

## **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.<sup>1-3</sup> 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.<sup>4</sup> 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.<sup>5</sup> 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.<sup>6</sup> In Italia, uno dei primi studi sull'argomento, ha preso in esame la zona in cui è situata la discarica di Malagrotta a Roma.<sup>7</sup> 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.<sup>8</sup> 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.<sup>9</sup> 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.<sup>3</sup>

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 (H<sub>2</sub>S) e incremento di mortalità per tumore del polmone e incremento della morbosità per patologie respiratorie.<sup>10</sup>

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 H<sub>2</sub>S 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 m<sup>3</sup>.

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 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup>.

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 m<sup>3</sup>, presentava al 31/12/2008 una volumetria residua di 105.000 m<sup>3</sup> circa; il terzo invaso autorizzato nell'anno 2008, con un volume utile di circa 850.000 m<sup>3</sup> (pari a 750.000 tonnellate circa). Il volume residuo al 2019 è di 12.000 m<sup>3</sup>.

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 Colleferro (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 Colleferro. La volumetria residua al 2017 era di 500.000 m<sup>3</sup>.

#### *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) ( $H_2S$ ), generate utilizzando il Landfill Gas Emissions (LandGEM) Model (sviluppato dalla US Environmental Protection Agency.<sup>11</sup>) 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  $H_2S$ , 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 ( $H_2S$ ) 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 H<sub>2</sub>S) 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).<sup>12</sup> 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 PM<sub>10</sub> come misura della qualità dell'aria nella zona di residenza. Le concentrazioni di PM<sub>10</sub> 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 PM<sub>10</sub> 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 H<sub>2</sub>S 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 H<sub>2</sub>S 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 H<sub>2</sub>S 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 H<sub>2</sub>S 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),  $PM_{10}$  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 discarica, 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/](http://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  $PM_{10}$  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'  $H_2S$ , 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  $H_2S$  (<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  $PM_{10}$  (<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  $H_2S$  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). Le persone che presentano livelli elevati di concentrazione di H<sub>2</sub>S risiedono soprattutto in prossimità delle discariche di Albano Laziale, Latina, Guidonia, Roma e Colferro. Tra le persone con bassi livelli di concentrazione di H<sub>2</sub>S (<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 H<sub>2</sub>S (diffusione areale) più elevati.

Il 25% della popolazione esposta a concentrazioni di H<sub>2</sub>S superiori al 75° percentile risiede in zone caratterizzate anche da alti livelli di PM<sub>10</sub> atmosferico, mentre il 73% della coorte, che risiede in zone con le concentrazioni di H<sub>2</sub>S inferiori al 25° percentile, è caratterizzata anche da più bassi livelli di PM<sub>10</sub>. Il 40% della coorte maggiormente esposta ad H<sub>2</sub>S risiede entro 150 m dalle strade principali e l'8% vicino ad autostrade. Infine il 15% degli esposti a livelli di H<sub>2</sub>S 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 H<sub>2</sub>S e la mortalità della coorte. Sono riportati i risultati ottenuti considerando la concentrazione di H<sub>2</sub>S 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 H<sub>2</sub>S > 75° mostrano eccessi di mortalità per tumore del polmone rispetto ai residenti in aree caratterizzate da una concentrazione di H<sub>2</sub>S 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 H<sub>2</sub>S 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 H<sub>2</sub>S. 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 H<sub>2</sub>S (>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 H<sub>2</sub>S 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 recente<sup>13-15</sup>, 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 H<sub>2</sub>S) 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 H<sub>2</sub>S 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'H<sub>2</sub>S 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 buuilt 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/ttn/catc1/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, Zurbrügg 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 PM<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup>) di qualità dell'aria

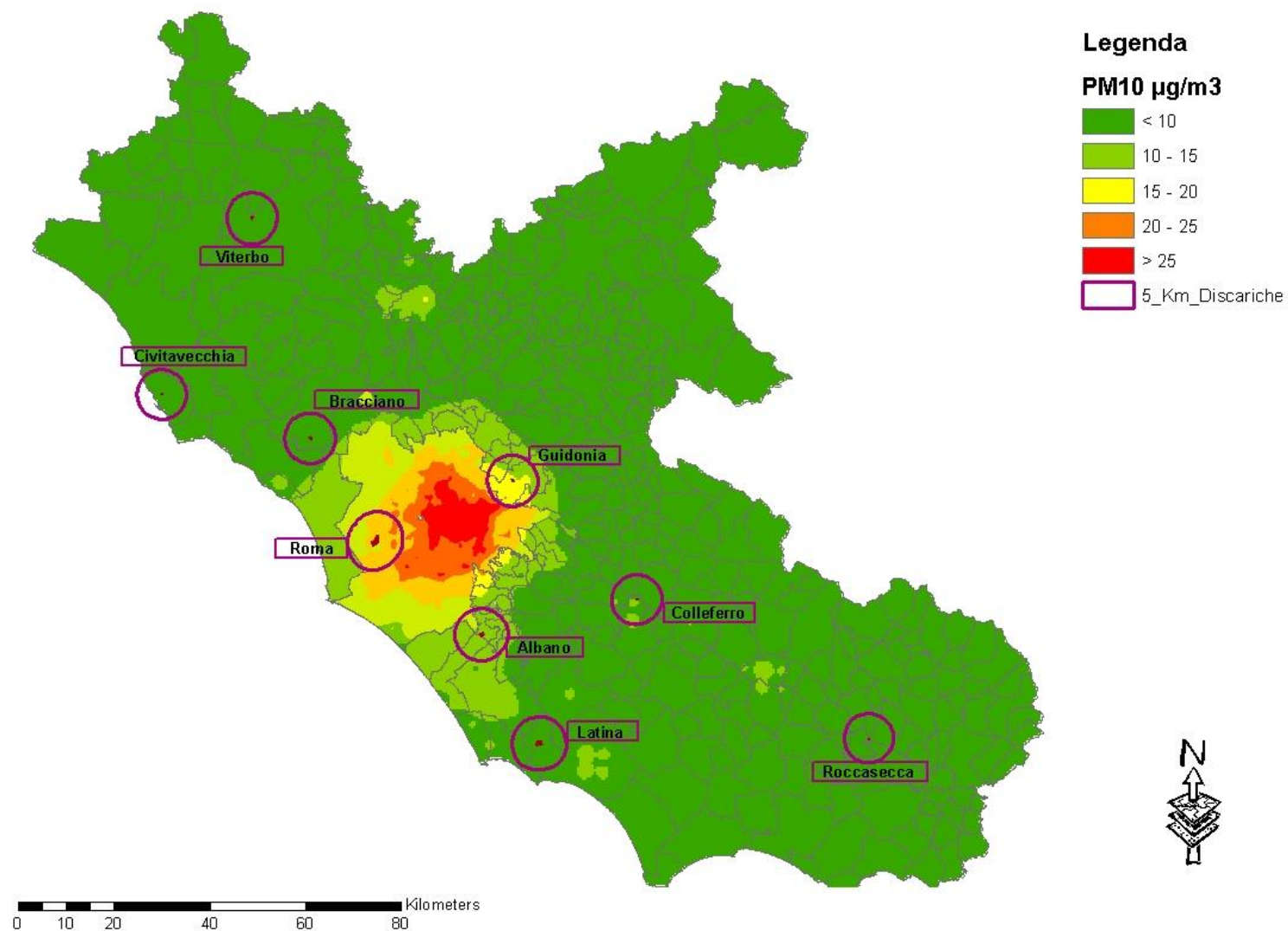


Figura 2. Discarica di Albano Laziale. Area in studio, coorte dei residenti, fasce di distanza dalla discarica e livelli di concentrazione di H<sub>2</sub>S (µg/m<sup>3</sup>)

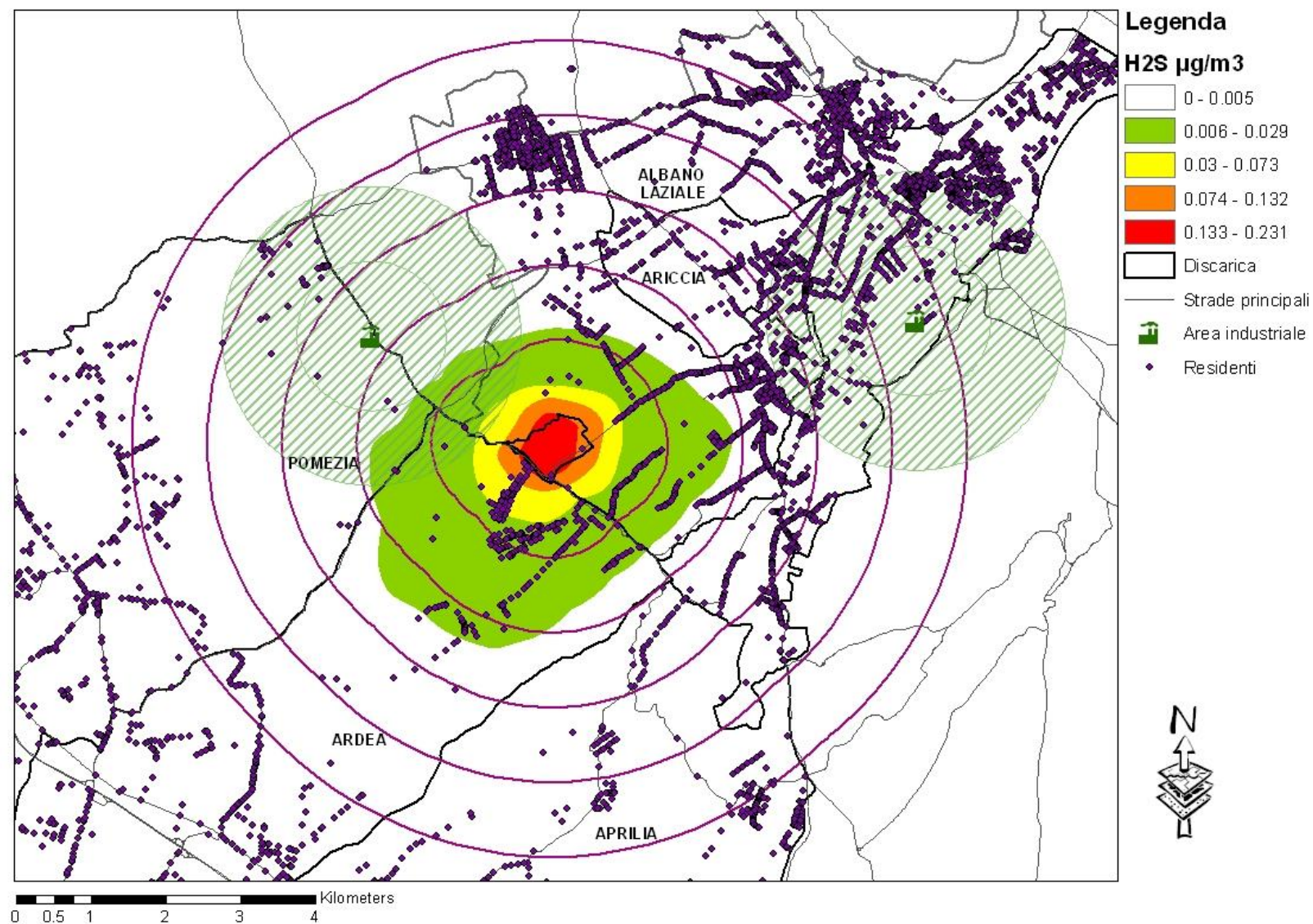


Figura 3. Discarica di Bracciano. Area in studio, coorte dei residenti, fasce di distanza dalla discarica e livelli di concentrazione di H<sub>2</sub>S (µg/m<sup>3</sup>)

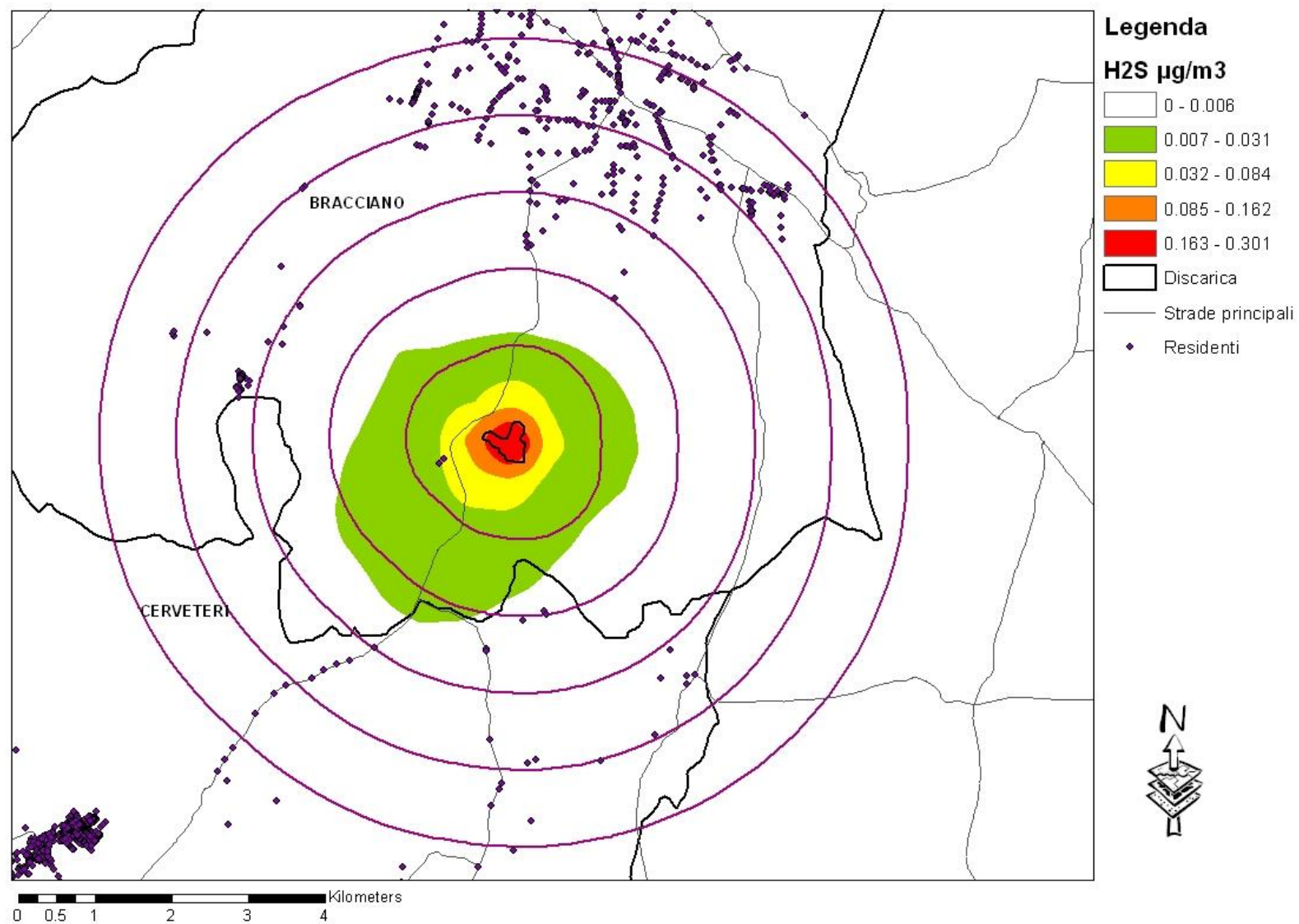


Figura 4. Discarica di Colleferro. Area in studio, coorte dei residenti, fasce di distanza dalla discarica e livelli di concentrazione di  $H_2S$  ( $\mu g/m^3$ )

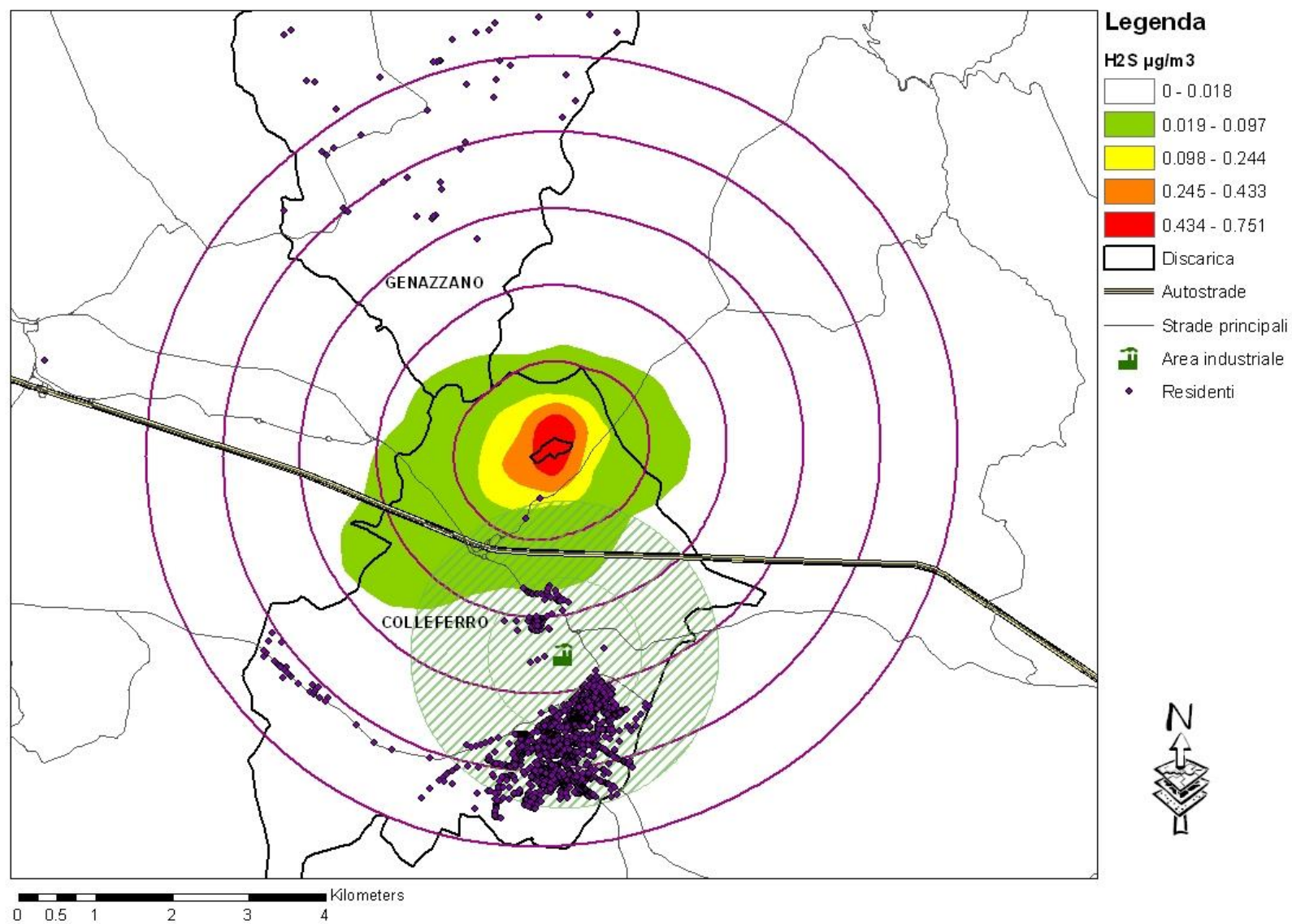


Figura 5. Discarica di Civitavecchia. Area in studio, coorte dei residenti, fasce di distanza dalla discarica e livelli di concentrazione di H<sub>2</sub>S (µg/m<sup>3</sup>)

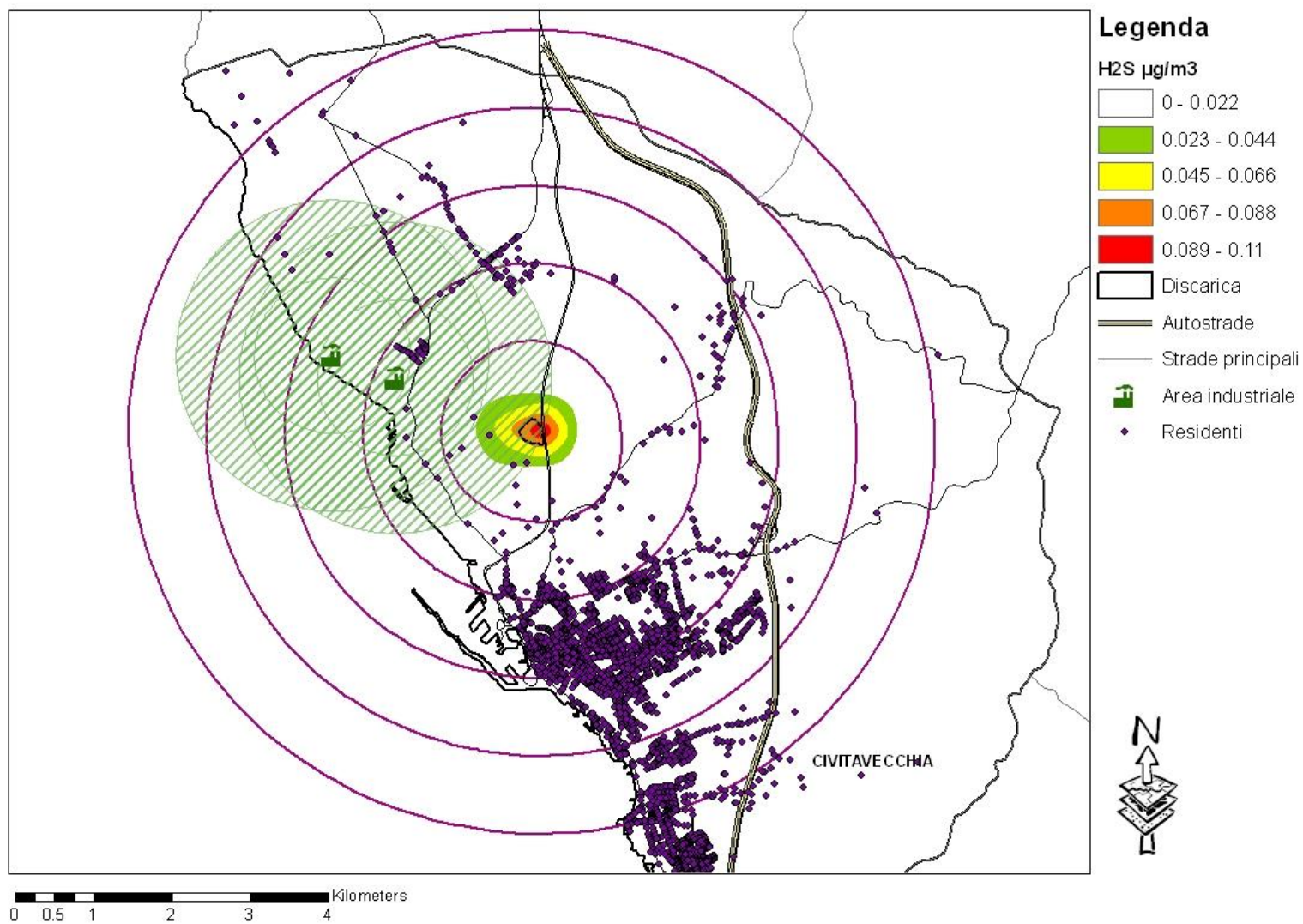


Figura 6. Discarica di Guidonia Montecelio. Area in studio, coorte dei residenti, fasce di distanza dalla discarica e livelli di concentrazione di  $H_2S$  ( $\mu g/m^3$ )

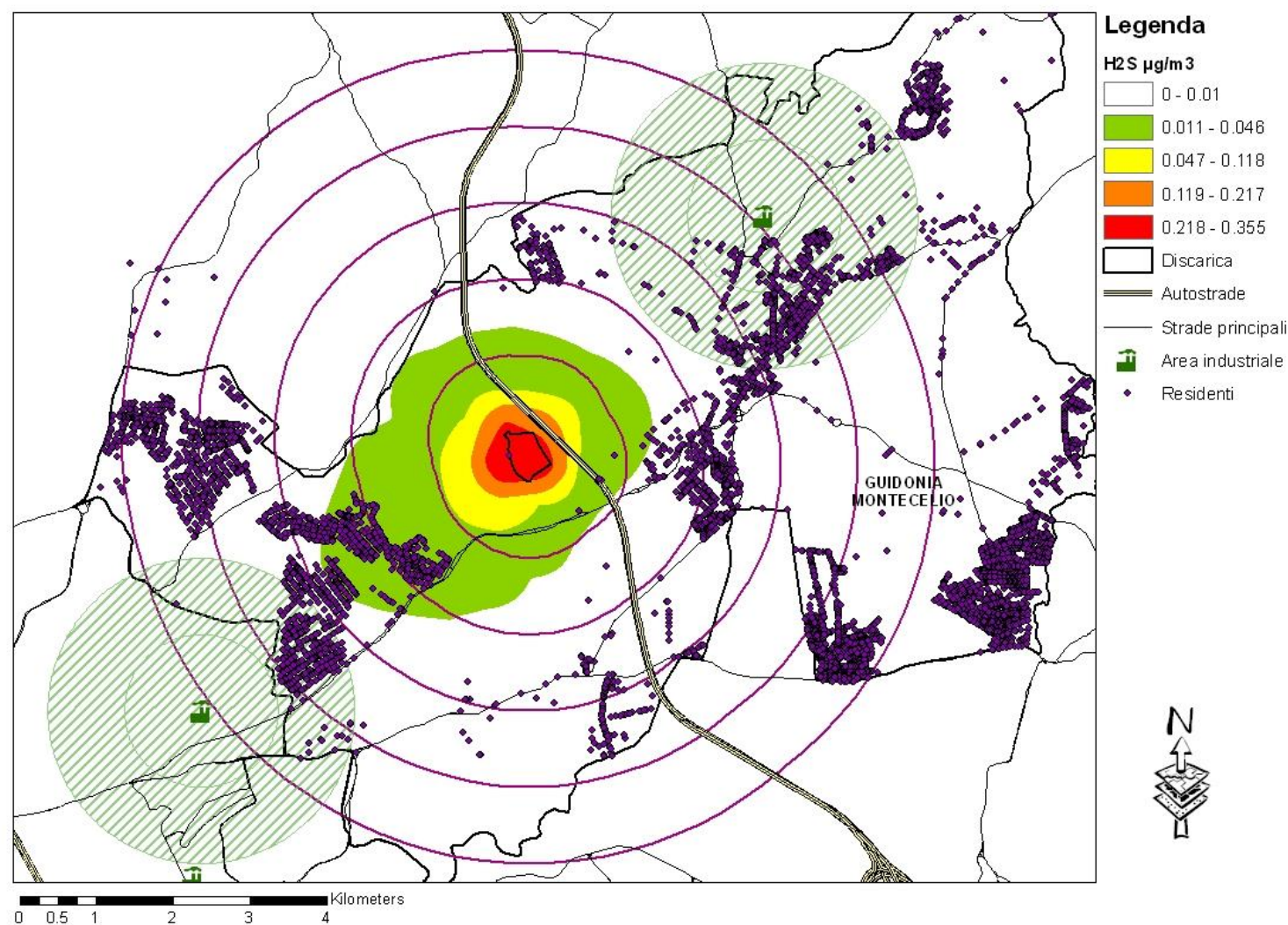


Figura 7. Discarica di Latina. Area in studio, coorte dei residenti, fasce di distanza dalla discarica e livelli di concentrazione di H<sub>2</sub>S (µg/m<sup>3</sup>)

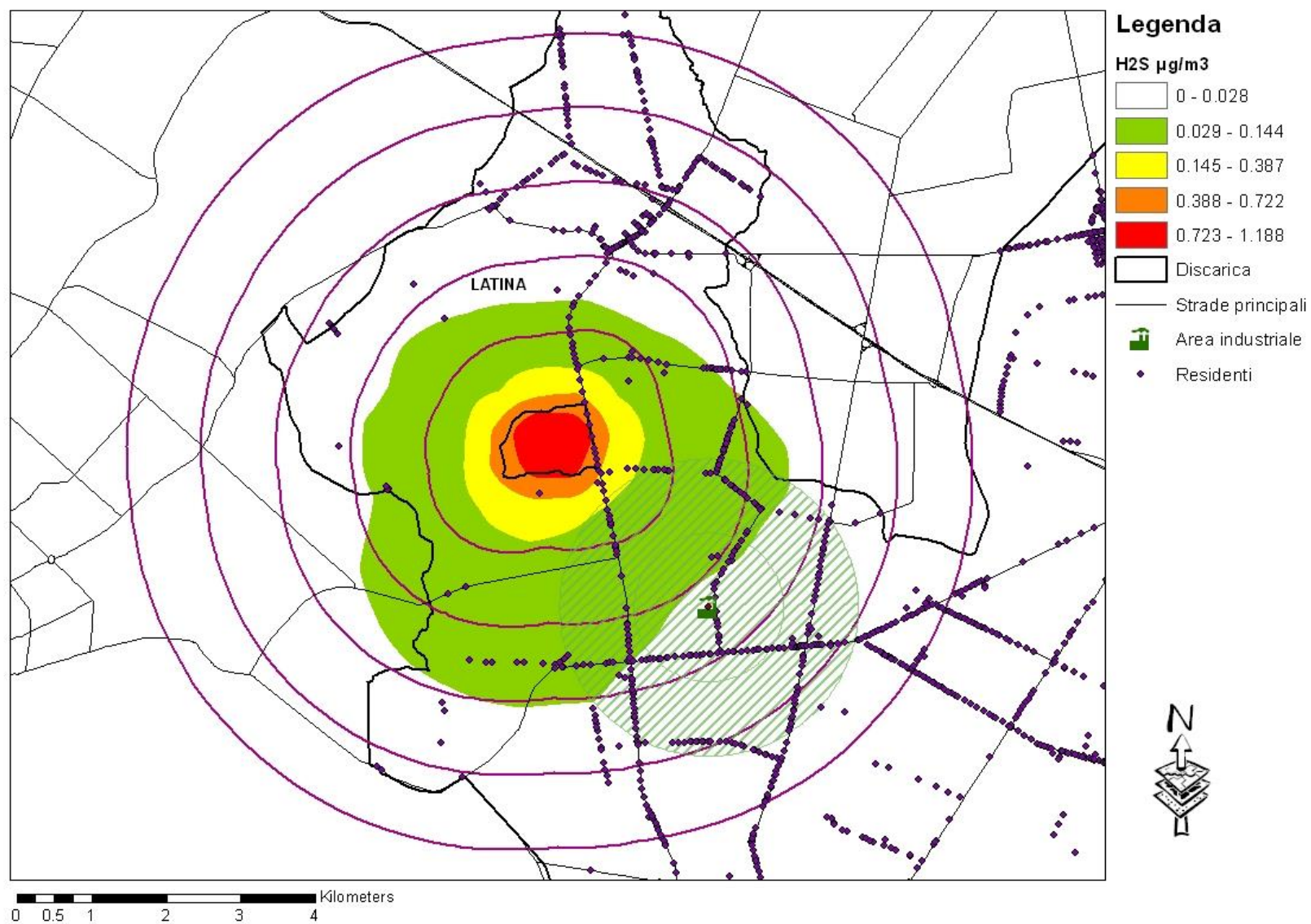


Figura 8. Discarica di Roccasecca. Area in studio, coorte dei residenti, fasce di distanza dalla discarica e livelli di concentrazione di H<sub>2</sub>S (µg/m<sup>3</sup>)

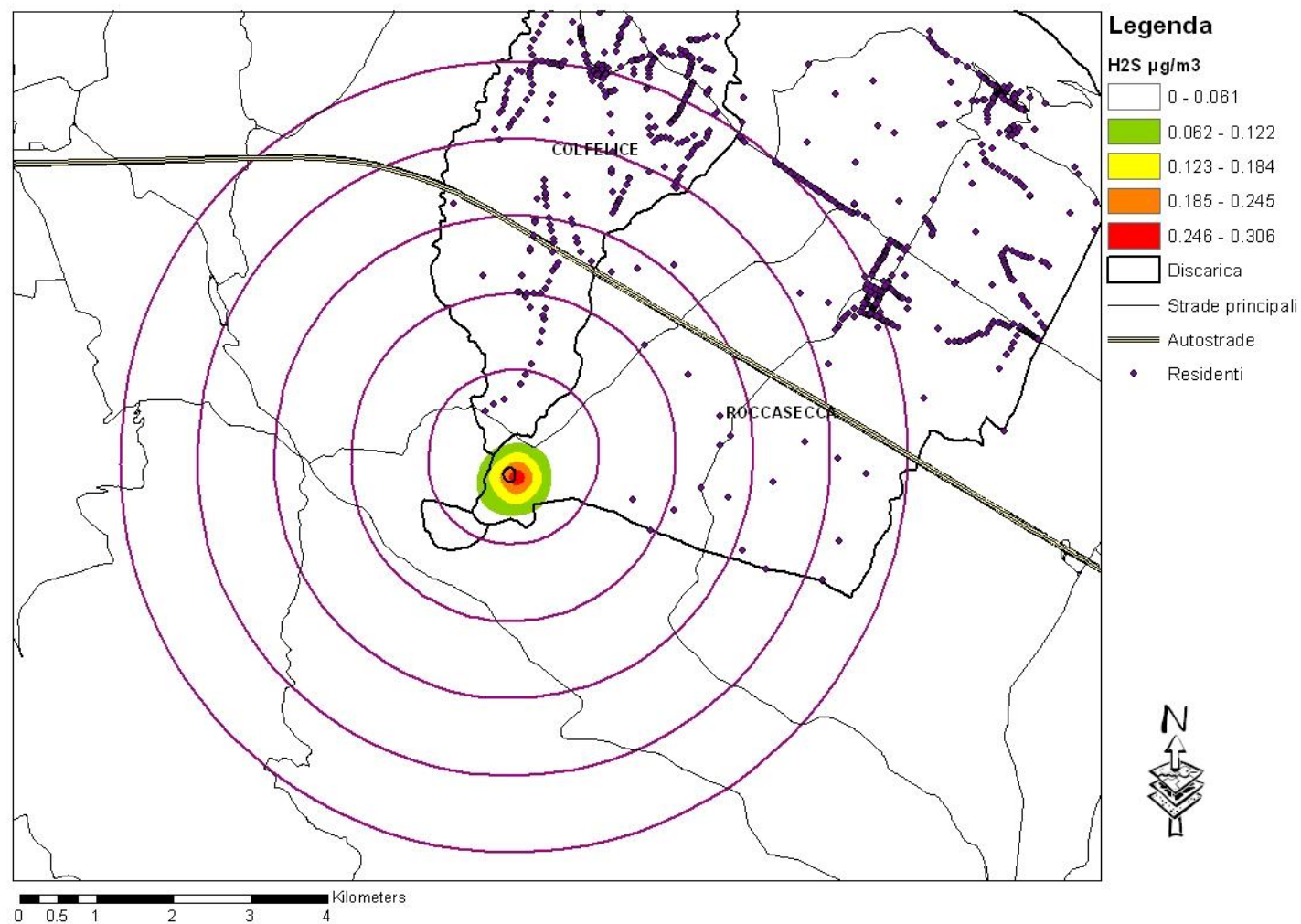


Figura 9. Discarica di Roma Malagrotta. Area in studio, coorte dei residenti, fasce di distanza dalla discarica e livelli di concentrazione di H<sub>2</sub>S (µg/m<sup>3</sup>)

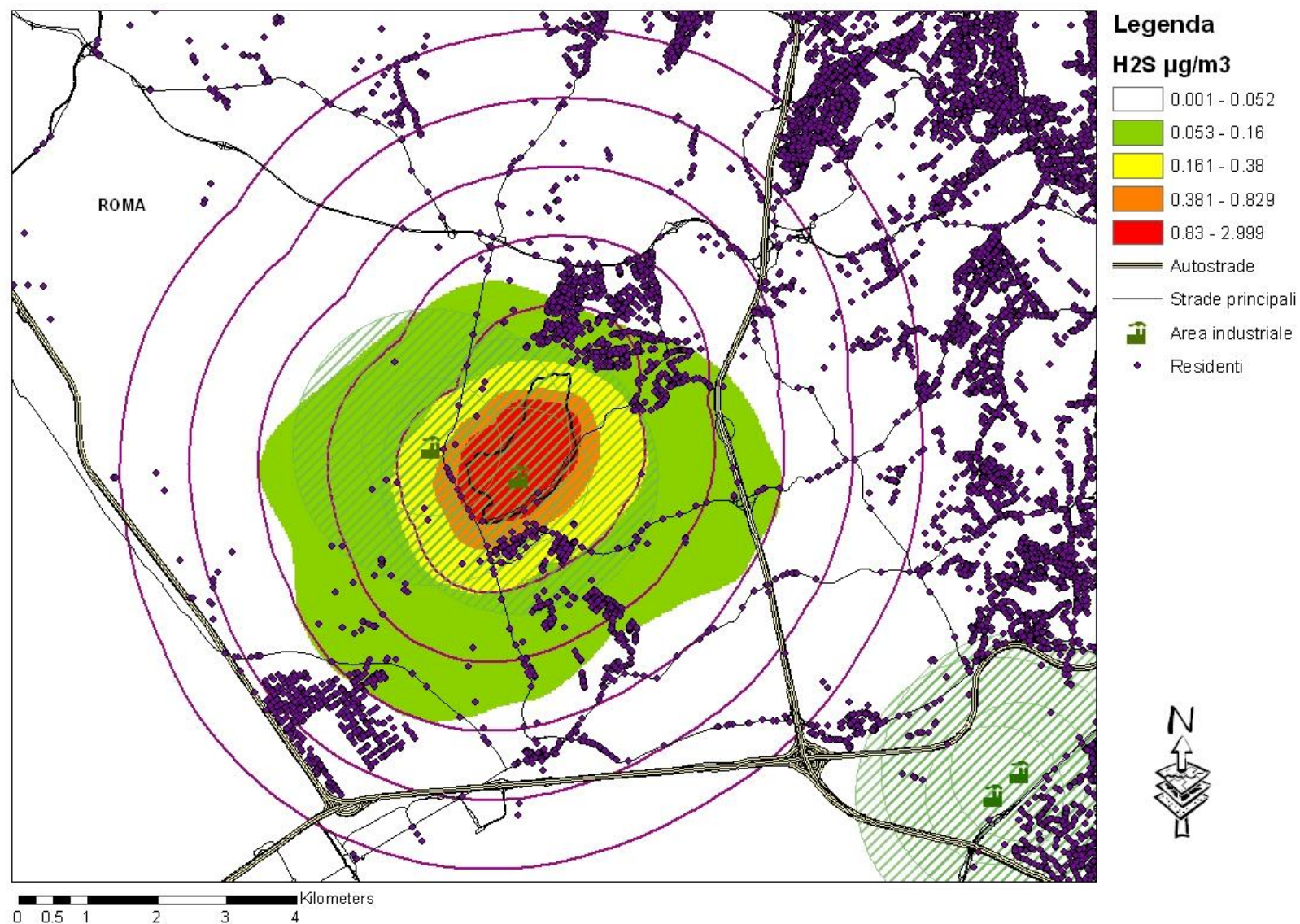
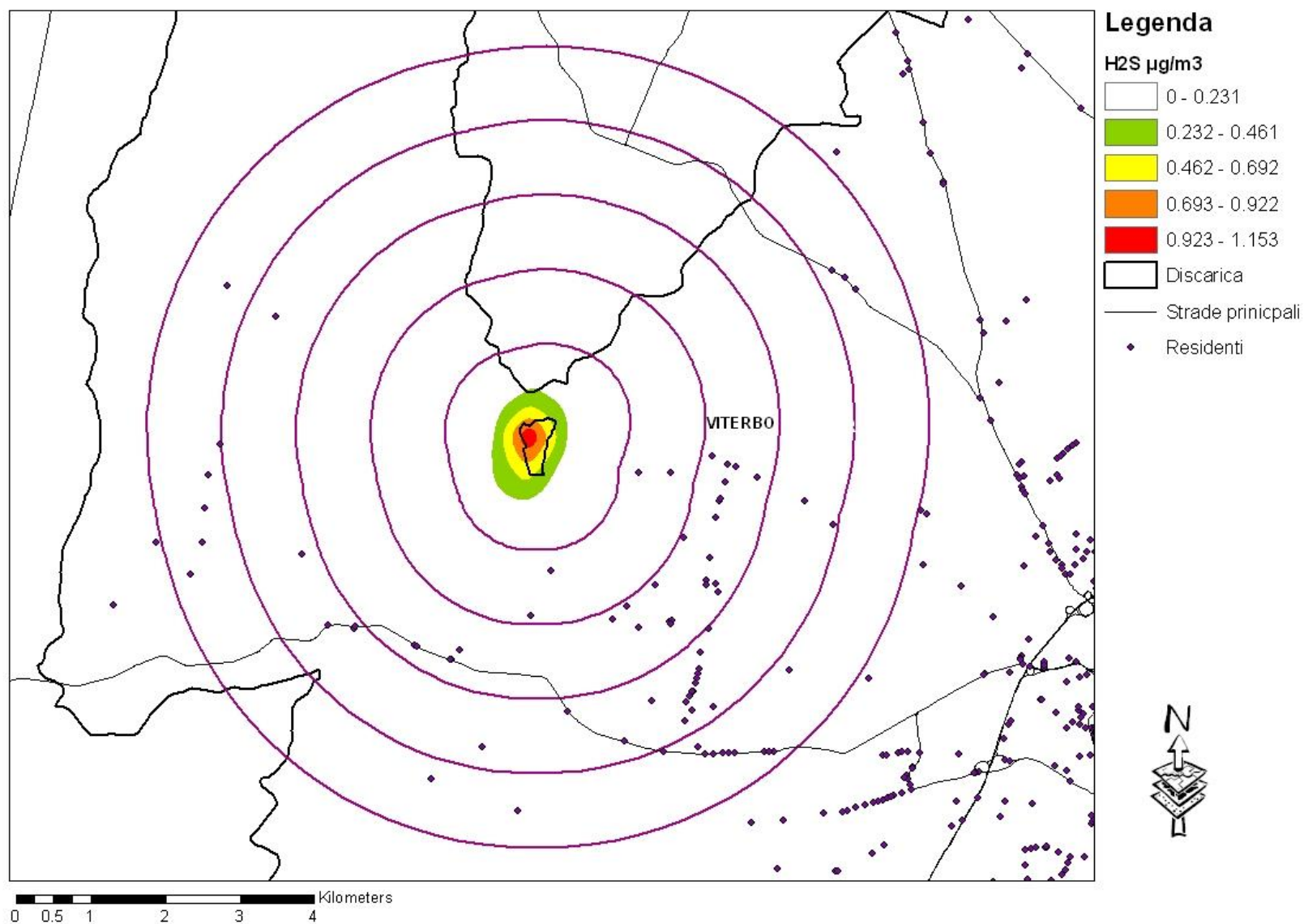


Figura 10. Discarica Viterbo. Area in studio, coorte dei residenti, fasce di distanza dalla discarica e livelli di concentrazione di H<sub>2</sub>S (µg/m<sup>3</sup>)



## (E) RAPPORTO

## SALUTE

Tabella 1. Coorte dei residenti per livello di concentrazione di idrogeno solforato (H<sub>2</sub>S), per sesso, età all'inizio del *follow-up*, livello socio-economico, discarica, livello di PM<sub>10</sub> e residenza in prossimità di strade principali, autostrade e industrie.

| Totale                              |                                          | Totale  |     | Esposizione ad H <sub>2</sub> S |     |                   |     |                   |     |                 |     |
|-------------------------------------|------------------------------------------|---------|-----|---------------------------------|-----|-------------------|-----|-------------------|-----|-----------------|-----|
|                                     |                                          |         |     | <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 <sup>3</sup> (<50° perc)     | 121,222 | 50  | 44,371                          | 73  | 29,696            | 49  | 23,986            | 38  | 23,169          | 41  |
|                                     | .99-17.69µg/m <sup>3</sup> (50° - 90° pe | 96,369  | 40  | 16,556                          | 27  | 28,967            | 48  | 31,661            | 49  | 19,185          | 34  |
|                                     | > 17.69µg/m <sup>3</sup> (>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, PM<sub>10</sub>, residenza vicino a strade principali, autostrade e industrie e i relativi Intervalli di Confidenza (IC) al 95% per i diversi livelli di concentrazione di H<sub>2</sub>S.

a) Uomini

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

\* Riferimento

b) Donne

| Causa di morte                     | Concentrazione di H <sub>2</sub> 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, PM<sub>10</sub>, residenza vicino a strade principali, autostrade e industrie e i relativi Intervalli di Confidenza (IC) al 95% per i diversi livelli di concentrazione di H<sub>2</sub>S.

a) Uomini

| Causa di Ricovero                       | Concentrazione di H <sub>2</sub> 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                          | 17441                              | 17217             | 0.99 | 0.97     | 1.01 | 19165             | 1.01        | 0.98        | 1.04        | 18076           | <b>1.04</b> | <b>1.00</b> | <b>1.07</b> |
| Tumori maligni                          | 2098                               | 1965              | 1.01 | 0.94     | 1.08 | 2093              | 1.02        | 0.94        | 1.11        | 2170            | 1.06        | 0.96        | 1.16        |
| Tumore dello stomaco                    | 69                                 | 100               | 1.35 | 0.97     | 1.88 | 86                | 0.97        | 0.65        | 1.45        | 93              | 0.85        | 0.52        | 1.38        |
| Tumore del colon e del retto            | 274                                | 226               | 0.85 | 0.70     | 1.03 | 232               | 0.85        | 0.67        | 1.07        | 271             | 0.91        | 0.69        | 1.19        |
| Tumore del fegato                       | 65                                 | 48                | 0.81 | 0.55     | 1.21 | 48                | 0.77        | 0.46        | 1.26        | 45              | 0.73        | 0.40        | 1.34        |
| Tumore del pancreas                     | 60                                 | 39                | 0.68 | 0.44     | 1.05 | 53                | 0.88        | 0.54        | 1.44        | 47              | 0.74        | 0.40        | 1.37        |
| Tumore della laringe                    | 38                                 | 49                | 1.41 | 0.89     | 2.22 | 61                | <b>1.84</b> | <b>1.09</b> | <b>3.10</b> | 51              | 1.80        | 0.97        | 3.31        |
| Tumore della trachea, bronchi e polmone | 304                                | 296               | 1.11 | 0.93     | 1.31 | 309               | 1.06        | 0.87        | 1.30        | 305             | 1.18        | 0.93        | 1.49        |
| Tumore della vescica                    | 257                                | 243               | 1.02 | 0.84     | 1.23 | 266               | 1.11        | 0.89        | 1.39        | 287             | 1.14        | 0.87        | 1.48        |
| Tumore del rene                         | 72                                 | 85                | 1.36 | 0.97     | 1.89 | 104               | <b>1.80</b> | <b>1.22</b> | <b>2.66</b> | 107             | <b>2.13</b> | <b>1.38</b> | <b>3.31</b> |
| Tumore encefalo                         | 36                                 | 43                | 1.33 | 0.83     | 2.14 | 55                | 1.38        | 0.81        | 2.38        | 42              | 1.17        | 0.61        | 2.26        |
| Tumori linfatici ed ematopoietici       | 166                                | 164               | 1.05 | 0.83     | 1.32 | 185               | 1.02        | 0.77        | 1.34        | 207             | 1.26        | 0.92        | 1.73        |
| Malattie del sistema circolatorio       | 4362                               | 4249              | 1.01 | 0.97     | 1.06 | 4638              | 1.02        | 0.96        | 1.08        | 4711            | 1.04        | 0.97        | 1.10        |
| Malattie cardiache                      | 2624                               | 2558              | 1.01 | 0.95     | 1.07 | 2625              | 0.97        | 0.90        | 1.04        | 2868            | 1.03        | 0.95        | 1.12        |
| Malattia ischemica del cuore            | 1107                               | 1185              | 1.05 | 0.96     | 1.14 | 1147              | 0.92        | 0.83        | 1.02        | 1238            | 0.98        | 0.86        | 1.11        |
| Malattie cerebrovascolari               | 984                                | 942               | 1.01 | 0.92     | 1.12 | 971               | 0.99        | 0.88        | 1.11        | 995             | 1.00        | 0.87        | 1.15        |
| Malattie dell'apparato respiratorio     | 3037                               | 3094              | 0.98 | 0.93     | 1.04 | 4018              | 1.02        | 0.96        | 1.09        | 3530            | 1.05        | 0.98        | 1.13        |
| Infezioni acute delle vie respiratorie  | 925                                | 991               | 0.99 | 0.90     | 1.09 | 1202              | 1.01        | 0.91        | 1.13        | 1086            | <b>1.13</b> | <b>1.00</b> | <b>1.28</b> |
| BPCO                                    | 423                                | 405               | 1.00 | 0.86     | 1.16 | 359               | 0.92        | 0.77        | 1.10        | 381             | 1.01        | 0.81        | 1.25        |
| ASMA                                    | 225                                | 252               | 1.03 | 0.84     | 1.25 | 427               | 1.12        | 0.91        | 1.38        | 264             | 1.00        | 0.79        | 1.28        |
| Malattie dell'apparato digerente        | 4494                               | 4638              | 1.02 | 0.97     | 1.06 | 5309              | 1.02        | 0.97        | 1.07        | 5029            | 1.02        | 0.96        | 1.09        |
| Malattie dell'apparato urinario         | 1307                               | 1176              | 0.92 | 0.85     | 1.01 | 1212              | 0.92        | 0.83        | 1.02        | 1207            | 0.93        | 0.82        | 1.05        |
| Nefrite, sindrome nefrosica e nefrosi   | 422                                | 365               | 0.99 | 0.86     | 1.16 | 291               | 0.90        | 0.74        | 1.10        | 248             | 0.73        | 0.57        | 0.95        |
| Malattie della tiroide                  | 173                                | 207               | 1.07 | 0.86     | 1.33 | 225               | 0.91        | 0.71        | 1.17        | 226             | 1.06        | 0.80        | 1.42        |

\* Riferimento



b) Donne

| Causa di Ricovero                       | Concentrazione di H <sub>2</sub> 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                          | 18342                              | 17824             | 1.00 | 0.98     | 1.03 | 19413             | <b>1.03</b> | <b>1.01</b> | <b>1.06</b> | 18417           | <b>1.05</b> | <b>1.02</b> | <b>1.09</b> |
| Tumori maligni                          | 1965                               | 1850              | 1.04 | 0.97     | 1.11 | 1908              | 1.03        | 0.95        | 1.12        | 1955            | 1.04        | 0.94        | 1.15        |
| Tumore dello stomaco                    | 70                                 | 61                | 0.88 | 0.61     | 1.27 | 56                | 1.04        | 0.66        | 1.64        | 65              | 0.96        | 0.54        | 1.69        |
| Tumore del colon e del retto            | 237                                | 197               | 0.95 | 0.78     | 1.17 | 195               | 0.93        | 0.72        | 1.21        | 210             | 1.02        | 0.75        | 1.39        |
| Tumore del fegato                       | 26                                 | 25                | 1.01 | 0.56     | 1.82 | 18                | 0.50        | 0.23        | 1.08        | 24              | 0.72        | 0.30        | 1.75        |
| Tumore del pancreas                     | 41                                 | 52                | 1.32 | 0.85     | 2.04 | 38                | 0.85        | 0.49        | 1.48        | 55              | 0.85        | 0.44        | 1.66        |
| Tumore della laringe                    | 11                                 | 5                 | 0.25 | 0.08     | 0.86 | 17                | 0.78        | 0.24        | 2.50        | 9               | 0.25        | 0.05        | 1.23        |
| Tumore della trachea, bronchi e polmone | 101                                | 103               | 1.06 | 0.79     | 1.43 | 128               | 1.35        | 0.95        | 1.92        | 119             | 1.26        | 0.83        | 1.90        |
| Tumore della vescica                    | 48                                 | 50                | 1.32 | 0.87     | 2.01 | 54                | 1.52        | 0.90        | 2.57        | 60              | 1.47        | 0.79        | 2.72        |
| Tumore del rene                         | 51                                 | 43                | 0.92 | 0.60     | 1.42 | 47                | 1.16        | 0.70        | 1.90        | 38              | 1.10        | 0.60        | 2.03        |
| Tumore encefalo                         | 36                                 | 26                | 0.75 | 0.43     | 1.31 | 35                | 0.83        | 0.45        | 1.54        | 37              | 0.93        | 0.43        | 2.01        |
| Tumori linfatici ed ematopoietici       | 148                                | 125               | 1.01 | 0.78     | 1.30 | 132               | 0.99        | 0.73        | 1.36        | 134             | 1.06        | 0.73        | 1.54        |
| Malattie del sistema circolatorio       | 3765                               | 3407              | 0.96 | 0.92     | 1.01 | 3423              | 0.99        | 0.93        | 1.05        | 3708            | 1.02        | 0.94        | 1.09        |
| Malattie cardiache                      | 2186                               | 1909              | 0.95 | 0.89     | 1.01 | 1895              | 0.97        | 0.90        | 1.06        | 2162            | 1.06        | 0.96        | 1.17        |
| Malattia ischemica del cuore            | 599                                | 504               | 0.90 | 0.79     | 1.03 | 502               | 0.93        | 0.80        | 1.09        | 587             | 0.99        | 0.82        | 1.19        |
| Malattie cerebrovascolari               | 966                                | 850               | 0.93 | 0.84     | 1.02 | 812               | 0.95        | 0.84        | 1.07        | 868             | 0.99        | 0.85        | 1.15        |
| Malattie dell'apparato respiratorio     | 2337                               | 2405              | 0.97 | 0.91     | 1.03 | 3146              | 1.00        | 0.93        | 1.07        | 2759            | 1.06        | 0.98        | 1.15        |
| Infezioni acute delle vie respiratorie  | 797                                | 810               | 0.94 | 0.84     | 1.04 | 940               | 0.92        | 0.81        | 1.03        | 830             | 1.02        | 0.89        | 1.18        |
| BPCO                                    | 295                                | 282               | 0.89 | 0.74     | 1.06 | 267               | 0.91        | 0.74        | 1.12        | 300             | 1.11        | 0.87        | 1.41        |
| ASMA                                    | 184                                | 193               | 1.06 | 0.84     | 1.32 | 291               | 1.25        | 0.99        | 1.59        | 223             | <b>1.32</b> | <b>1.00</b> | <b>1.73</b> |
| Malattie dell'apparato digerente        | 3735                               | 3653              | 0.97 | 0.93     | 1.02 | 4096              | 0.98        | 0.93        | 1.04        | 4011            | 1.04        | 0.97        | 1.11        |
| Malattie dell'apparato urinario         | 953                                | 846               | 0.93 | 0.84     | 1.03 | 938               | 1.04        | 0.92        | 1.16        | 878             | 1.10        | 0.95        | 1.26        |
| Nefrite, sindrome nefrosica e nefrosi   | 301                                | 238               | 0.96 | 0.80     | 1.15 | 206               | 1.05        | 0.84        | 1.32        | 200             | 1.07        | 0.81        | 1.41        |
| Malattie della tiroide                  | 667                                | 705               | 1.03 | 0.92     | 1.16 | 943               | 1.08        | 0.95        | 1.22        | 839             | 0.97        | 0.84        | 1.13        |

\* Riferimento