al. Indagini epidemiologiche sullo stato di salute della popolazione residente nell'area della Valle del Sacco [Epidemiologic studies on the health status of the population living in the Sacco River Valley]. *Epidemiol Prev*. 2012; 36(5 Suppl 4):44-52.
- Frampton MW, Stewart JC, Oberdörster G, et al. L'inalazione di particelle ultrafini altera l'espressione leucocitaria del sangue delle molecole di adesione negli esseri umani. *Prospettiva ambientale per la salute*. 2006; 114(1):51-58. DOI:10.1289/ehp.7962
- Fukuda Y, Nakamura K, Takano T. Diossine rilasciate dagli impianti di incenerimento e mortalità per le principali malattie: un'analisi dei dati statistici per comuni. *J Med Dent Sci*. 2003; 50(4):249-255.
- Galise I, Serinelli M, Bisceglia L, Assennato G. Valutazione ex-ante dell'impatto sulla salute attribuibile all'inquinamento da inceneritore a Modugno (Bari) [Health impact assessment of pollution from incinerator in Modugno (Bari)]. *Epidemiol Prev*. 2012; 36(1):27-33.
- Gohlke O, Martin J. Driver per l'innovazione nella tecnologia di termovalorizzazione. *Gestione dei rifiuti Res*. 2007; 25(3):214-219. DOI:10.1177/0734242X07079146

- Golini MN, Ancona C, Badaloni C, et al. 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]. *Epidemiol Prev.* 2014; 38(5):323-334.
- Grzywa-Celińska A, Krusiński A, Milanowski J. "Lo smoging uccide" - Effetti dell'inquinamento atmosferico sul sistema respiratorio umano. *Ann Agric Environ Med.* 2020; 27(1):1-5. DOI:10.26444/aaem/110477
- ISPRA, Rapporto sui Rifiuti da Attività Economiche – 2022
- Liao M, Braunstein Z, Rao X. Differenze di sesso nelle malattie cardiovascolari legate all'inquinamento atmosferico da particolato: una revisione delle prove umane e animali. *Sci Ambiente Totale.* 2023;884:163803. DOI:10.1016/j.scitotenv.2023.163803
- Lombardi L, Carnevale E, Corti A. Una rassegna delle tecnologie e delle prestazioni dei sistemi di trattamento termico per il recupero energetico dai rifiuti. *Gestione dei rifiuti* 2015;37:26-44. doi:10.1016/j.wasman.2014.11.010
- Minichilli F, Santoro M, Linzalone N, Maurello MT, Sallese D, Bianchi F. Studio epidemiologico di coorte residenziale su mortalità e ricoveri ospedalieri nell'area intorno all'inceneritore di San Zeno, Arezzo [Epidemiological population-based cohort study on mortality and hospitalization in the area near the waste incinerator plant of San Zeno, Arezzo (Tuscany Region, Central Italy)]. *Epidemiol Prev.* 2016; 40(1):33-43. doi:10.19191/EP16.1.P033.012
- Comitato del Consiglio Nazionale delle Ricerche (USA) sugli effetti sulla salute dell'incenerimento dei rifiuti. *Incenerimento dei rifiuti e salute pubblica.* Washington (DC): National Academies Press (Stati Uniti); 2000.
- Porta D, Fantini F, De Felip E, et al. Uno studio di biomonitoraggio sui livelli ematici di beta-esaclorocicloesano tra le persone che vivono vicino a un'area industriale. *Ambiente Salute.* 2013;12:57. Pubblicato il 16 luglio 2013. DOI:10.1186/1476-069X-12-57
- Ranzi A, Fano V, Erspamer L, Lauriola P, Perucci CA, Forastiere F. Mortalità e morbilità tra le persone che vivono vicino agli inceneritori: uno studio di coorte basato su modelli di dispersione per la valutazione dell'esposizione. *Salute dell'ambiente.* 2011;10:22. Pubblicato il 24 marzo 2011. DOI:10.1186/1476-069X-10-22
- Romanelli AM, Bianchi F, Curzio O, Minichilli F. Mortalità e morbilità in una popolazione esposta all'emissione di un inceneritore di rifiuti urbani. Uno studio di coorte retrospettivo. *Int J Environ Res Salute pubblica.* 2019; 16(16):2863. Pubblicato il 10 ago 2019. DOI:10.3390/ijerph16162863
- Stafoggia M, Bellander T, Bucci S, et al. Stima delle concentrazioni giornaliere di PM10 e PM2.5 in Italia, 2013-2015, utilizzando un modello di foresta casuale spazio-temporale di uso del suolo. *Ambiente Int.* 2019;124:170-179. DOI:10.1016/j.envint.2019.01.016
- Tait PW, Brew J, Che A, et al. Gli impatti sulla salute dell'incenerimento dei rifiuti: una revisione sistematica. *Aust N Z J Salute pubblica.* 2020; 44(1):40-48. DOI:10.1111/1753-6405.12939

- Tomczak S, Baumann K, Lehnert G. Esposizione professionale all'esaclorocicloesano. IV. Alterazioni degli ormoni sessuali nei lavoratori esposti a HCH. *Int Arch occupa la salute dell'ambiente*. 1981; 48(3):283-287. DOI:10.1007/BF00405615
- Organizzazione Mondiale della Sanità, The Global Health Observatory <https://www.who.int/data/gho/data/indicators/indicator-details/GHO/ambient-air-pollution-attributable-deaths> (consultato il 09/12/2023).
- Yu Y, Sun Q, Li T, et al. Percorso di esito avverso del particolato fine che porta ad un aumento della morbilità e della mortalità cardiovascolare: una prospettiva integrata dalla tossicologia e dall'epidemiologia. *J Hazard Mater*. 2022;430:128368. DOI:10.1016/j.jhazmat.2022.128368
- Zhang J, Wang X, Yan M, et al. Differenze di sesso nel rischio cardiovascolare associato all'esposizione a lungo termine al PM2.5: una revisione sistematica e una meta-analisi degli studi di coorte. *Fronte Salute Pubblica*. 2022;10:802167. Pubblicato il 2 febbraio 2022. DOI:10.3389/fpubh.2022.802167

